

Programmeermethoden 2023

Alle 392 sheets

week	onderwerp	pagina
1	Introductie	2
2	Types	31
3	Controle-structuren	62
4	Functies & files	85
5	Functies — vervolg	110
6	Functies & Life	135
7	OOP & arrays	158
8	Arrays (vervolg)	187
9	Arrays (vervolg 2)	224
10	Pointers	253
11	Recursie	285
12	Datastructuren	319
13	Algoritmen, talen, ...	351
14	Oude tentamens	379

C++ if PC while Linux diff int Firefox bool public private Windows
file g++ UNIX Visual OS Fedora ls char ps open close get put array
Mac cp else cout main Red Hat mkdir editor struct Debian Sublime
class using cmath Chrome true cp SUSE namespace enum include
double cd GNU do kill object compiler more link iostream cin not lpr
WWW make file grep io manip gedit float GNOME fstream rm false
and or Code::Block stop for string e-mail man ch mod WSL Ubuntu

Programmeermethoden



Universiteit
Leiden

Walter Kosters en Jonathan Vis

week 1: 4–8 september 2023

Introductie

www.liacs.leidenuniv.nl/~koterswa/pm/

↑
tilde (~)

E-mailadres: `pm@liacs.leidenuniv.nl`

Het college wordt gegeven door dr. W.A. (Walter) Kosters en dr. J.K. (Jonathan) Vis.



Werkcolleges worden verzorgd door studentassistenten:

Donderdag: Perri van den Berg, Teun Bergsma, Amber van den Broek, Julian Poelsma en Justin de Rooij.

Vrijdag: Zahir Bingen, Sem Kluiver, Xander Lenstra, Leon Monster en Daan van Vliet.

Anderen geven PM-Python voor Bioinformatica, DSAI en Informatica & Economie; en voor Natuur/Sterrenkunde.

Er zijn verschillende soorten activiteiten:

colleges live in Gorlaeus 1; zie ook (oudere) video's:

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterstwa/pm/videos.php



werkcolleges in (computer)zalen Snellius; handig: laptop mee; donderdagmiddag of vrijdagochtend; er is een **aanwezigheidscontrole!**

vragenuren facultatief; in Snellius, direct na werkcollege

Eerste week: 4–8 september 2023; laatste week: 11–15 december. Geen activiteiten in de week van 23–27 oktober.

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterstwa/pm/schema.php

ma	di	wo	donderdag	vrijdag
			11:00–12:45 Gorlaeus zaal 1 college 1 iedereen	11:00–12:45 Snellius 303/7/9 werkcollege 1 , vragenuurtje Wiskundigen
			13:15–... Snellius 302/3/6/7/9 werkcollege 1 , vragenuur Informatici	

Snellius



Gorlaeus

Iedereen gebruikt zijn/haar **ULCN-account**. Daarmee kun je ook WiFi gebruiken in universiteitsgebouwen, via eduroam of `leidenuniv`. Zet een “forward” voor e-mails!

Je krijgt daarmee ook een *home directory* (“homedir”) in het universitaire UNIX-systeem. In de computerzalen van het Snellius kun je daar via Linux mee werken.

Hoe kom je vanaf huis bij je UNIX-files? Antwoord: “ssh-en” en “scp-en” naar

```
a.einstein@sshgw.leidenuniv.nl
```

(en verder) als je `a.einstein` bent. Zie later.

Sluw: **laptop**, USB, eigen e-mail, de cloud, ...

Er moeten vier programmeeropgaven gemaakt worden. **Als** ze alle voldoende zijn (hooguit één 5) **en** het tentamen voldoende (≥ 5.5) is gemaakt, krijg je zes studiepunten:

$$\text{Eindcijfer} = \frac{2 \times \text{Schriftelijk} + \frac{\text{Op}_1 + \text{Op}_2 + \text{Op}_3 + \text{Op}_4}{4}}{3}$$

(afgerond naar het dichtstbijzijnde element uit de verzameling $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5, 10\}$).

Heb je nog deelresultaten uit voorgaande jaren? Ga langs bij de docent!

Cijfers: [Brightspace](#) (meld je aan = “enroll”).

- in tweetallen maken
- **wel** overleggen en om hulp vragen, **niet** kopiëren; zie website voor huisregels en richtlijnen, bijvoorbeeld voor aanvullen, ...
- op tijd inleveren: deadlines (**-1 per week te laat**)
- deels maken tijdens werkcolleges, deels thuis
- vragenuren!

- Opgave 1: maandag 25 september 2023, 18:00 uur
- Opgave 2: maandag 16 oktober 2023, 18:00 uur
- Opgave 3: maandag 13 november 2023, 18:00 uur
- Opgave 4: maandag 11 december 2023, 18:00 uur

Lever per team (“group”) de C++-code in Brightspace in.
En het geprinte verslag in de doos bij Snellius, kamer 159.

week	onderwerp	boek	“dictaat”
4–8 sep	Introductie	1	1,2
11–15 sep	Types		3.1/3,3.9, op1/5
18–22 sep	Controlestructuren	2	3.4/5,op6/10
25–29 okt	Functies, files	3,4, 12.1/2	3.6/7,op11/17
2–6 okt	idem, vervolg		
9–13 okt	idem, Life	6,7.1	3.11,op18/25
16–20 okt	OOP, arrays	5	3.8,op26/30
...			

op = “papieren” opgaven van website (“Handouts”); zelf maken, antwoorden: zie website.

In **rood**: de weken met een deadline op de maandag erna.

Het **schriftelijk tentamen** is op

- woensdag 17 januari 2024, 13:00–16:00 uur
Universitair Sportcentrum
- hertentamen: donderdag 28 maart 2024, 13:00–16:00 uur
Snellius

Zie de website voor oude tentamens en uitwerkingen.

Tijdig aanmelden via uSis! En Brightspace (tegelijk) ...

4-1-2023 →

Tentamen Programmeren
Woensdag 4 januari 2023
13:15–16:15 uur Informatica

Bij alle functies moeten de variabelen (nominaten, eventueel uitgedrukt) in de heading of local worden van het beschrijvende type. De te schrijven (voor 100%) naam van de functie is de opgave. Naast C/C++ is het ook toegestaan om Python te gebruiken.

1. (25 punten) In het array met 100 elementen a (type `int`) met de waarde $a[i]$ geldt:

- Schrijf een efficiënte Booleanse $C++$ -functie `bool isSorted(const int a[], int n)` die terug geeft als alle elementen in a niet negatief zijn (dus $a[i] \geq 0$).
- Schrijf een $C++$ -functie `int sum(const int a[], int n)` die de absolute waarde van a uitrekent.
- Schrijf een $C++$ -functie `int sum(const int a[], int n)` die de absolute waarde van a uitrekent en opgevoerd van links naar rechts ($0 \leq i < n$). De huidige waarde van i wordt bepaald door het product van de waarde van alle elementen van a die afkomstig zijn van $a[0]$ tot $a[i-1]$.
- Schrijf een $C++$ -functie `int sum(const int a[], int n)` die de absolute waarde van a uitrekent en opgevoerd van links naar rechts ($0 \leq i < n$). De huidige waarde van i wordt bepaald door het product van de waarde van alle elementen van a die afkomstig zijn van $a[0]$ tot $a[i-1]$.
- Schrijf een $C++$ -functie `int sum(const int a[], int n)` die de absolute waarde van a uitrekent en opgevoerd van links naar rechts ($0 \leq i < n$). De huidige waarde van i wordt bepaald door het product van de waarde van alle elementen van a die afkomstig zijn van $a[0]$ tot $a[i-1]$.

2. (25 punten) a. Bij een functie kun je te maken hebben met een of meer van de volgende problemen, en ook met beide en globale variabelen. Verder onderscheiden we ook nog functies en array-programma's. Kun deze problemen aanduiden met:

- Gebruik een $C++$ -programma met de volgende code:


```
int main() { int a, b; return 2023; }
```
- Gebruik een $C++$ -programma met de volgende code:


```
int main() { int a, b; return 2023; }
```

3. (25 punten) Gegeven is een $n \times m$ matrix A van type `int`. De functie `int sum(const int a[], int n)` is gedefinieerd als:

```
int sum(const int a[], int n) { int s = 0; for (int i = 0; i < n; i++) s += a[i]; return s; }
```

4. (25 punten) Gegeven is een $n \times m$ matrix A van type `int`. De functie `int sum(const int a[], int n)` is gedefinieerd als:

```
int sum(const int a[], int n) { int s = 0; for (int i = 0; i < n; i++) s += a[i]; return s; }
```

3. (25 punten) Gegeven is een $n \times m$ matrix A van type `int`. De functie `int sum(const int a[], int n)` is gedefinieerd als:

```
int sum(const int a[], int n) { int s = 0; for (int i = 0; i < n; i++) s += a[i]; return s; }
```

4. (25 punten) Gegeven is een $n \times m$ matrix A van type `int`. De functie `int sum(const int a[], int n)` is gedefinieerd als:

```
int sum(const int a[], int n) { int s = 0; for (int i = 0; i < n; i++) s += a[i]; return s; }
```

We maken gebruik van het volgende boek:

W. Savitch
Absolute C++
sixth edition
Addison-Wesley, 2016

Oudere drukken zijn ook goed (ouderejaars!). En er zijn vele andere boeken.



En het “dictaat” ([hier](#)) en de sheets ([daar](#)).

Naast **Microsoft Windows** kunnen PCs ook draaien onder **Linux**, een **operating systeem** (OS) uit de UNIX-wereld (vergelijk Android). In Windows 10 en 11 heb je **Windows Subsystem for Linux** (WSL) — en dat gebruiken we.

(Met een Ubuntu Live-CD/DVD/USB start je PC meteen op in GNOME, een grafische windows-omgeving bovenop Linux.

Beter: dual boot.

Let er op dat je op een verstandige plaats (USB/e-mail) moet saven.



Je kunt ook “gratis” distributies als SUSE, Fedora, Debian, ... gebruiken — maar dan moet je er meer vanaf weten.)

Als je thuis gratis C++ wilt doen, zijn de mogelijkheden:

- Windows: installeer Windows Subsystem for Linux (WSL, zie straks) en eventueel editor [Sublime Text](#)

- Mac: zie [hier](#)

[Mac-video](#)

- Linux: haal **Ubuntu** van www.ubuntu.org
huidige versie: 23.04 (in computerzalen: 18.04)
gebruik editor **gedit** en compiler **g++**

[Linux-video](#)

- Windows: **Code::Blocks**, zie straks

The screenshot shows an Ubuntu desktop environment with a dark theme. The top panel displays the date and time as 'Tue 11:07'. The left sidebar contains several application icons, including the Dash, Home Folder, and various utility tools.

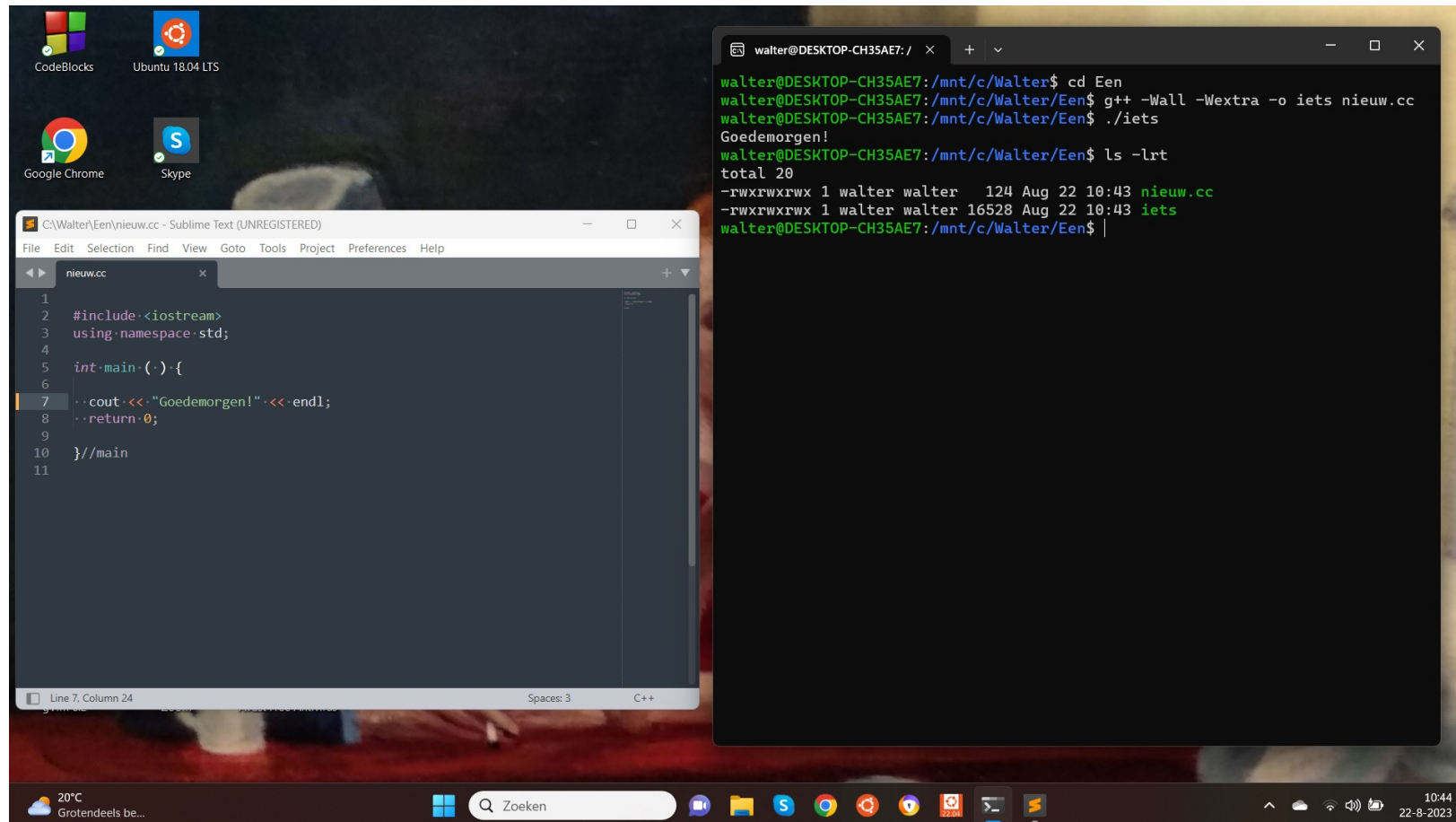
In the foreground, a Chromium browser window is open to the website 'Programmeermethoden' at the URL 'liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/'. The page features a blue header with the title 'Programmeermethoden' and navigation links: 'Home', 'Algemeen', 'Materiaal', and 'Opdrachten en Gijfers'. Below the header, the text reads: 'Programmeermethoden is een verplicht eerstejaarsvak bij de opleidingen Informatica en Wiskunde aan de Universiteit Leiden. Het is zes EC studiepunten waard; er horen vier programmeeropgaven bij — en een schriftelijk tentamen.' The page also lists the course schedule and lecturers: 'De verzorging van het vak is in handen van LIACS, de Informatica-afdeling van de Leidse universiteit; docenten: Walter Kusters en Jonathan Vis.' and 'Iedereen is welkom bij de colleges, werkcolleges en vragenuren. De colleges zijn later ook op video te bekijken.'

In the background, an XTerm terminal window shows the following commands and output:

```
kosterswa@u0037666: ~/PM
kosterswa@u0037666:~$ cd PM
kosterswa@u0037666:~/PM$ gedit een.cc
kosterswa@u0037666:~/PM$ gedit een.cc &
[1] 21420
kosterswa@u0037666:~/PM$ ./een
Dit komt op het scherm
kosterswa@u0037666:~/PM$
```

A code editor window titled 'een.cc' shows the following C++ code:

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main ( ) {
5
6     cout << endl << " Dit komt op het scherm" << endl << endl;
7     return 0;
8
9 } //main
10
```



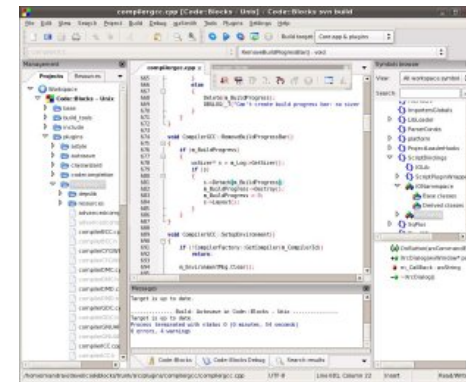
- Installeer **Windows Subsystem for Linux (WSL)** in Windows 11 (of 10), via cmd, `wsl --install -d Ubuntu-22.04`
- Open een **terminal** en installeer **compiler** g++ met `sudo apt install g++` (doe altijd eerst `sudo apt update`).
- Gebruik een Windows-**editor** zoals Sublime Text of installeer in Linux `gedit`.
- Waar zijn je **mappen = directories**? Geef het commando `cd /mnt/c/naamvanmap` en zoeken maar ...
- **Hello world** ... , zie straks.

Je kunt ook **Code::Blocks** in Windows gebruiken, maar liever Sublime Text (of gedit) en g++ in Linux (**WSL**).

[video](#)

- installeer Code::Blocks van www.codeblocks.org
file: codeblocks-20.03mingw-setup.exe

- zet “warnings” aan!
- edit, compileer en run
helloworld.cc (let op .cc)



- behandel een eventuele lastige firewall

Een werkend C++-programma maken gaat als volgt:

1. Tik in een **editor** C++-code, het “bron-programma”.
2. Compileer (en link) dit met een **compiler**. Deze vertaalt C++-code naar machinetaal.
Eventuele fouten: “compile-time-fouten” / “syntax-errors”: “inklude” in plaats van “include”.
3. Draai (= run) deze **executable** vanuit het OS.
Eventuele fouten: “run-time-fouten”: deel door 0.

Herhaal deze cyclus zo vaak als nodig.

In Code::Blocks vinden alle stappen plaats in een Graphical User Interface (GUI).

(Er zijn ook nog logische fouten.)

Een eerste C++-programma, helloworld.cc geheten:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main ( ) {
    cout << "Dag allemaal!" << endl;
    return 0;
} //main
```

Dit programma zet alleen een tekstje op het beeldscherm.

Let op de — vooral voor mensen nuttige — **layout**.

En op hoofdletters en kleine letters.

Een tweede C++-programma (met **syntax-highlighting**):

```
1 // dit is een simpel programma
2 #include <iostream>
3 using namespace std;
4
5 int main ( ) {
6     int getal = 42; // een variabele declareren
7                     // en initialiseren
8     cout << "Geef een geheel getal .. ";
9     cin >> getal;
10    cout << "Kwadraat is: "
11         << getal * getal << endl;
12    return 0;
13 } // main
```

```
// Dit is een regel met commentaar ...
#include <iostream> // moet er altijd bij
using namespace std;
const double PIE = 3.14159; // een constante (of cmath)
int main ( ) {
    int straal; // straal van de cirkel, geheel getal
    cout << "Geef straal, daarna Enter .. ";
    cin >> straal;
    if ( straal > 0 )
        cout << "Oppervlakte "
            << PIE * straal * straal << endl;

    else
        cout << "Niet zo negatief ..." << endl;
        cout << "Einde van dit programma." << endl;
    return 0;
} //main
```



```
// Dit is een regel met commentaar ...
#include <iostream> // moet er altijd bij
using namespace std;
const double PIE = 3.14159; // een constante (of cmath)
int main ( ) {
    int straal; // straal van de cirkel, geheel getal
    cout << "Geef straal, daarna Enter .. ";
    cin >> straal;
    if ( straal > 0 ) { // accolades nodig!
        cout << "Oppervlakte ";
        cout << PIE * straal * straal << endl;
    }//if
    else // hier accolades niet nodig, maar liever wel!
        cout << "Niet zo negatief ..." << endl;
    cout << "Einde van dit programma." << endl;
    return 0;
}//main
```



Programmeermethoden 2023 Eerste programmeeropgave: Vermenigvuldiging

De eerste programmeeropgave van het vak **Programmeermethoden** in het najaar van 2023 heet **Vermenigvuldiging**; zie ook het **eerste**, **tweede** en **derde** werkcollege.

Deze opgave probeert te bepalen of iemand geschikt is voor een studie aan de universiteit. Daartoe moeten enkele vragen beantwoord worden, zo moet de kandidaat weten op welke dag hij/zij geboren is. En als je niets van vermenigvuldigen weet, is een beta-studie misschien niet verstandig.

Om te beginnen moet de gebruiker diens geboortear jaer als geheel getal invoeren, en daarna de geboortemaand, ook als geheel getal. Vervolgens voert men de geboortedag in, wederom als geheel getal. Het programma berekent dan de leeftijd, zowel in aantal jaren als in maanden (bijvoorbeeld: 10 jaar en 3 maanden; 123 maanden); beide worden op het beeldscherm getoond. De leeftijd in maanden wordt analoog aan die in jaren bepaald (als je op de 31ste geboren bent, wordt je iedere maand een maand ouder, maar je bent niet zo vaak "maandig" — dat ben je namelijk alleen op iedere 31ste). Jarige en maandige gebruikers worden gefeliciteerd. Aangenomen mag worden dat het programma op de peildatum **25 september 2023 draait** (gebruik `const`; **liefhebbers** mogen met `ctime` de echte huidige dag opvragen en gebruiken). Let op: het programma moet in principe ook op andere peildata vanaf heden tot 2100 correct werken!

Gebruikers jonger dan 10 jaar (de 10-de verjaardag nog niet gevierd) of ouder dan 100 jaar (dus 101-ste verjaardag reeds gevierd) worden meteen geweigerd. Als uit het geboortear jaer direct al duidelijk is dat het met de leeftijd niets gaat worden, hoeven de vragen naar maand en/of dag niet gesteld te worden. Maar soms biedt pas de dag uitsluit!

Nu moet de gebruiker diens geboortedag (zondag, maandag, ..., zaterdag) weten. Als deze fout is, wordt men meteen "verwijderd", en stopt het programma. Het antwoord moet met **één letter** (de eerste letter van de dag; geen cijfer dus) worden gegeven, bijvoorbeeld `w` voor woensdag. In het geval van `dlz` wordt nog om de tweede letter gevraagd.

Het is **niet** de bedoeling `ctime` te gebruiken om deze dag uit te rekenen. Het programma moet een zelf bedachte berekening bevatten om deze dag te bepalen! Gebruik bijvoorbeeld dat 1 januari 1901 op een dinsdag viel. Gebruik **niet** het **Doomsday algoritme** (zie ook **hier**), en ook **niet** allerlei ingewikkelde formules. Voor de periode 1901–2099 geldt dat een jaar een schrikkeljaar is precies dan als het jaartal door 4 deelbaar is.

De echte test bestaat uit enkele vragen. Mensen van 30 jaar of ouder worden hierbij minstens twee maal "netter" aangesproken dan jongeren. Splits de C++-code in het programma niet onnodig vaak!

Er wordt gekeken of de aanstaande student enigszins kan vermenigvuldigen. Wiskundig inzicht is namelijk vereist voor een beta-studie. Mocht dat niet zo zijn, wordt er getest hoe het met de kunst- of literatuurkennis staat.

De gebruiker moet allereerst het product van twee willekeurige gegeven positieve gehele getallen schatten, zeg 42 en 17. Beide getallen moeten tussen 10 en 99 liggen, grenzen inbegrepen. De gebruiker krijgt, of diens antwoord goed of fout is, de bekende vermenigvuldiging te zien. In ons voorbeeld:

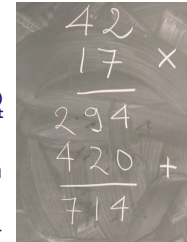
```

42
17 x
--
294
420 +
---
714
    
```

De getallen en streepjes moeten verticaal goed uitgelijnd staan. Als een rij 0 zou worden (bijvoorbeeld bij 42 maal 20) bestaat het antwoord alleen uit de andere rij: de optelling hoeft dan niet. De tweede rij streepjes (als die er is) heeft drie of vier streepjes, afhankelijk van de lengte van het product.

De *verhouding* tussen het gekoke te en het juiste antwoord mag hoogstens EPSILON (een zekere waarde, een double, bijvoorbeeld 0.1) van 1 verschillen. Anders wordt het fout gerekend. In het voorbeeld (42 maal 17, foutmarge 0.1) moet het antwoord tussen 643 en 785 liggen, grenzen inbegrepen.

Voor het fabriceren van willekeurige gehele getallen moet gebruik worden gemaakt van de random-generator uit C++. Gebruik bijvoorbeeld `x = rand () % 20`; om een "willekeurig" getal tussen 0 en 19 (grenzen inbegrepen) in de `int` variabele `x` te krijgen. Zet bovenaan in `main`: `srand (42)`; of `srand (jaar)`; (nadat `jaar` een waarde heeft gekregen), om de random-generator eenmalig te initialiseren. In plaats van 42 mag ook een ander getal staan — of zelfs, voor liefhebbers, de tijd. En soms is hiervoor `#include <cstdlib>` nodig, helemaal bovenaan het programma.



Is het antwoord goed, dan wordt de kandidaat tot een exacte studie toegelaten, en stopt het programma. Anders wordt één meerkeuzevraag (Aa/Bb/Cc/Dd) over kunst of literatuur gesteld, die uitsluitend biedt over de toelating tot een alpha-studie. Als het daar ook mis gaat, is men helaas niet geschikt voor een universitaire studie. Gebruikers tot of tot en met (kies zelf) 30 jaar krijgen hier een andere vraag dan de oudere gebruikers — maar bij beiden is "hetzelfde" antwoord, bijvoorbeeld steeds `B`, goed. Wederom, of het antwoord goed of fout is, het juiste antwoord wordt steeds op het scherm afgedrukt.

Opmerkingen

Als de gebruiker een niet bestaande maand invoert, bijvoorbeeld `-8`, of een jaartal als 4242 (in de toekomst dus), stopt het programma met de mededeling dat dit niet kan (gebruik `return 1;`). Evenzo voor een niet bestaande dag, bijvoorbeeld 31 april of 42 december. We nemen aan dat de gebruiker zo vriendelijk is verder geen fouten te maken bij het invoeren van gegevens: men voert niet al te gekke getallen of letters in, etcetera. Vanzelfsprekend worden wel duidelijke vragen gepresenteerd.

Elk programma moet bij het "runnen" aan het begin op het beeldscherm laten zien wie de makers zijn, wat hun jaar van aankomst, studierichting en studentnummer is, welke opgave het is, wat de gebruiker te wachten en te doen staat, de datum waarop het programma gemaakt is, enzovoorts. Dit noemen we het **infoblokje**. Probeer dit er netjes uit te laten zien. Maak geen al te complexe kaders eromheen; gebruik liefst alleen de eerste 128 gewone karakters.

Bovenaan het programma (in de C++-code dus) staat uiteraard commentaar, waarin een aantal van deze elementen ook weer terugkomen, maar dan meer gericht op programmeurs, bijvoorbeeld de naam van de gebruikte compiler.

Denk aan het gebruik van lege regels, inspringen, commentaar, constanten, enzovoorts. Bovenaan het programma dient zoals gezegd commentaar over het programma te staan, speciaal bestemd voor andere programmeurs (en nakijkers), bijvoorbeeld kort wat het programma doet, en welke compiler gebruikt is: gebruikers van het programma vinden dat laatste niet interessant. Het infoblokje moet tijdens het "runnen" van het programma op het scherm komen, en is bestemd voor gebruikers van het programma. Lees ook eens over **richtlijnen** bij het maken van programmeeropgaven, en bestudeer de **huisregels**. Er hoeft geen gebruik van functies, arrays en het `while`- en `for`-statement gemaakt te worden. Alleen de headerfiles `iostream` mag en moet gebruikt worden — en eventueel `ctime` voor liefhebbers; en misschien `cstdlib` voor het gebruik van de random-generator. Ruwe indicatie voor de lengte van het C++-programma: 200 regels (300 mag ook wel). Letters moeten als `char` worden ingelezen, dus **niet** met strings, die mogen namelijk niet gebruikt worden.

Uiterste inleverdatum: **maandag 25 september 2023, 18:00 uur**.

De manier van inleveren (één exemplaar per koppel, dat — ter herinnering — uit maximaal twee personen bestaat) is als volgt.

- Digitaal de C++-code inleveren via Brightspace > Course Tools > Assignments. Stuur geen executable's, LaTeX-files of PDF-files, lever alleen één C++-file digitaal in!
- Doe een print van het verslag in de doos bij kamer 159 van het Snellius.

De laatste voor de deadline ingeleverde versie wordt nagekeken.

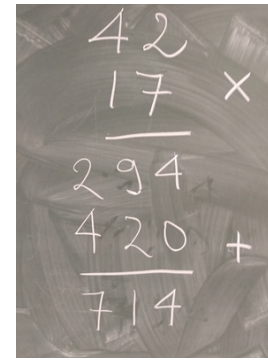
Overal duidelijk datum en namen van de twee makers vermelden, in het bijzonder als commentaar in de eerste regels van de C++-code. Lees bij het **derde werkcollege** hoe het verslag eruit moet zien. Zijn spaties/tabs goed verwerkt?

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op1pm.php

Voor de eerste programmeeropgave moet je onder meer, voor een gegeven datum, de dag van de week uitrekenen. Bijvoorbeeld: 1-1-1901 \rightarrow dinsdag.

Hoe zou je dat uit je hoofd doen?

Wanneer is een jaar een schrikkeljaar?



www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op1pm.php

Verslag in **L_AT_EX**! En wat is 42×17 ?

Niet gebruiken: Doomsday-algoritme

5-9: dinsdag

4-4, 6-6, 8-8, 10-10, 12-12, "I work from 9-5 in a 7-11".

In een [Linux](#) windows-omgeving zoals WSL start je een of meer **terminals**: windows waarin je tekst-georiënteerde opdrachten kunt geven. Daarin tik je in:

```
gedit een.cc &
```

```
g++ -Wall -o een een.cc  
./een
```

```
ls -lrt
```

edit je eerste C++-programma;
open hiertoe een “edit-window”
compileer een.cc naar een
run de executable een
overzicht van je files (%)

De ampersand & zorgt er voor dat je in het oorspronkelijke window ook kunt doorwerken. En (%) levert zoiets als:

```
-rw-r--r-- 1 kosterswa domain users 124 Sep 7 12:42 een.cc
```

```
-rwx----- 1 kosterswa domain users 11049 Sep 7 12:43 een
```

- donderdag 13:15–... (Informatici)
- met aansluitend vragenuur
- vrijdag 11:00–12:45 (Wiskundigen; niet in 302 en 306)
- met aansluitend vragenuurtje
- op eigen laptop in computerzalen Snellius
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc1.php
- doel: compiler, Hello world, int, opgave, ...

- Hello world voor C++
- boek en “dictaat”
- ULCN-account
- software voor thuis/laptop: WSL, ...
- de eerste programmeeropgave
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/
- huiswerk: Savitch Hoofdstuk 1; dictaat 1 en 2

Programmeermethoden

Types

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 2: 11–15 september 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

ma	di	wo	donderdag	vrijdag
			11:00–12:45 Gorlaeus zaal 1 college 2 iedereen	11:00–12:45 Snellius 303/6/7/9,411 <u>werkcollege 2</u> , vragenuurtje Wiskundigen
			13:15–... Snellius 302/3/6/7 <u>werkcollege 2</u> , vragenuur Informatici	

Werkcollege Wiskundigen van vrijdag 22 september \Rightarrow
 donderdag 21 september 13:15–... (laat).



Programmeermethoden 2023

Eerste programmeeropgave: Vermenigvuldiging

De eerste programmeeropgave van het vak **Programmeermethoden** in het najaar van 2023 heet **Vermenigvuldiging**; zie ook het **eerste**, **tweede** en **derde** werkcollege.

Deze opgave probeert te bepalen of iemand geschikt is voor een studie aan de universiteit. Daartoe moeten enkele vragen beantwoord worden, zo moet de kandidaat weten op welke dag hij/zij geboren is. En als je niets van vermenigvuldigen weet, is een beta-studie misschien niet verstandig.

Om te beginnen moet de gebruiker diens geboortjaar als geheel getal invoeren, en daarna de geboortemaand, ook als geheel getal. Vervolgens voert men de geboortedag in, wederom als geheel getal. Het programma berekent dan de leeftijd, zowel in aantal jaren als in maanden (bijvoorbeeld: 10 jaar en 3 maanden; 123 maanden); beide worden op het beeldscherm getoond. De leeftijd in maanden wordt analoog aan die in jaren bepaald (als je op de 31ste geboren bent, wordt je iedere maand een maand ouder, maar je bent niet zo vaak "maandig" — dat ben je namelijk alleen op iedere 31ste). Jarige en maandige gebruikers worden gefeliciteerd. Aangenomen mag worden dat het programma op de peildatum 25 september 2023 draait (gebruik `const`; liefhebbers mogen met `ctime` de echte huidige dag ophagen en gebruiken). Let op: het programma moet in principe ook op andere peildata vanaf heden tot 2100 correct werken! Gebruikers jonger dan 10 jaar (de 10-de verjaardag nog niet gevierd) of ouder dan 100 jaar (dus 101-ste verjaardag reeds gevierd) worden meteen geweigerd. Als uit het geboortjaar direct al duidelijk is dat het met de leeftijd niets gaat worden, hoeven de vragen naar maand en/of dag niet gesteld te worden. Maar soms biedt pas de dag uitsluit!

Nu moet de gebruiker diens geboortedag (zondag, maandag, ..., zaterdag) weten. Als deze fout is, wordt men meteen "verwijderd", en stopt het programma. Het antwoord moet met *één letter* (de eerste letter van de dag; geen cijfer dus) worden gegeven, bijvoorbeeld `w` voor woensdag. In het geval van `d/z` wordt nog om de tweede letter gevraagd.

Het is *niet* de bedoeling `ctime` te gebruiken om deze dag uit te rekenen. Het programma moet een zelf bedachte berekening bevatten om deze dag te bepalen! Gebruik bijvoorbeeld dat 1 januari 1901 op een dinsdag viel. Gebruik *niet* het **Doomsday algoritme** (zie ook [hier](#)), en ook *niet* allerlei ingewikkelde formules. Voor de periode 1901–2099 geldt dat een jaar een schrikkeljaar is precies dan als het jaartal door 4 deelbaar is.

De echte test bestaat uit enkele vragen. Mensen van 30 jaar of ouder worden hierbij minstens twee maal "netter" aangesproken dan jongeren. Splits de C++-code in het programma niet onnodig vaak!

Er wordt gekeken of de aanstaande student enigszins kan vermenigvuldigen. Wiskundig inzicht is namelijk vereist voor een beta-studie. Mocht dat niet zo zijn, wordt er getest hoe het met de kunst- of literatuurkennis staat.

De gebruiker moet allereerst het product van twee willekeurige gegeven positieve gehele getallen schatten, zeg 42 en 17. Beide getallen moeten tussen 10 en 99 liggen, grenzen inbegrepen. De gebruiker krijgt, of diens antwoord goed of fout is, de bekende vermenigvuldiging te zien. In ons voorbeeld:

```

42
17 x
--
294
420 +
---
714

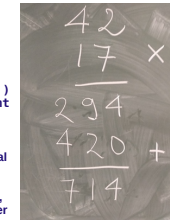
```

De getallen en streepjes moeten verticaal goed uitgelijnd staan. Als een rij 0 zou worden (bijvoorbeeld bij 42 maal 20) bestaat het antwoord alleen uit de andere rij; de optelling hoeft dan niet. De tweede rij streepjes (als die er is) heeft drie of vier streepjes, afhankelijk van de lengte van het product.

De *verhouding* tussen het gegokte en het juiste antwoord mag hoogstens EPSILON (een zekere waarde, een double, bijvoorbeeld 0.1) van 1 verschillen. Anders wordt het fout gerekend. In het voorbeeld (42 maal 17, foutmarge 0.1) moet het antwoord tussen 643 en 785 liggen, grenzen inbegrepen.

Voor het fabriceren van willekeurige gehele getallen moet gebruik worden gemaakt van de random-generator uit C++. Gebruik bijvoorbeeld `x = rand () % 20`; om een "willekeurig" getal tussen 0 en 19 (grenzen inbegrepen) in de `int` variabele `x` te krijgen. Zet bovenaan in `main`: `srand (42)`, of `srand (Jaar)`; (nadat jaar een waarde heeft gekregen), om de random-generator eenmalig te initialiseren. In plaats van 42 mag ook een ander getal staan — of zelfs, voor liefhebbers, de tijd. En soms is hiervoor `#include <cstdlib>` nodig, helemaal bovenaan het programma.

Is het antwoord goed, dan wordt de kandidaat tot een exacte studie toegelaten, en stopt het programma. Anders wordt één meerkeuzevraag (Aa/Bb/Cc/Dd) over kunst of literatuur gesteld, die uitsluitend biedt over de toelating tot een alpha-studie. Als het daar ook mis gaat, is men helaas niet geschikt voor een universitaire studie. Gebruikers tot of tot en met (kies zelf) 30 jaar krijgen hier een andere vraag dan de oudere gebruikers — maar bij beiden is "hetzelfde" antwoord, bijvoorbeeld steeds B, goed. Wederom, of het antwoord goed of fout is, het juiste antwoord wordt steeds op het scherm afgedrukt.



Opmerkingen

Als de gebruiker een niet bestaande maand invoert, bijvoorbeeld -8, of een jaartal als 4242 (in de toekomst dus), stopt het programma met de mededeling dat dit niet kan (gebruik `return 1;`). Evenzo voor een niet bestaande dag, bijvoorbeeld 31 april of 42 december. We nemen aan dat de gebruiker zo vriendelijk is verder geen fouten te maken bij het invoeren van gegevens; men voert niet al te gekke getallen of letters in, etcetera. Vanzelfsprekend worden wel duidelijke vragen gepresenteerd.

Elk programma moet bij het "runnen" aan het begin op het beeldscherm laten zien wie de makers zijn, wat hun jaar van aankomst, studierichting en studentnummer is, welke opgave het is, wat de gebruiker te wachten en te doen staat, de datum waarop het programma gemaakt is, enzovoorts. Dit noemen we het **infoblokje**. Probeer dit er netjes uit te laten zien. Maak geen al te complexe kaders eromheen; gebruik liefst alleen de eerste 128 gewone karakters. Bovenaan het programma (in de C++-code dus) staat uiteraard commentaar, waarin een aantal van deze elementen ook weer terugkomen, maar dan meer gericht op programmeurs, bijvoorbeeld de naam van de gebruikte compiler.

Denk aan het gebruik van lege regels, inspringen, commentaar, constanten, enzovoorts. Bovenaan het programma dient zoals gezegd commentaar over het programma te staan, speciaal bestemd voor andere **programmeurs** (en nakijkers), bijvoorbeeld kort wat het programma doet, en welke compiler gebruikt is: gebruikers van het programma vinden dat laatste niet interessant. Het infoblokje moet tijdens het "runnen" van het programma op het scherm komen, en is bestemd voor gebruikers van het programma. Lees ook eens over **richtlijnen** bij het maken van programmeeropgaven, en bestudeer de **huisregels**. Er hoeft geen gebruik van functies, arrays en het `while-` en `for-`statement gemaakt te worden. Alleen de headerfiles `iostream` mag en moet gebruikt worden — en eventueel `ctime` voor liefhebbers; en misschien `cstdlib` voor het gebruik van de random-generator. Ruwe indicatie voor de lengte van het C++-programma: 200 regels (300 mag ook wel). Letters moeten als `char` worden ingelezen, dus *niet* met strings, die mogen namelijk niet gebruikt worden.

Uiterste inleverdatum: **maandag 25 september 2023, 18:00 uur**.

De manier van inleveren (één exemplaar per koppel, dat — ter herinnering — uit maximaal twee personen bestaat) is als volgt.

- Digitaal de C++-code inleveren via Brightspace > Course Tools > Assignments. Stuur geen executable's, LaTeX-files of PDF-files, lever alleen één C++-file digitaal in!
- Doe een print van het verslag in de doos bij kamer 159 van het Snellius.

De laatst voor de deadline ingeleverde versie wordt nagekeken.

Overal duidelijk datum en namen van de twee makers vermelden, in het bijzonder als commentaar in de eerste regels van de C++-code. Lees bij het **derde werkcollege** hoe het verslag eruit moet zien. Zijn spaties/tabs goed verwerkt?

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op1pm.php

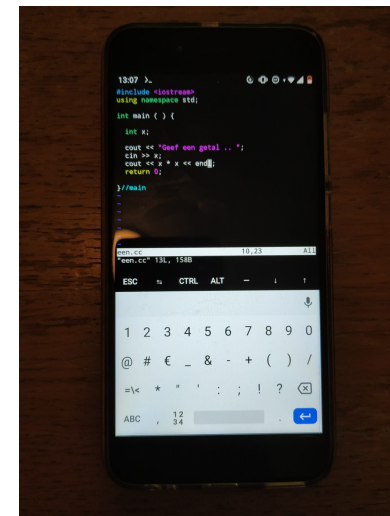
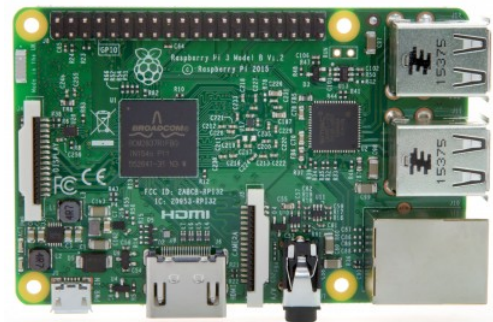
[richtlijnen](#)

Voor we aan de **types** beginnen, eerst nog een “uitgebreide” stoomcursus UNIX en wat meer over C++.

Mac: www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/macdoc.php

Code::Blocks, Linux (WSL), ...: **7.9: stukje groen**
www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/videos.php

Smartphone (Termux)?
Of een Raspberry Pi?



De belangrijkste commando's zijn:

<code>ls</code>	overzicht files in directory (= map)
<code>more</code>	file op beeldscherm
<code>rm</code>	file verwijderen
<code>cp</code>	file kopiëren
<code>mv</code>	file verplaatsen
<code>cd</code>	van directory veranderen
<code>mkdir</code>	maak een nieuwe directory
<code>chmod</code>	rechten bij files regelen
<code>man</code>	hulp
<code>(lpr</code>	file printen)

Enkele voorbeelden:

```
ls -lrt ; cp een twee ; cd Abc ; chmod 644 * ; man ls  
(En file a.cc printen op HAL9000: lpr -PHAL9000 a.cc)
```

Gebruik `firefox &` om de web-browser Firefox te starten. De **ampersand** `&` zorgt er voor Firefox “op de achtergrond” draait, en dat je in de “**terminal**” kunt doorwerken.

UNIX werkt met **processen**. CTRL-C stopt een proces. Verdere controle: `ps`, `top` en `kill`. Voorbeeld, met **pipelining**:
`ps -eaf | grep ikkuh`.

Gebruik “history” via `↑` en `↓`, en “tab-completion”.

Zie verder [dictaat, Hoofdstuk 2](#).

```
find . -name "*cc" | xargs grep -i jaar
```

```
// Dit is een regel met commentaar ...
#include <iostream> // moet er altijd bij
using namespace std;
const double PIE = 3.14159; // een constante (of cmath)
int main ( ) {
    double straal; // straal van de cirkel
    cout << "Geef straal, daarna Enter .. ";
    cin >> straal;
    if ( straal >= 0 ) { // accolades nodig,
        cout << "Oppervlakte "; // want twee statements hier
        cout << PIE * straal * straal << endl;
    }//if
    else { // hier accolades niet nodig, maar liever wel!
        cout << "Niet zo negatief ..." << endl;
    }//else
    cout << "Einde van dit programma." << endl;
    return 0;
}//main
```

In plaats van

```
cout << PIE * straal * straal << endl;
```

is doorgaans

```
double oppervlakte; // van de cirkel  
...  
oppervlakte = PIE * straal * straal;  
cout << oppervlakte << endl;
```

beter.

We scheiden berekenen en printen = afdrukken.

Elk C++-programma bestaat uit:

- speciale symbolen als +, -, *, /, %, >=, <=, <<, >>, = (“wordt”), == (“is gelijk aan”), != (“is ongelijk aan”)
- woordsymbolen als `if`, `while`
- identificers als `int`, `straal`; vaak zelfgemaakt
- getallen als 42, 3.14159 (decimale punt)
- strings als "Einde van dit pRoGrAmMa. "
- “whitespace”: spatie (`␣`), tab, regelovergang (CR/LF)

En dan heb je ook nog: separatoren (`␣`, `//...`, `/*...*/`), karakters (`'j'`, `'('`, `'\n'`) en literals (getallen, strings).

Bij dit college gebruiken we de volgende C++-**keywords**:

```
break case char class const delete do  
double else enum for if int long new  
private public return sizeof static  
struct switch this void while
```

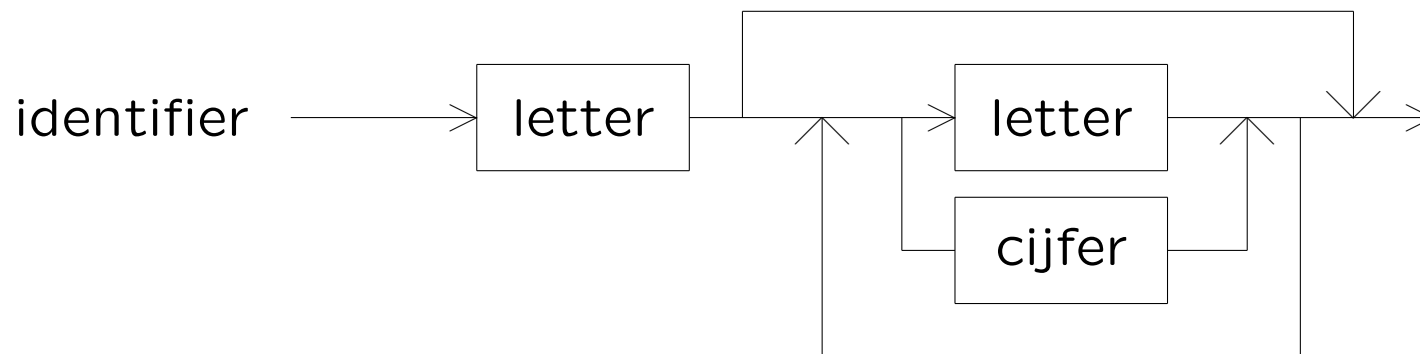
En uit de ANSI-ISO C++-standaard:

```
bool false namespace static_cast true using
```

Er zijn er nog minstens 30 meer. Huidige versie: C++20.

Je kunt alles heel precies grammaticaal vastleggen — en dat moet ook voor de compiler. Daarvoor zijn zogeheten **syntax-diagrammen** bedacht.

Voorbeeld: een *identifiser* is gedefinieerd als een *letter* gevolgd door nul of meer *cijfers* en *letters*.



Zie verder: Noam Chomsky, BNF (Backus Naur Form), kontekstvrije/formele talen — “loodspet”.



Een goed programma bevat veeeeeeeeeeeeel **commentaar**:

```
/*  
    Dit is commentaar in C-stijl  
    en de compiler slaat het allemaal over!  
*/
```

maar niet *te* veel.

Zeker naast “iedere” variabele-declaratie:

```
int stp = 6; // zes EC studiepunten voor PM  
            // als je opgaven EN tentamen haalt
```

Let op met “nesten”. Gebruik liever //, en benut /*...*/ bij tijdelijk wegcommentariëren.

Er is verschil tussen `//` (voor programmeurs, inclusief jezelf) en `cout` (gebruikers, inclusief jezelf: “**infoblokje**”)!

Goed:

```
cout << "Geef eerste voorletter .. ";
cin >> een;
cout << "Geef tweede voorletter .. ";
cin >> twee;
```

Voor de gebruiker onduidelijk:

```
cout << "Geef twee voorletters .. ";
cin >> een >> twee;
```

Overbodig commentaar:

```
cout << "Geef voorletter .. ";
cin >> voorletter; // lees voorletter in
```

Bovenaan een programma staat ietwat technisch commentaar voor **programmeurs**: wie, wat, waar(om), wanneer, . . . , welke compiler, . . .

```
//  
// Schaakprogramma van A. Turing en M. Carlsen  
// C++, 14.9.2023, g++ versie 3.14159  
// ...  
...  
...  
...  
    cout << "Welkom ... " << endl; // infoblokje  
    cout << "...  
    ...  
    ...
```

Als een programma begint, krijgt een **gebruiker** informatie via een “infoblokje” met `cout`-statements: wie, wat, waar, . . . , “wat moet ik doen”, . . .

De globale structuur van een C++-programma is:

```
// commentaar: wie, wat, waar(om), wanneer
#include ...
const ...
class ... // allerlei objecten (OOP)
... // nu allerlei functies
int main ( ) {
    ... // kort
    return 0;
} //main
```

Sommigen zetten de functies *onder* main — je hebt dan “prototypes” nodig.

```
int main ( ) {
    int leeftijd; cin >> leeftijd; // foei!
    if ( leeftijd < 12 ) {
        doedit...
    }//if
    else {
        if ( leeftijd <= 67 ) {
            werken...
            return 1; // stopt het programma
        }//if
        doedat...
    }//else
    return 0;
}//main
```

Drie of vier spaties mogen ook ... mits consequent.

```
int main ( ) {  
12int leeftijd; cin >> leeftijd; // foei!  
12if ( leeftijd < 12 ) {  
1234doedit...  
12}//if  
12else {  
1234if ( leeftijd <= 67 ) {  
123456werken...  
123456return 1; // stopt het programma  
1234}//if  
1234doedat...  
12}//else  
12return 0;  
}//main
```

[richtlijnen](#)

Hierbij staat een 1/2/3/4/5/6 voor een spatie.

C++, een **sterk getypeerde** taal, kent de volgende basistypes (**data-types**):

- `int` — geheel getal: 1234
- `double` — *benadering* van reëel getal: 12.3
- `bool` — waar (`true`) of niet-waar (`false`)
- `char` — karakter (lettertje): '3'

En allerlei zelf-gemaakte types, zie later:

- arrays en strings: `int A[42];` levert array A met 42 gehele getallen `A[0], A[1], ..., A[41]`, een vector dus
- `class`, `struct`
- pointers (geheugen-adressen)

Voor gehele getallen (*integers*) hebben we het type `int`, voor iets grotere gehele getallen het type `long`.

Als een `int` 4 *bytes* = $4 \times 8 = 32$ bits beslaat (gebruik `cout << sizeof (int) << endl;`), is de grootste, `INT_MAX`, gelijk aan (via $2^{10} = 1024 \approx 1000$): $2^{31} - 1 \approx 2 \times 1000^3 = 2 \times 10^9 = 2$ miljard. De kleinste is *ongeveer* `-INT_MAX`.

Soms nodig: `#include <climits>`.

```

01111111  11111111  11111111  11111111
00000000  00000000  00000000  00000001  +
-----
10000000  00000000  00000000  00000000

```

Test eventueel `if (x > INT_MAX - y) cout << "Te groot";`
 en *niet* `if (x + y > INT_MAX) cout << "Te groot";`.

↑
zinloze test, altijd false

```
int getal;           // een geheel getal
int a = 3, b = -5; // en nog twee, nu wel geïntialiseerd

getal = a + b; // getal wordt -2
a = a + 7;     // a wordt met 7 opgehoogd naar 10
               // reken eerst a + 7 uit, en stop die waarde in a
b++;          // hoog b met 1 op (naar -4),
               // hetzelfde als b = b + 1;
--a;         // a wordt 9, hetzelfde als a = a - 1;
getal += a;  // hoog getal met a op (naar 7),
               // hetzelfde als getal = getal + a;
a = 19 / 7;  // a wordt 2: deel 19 door 7
b = 19 % 7;  // b wordt 5: rest bij die deling (modulo)
```

Een `double` (kleinere versie: `float`; typisch 8 en 4 bytes) bevat een benadering van een reëel getal.

Stiekem is een `double` een rationaal getal (uit \mathbb{Q}).

Met `#include <cmath>` (vroeger `math.h`) kun je allerlei standaardfuncties als `sqrt`, `sin`, `ceil` (naar boven = “rechts” afronden), `floor` (idem, naar beneden = “links”) en `fabs` (absolute waarde) gebruiken.

Zo levert `floor (6.8)` de waarde 6 op, oftewel $\lfloor 6.8 \rfloor = 6$. En `floor (-6.8)` geeft -7, oftewel $\lfloor -6.8 \rfloor = -7$.

(En `#include <ctime>` geeft functies voor de tijd.)

```
double x; // een reeel getal
double temp = 36.5, dollar = 0.932; // en nog twee
const double PIE = 3.28; // en nog een
int i; // en een integer

i = 9 / 5; // dat is 1
x = 9 / 5; // en weer 1 (1.0000)
x = 9 / 5.0; // en dat levert 1.8000
x = (double) 9 / 5; // nu 1.8000: (ouderwets) casten
x = static_cast<double>(9) / 5; // idem, (modern) casten
i = 9 / 5.0; // en dat is weer 1: impliciet casten
i = x + 0.5; // slim afronden, met impliciet casten
// misschien beter: (int) ( x + 0.5 )
PIE = 3.14; // verboden, want PIE is een constante
```

Hoe druk je double's netjes af?

```
#include <iomanip>
...
double x = 92.36718;
cout << "En x is: "
      << setw (8) // eerstvolgende 8 breed afdrukken
      << setprecision (2) // 2 cijfers na de komma: 92.37
      << setiosflags (ios::fixed|ios::showpoint)
          // met decimale punt, en 88.00 ipv 88
      << x << endl;
```

Nu kan $14.23 + 18.67 = 32.91$ optreden!

Er zijn allerlei varianten, zie boek ... (liefhebbers)

O ja, en in plaats van `using namespace std;` is het wellicht beter om altijd `std::cin` en `std::cout` te gebruiken.

Boolese/Booleaanse variabelen, van type `bool`, zijn waar (`true`, `1`, in C++: iets wat *ongelijk* 0 is (!!!)) of niet-waar (`false`, `0`).

Je kunt zelf ook zo'n type maken via

```
enum boolean { False = 0, True = 1 };
```

Waarheidstabel/tafel:

p	q	!p	p&&q	p q	p==q
0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	1	1	1
		not	and	or	

Er zijn vele rekenregels, zoals $!!p = p$ en (de regel van Augustus De Morgan:) $!(p \ \&\& \ q) = !p \ || \ !q$.

Enkele voorbeelden van “Boolese expressies”:

```
if ( ( 2 < x ) && ( x < 7 ) ) ...
if ( 2 < x < 7 ) ... // NEE! betekent iets anders
if ( y != 0 ) ... // FOUT!!! y wordt nu 1 (niet-0)
if ( ! ( ( y < 3 ) || ( y > 7 ) ) ) ... // het-
if ( ( y >= 3 ) && ( y <= 7 ) ) ... // zelf-
if ( 3 <= y && y <= 7 ) ... // de
```

En als x gelijk aan 0 is wordt de tweede test niet gedaan:

```
if ( ( x != 0 ) && ( y / x == 7 ) ) ...
```

Dat heet **short-circuiting**.

```
char letter;           // een karakter
char let1 = 'q', let2 = '$'; // en nog twee
int i;                // een integer
i = 'h' - 'c';        // 5
i = 'a'; // impliciet casten: 97, de ASCII-waarde van 'a'
i = (int) (letter);   // netter (ouderwets)
let1 = let1 + 'A' - 'a'; // bijvoorbeeld 'q' geeft 'Q'
```

Let op het verschil tussen **karacters**: enkele quotes; en **C-strings**: dubbele quotes: "aap" ('a' 'a' 'p' '\0').

Testen of letter de waarde j (van "ja") heeft gaat met:

```
if ( letter == 'j' ) ...
```

en dus niet met `if (letter == j)` of `if (letter = 'j')!`

Ieder karakter, een enkele byte, correspondeert met een unieke **ASCII-waarde** (American Standard Code for Information Interchange) tussen 0 en 255. Gebruik liever geen karakters > 127 . En “nooit” expliciet die getallen.

...	36	37	38	...	47	48	49	...	57	58	...
...	\$	%	&	...	/	0	1	...	9	:	...
65	66	...	90	91	...	97	98	...	122	123	...
A	B	...	Z	[...	a	b	...	z	{	...

De CarriageReturn (CR, '\r') heeft ASCII-waarde 13, de LineFeed (LF, '\n') ASCII-waarde 10.

Regelovergangen in de UNIX-wereld: LF, in de Windows-wereld CR en LF.

Sommige karakters gebruiken een **escape sequence**: `'\n'`.
Ook nog: `'\t'` (tab), `'\\'` (backslash), ...

Zo geeft `cout << "\\n";` op het beeldscherm `\n`. En bij
`cout << "nnn\nnn";` krijg je

```
nnn
```

```
nn
```

Een nieuwe regel op het beeldscherm kun je maken met
`cout << "\n";` of (beter) met `cout << endl;`. De eerste
“**buffert**” en de tweede “**flusht**” — en dat is soms fijn.

Met behulp van de **toekenning** (=, helaas geen := of ←) kun je waarden aan variabelen geven.

```
int getal; bool p; char kar;   getal = 17;
p = false;           // hulpvariabele, betere naam: volwassen
p = ( getal >= 18 ); // het feit of getal minstens 18 is
if ( p ) cout << "volwassen getal ...";
if ( p == true ) ... // mag, niet elegant
if ( p = true ) ...  // FOUT, nu wordt p eerst true,
// is de test altijd waar, en is p ook nog veranderd
if ( getal == 2 || 3 || 5 || 7 || 11 || 13 ) ... // FOUT
// moet zijn: if ( getal == 2 || getal == 3 || getal ...
if ( 'd' <= kar && kar <= 'h' ) ... // is kar d/e/f/g/h?
```

Aan een **l-value** (laten we zeggen een variabele) mag je een **r-value** (alles wat een waarde oplevert) toekennen:

```
rij[k] = 42;           // k-de array-element wordt 42
( i < j ? i : j ) = 0; // kleinste van i en j wordt 0!?
```

Met behulp van operatoren (+ - * / % = << >> ++ --), variabelen en literals bouw je **expressies**.

Er gelden zekere **prioriteiten**. Veel operatoren zijn “links-associatief”: $1 + 2 + 3$ betekent $(1 + 2) + 3$; daar maakt het trouwens niet uit.

Praktische aanpak: zet overvloedig haakjes: (en).

Omdat = “rechts-associatief” is mag je **statements** schrijven zoals $x = y = 51;$, en dat betekent $x = (y = 51);$. Nu worden x en y beide 51: de “waarde van een toekenning” is “dat wat je toekent”.

Bij $f(x) + g(x)$ is het in C++ onbepaald of eerst $f(x)$ of eerst $g(x)$ berekend wordt.

-
- maak de eerste programmeeropgave — de deadline is op maandag 25 september 2023, 18:00 uur!
 - verslag (in \LaTeX) → volgende week
 - lees Savitch Hoofdstuk 1 (nog eens), begin met 2
 - lees [dic-taat](#) Hoofdstuk 1, 2 (nog eens), begin met 3
 - maak opgaven 1/5 uit het “[opgavendictaat](#)”
 - www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/

Programmeermethoden

Controle-structuren

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 3: 18–22 september 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

ma	di	wo	donderdag	vrijdag
			11:00–12:45 Gorlaeus zaal 1 college 3 iedereen	 11:00–12:45 Snellius 303/6/7/9 <u>werkcollege 3</u>, vragenuurtje Wiskundigen
			13:15–... Snellius 302/3/6/7/9 <u>werkcollege 3</u> , vragenuur iedereen	stiekem gaat het door

DLF: Werkcollege Wiskundigen van vrijdag 22 september
 ⇒ donderdag 21 september 13:15–... (laat).

Maandagmiddag 25 september (deadline 18:00 uur): in-
 formeel vragenuur in de buurt van de computerzalen



Programmeermethoden 2023 Eerste programmeeropgave: Vermenigvuldiging

De eerste programmeeropgave van het vak **Programmeermethoden** in het najaar van 2023 heet **Vermenigvuldiging**; zie ook het **eerste**, **tweede** en **derde** werkcollege.

Deze opgave probeert te bepalen of iemand geschikt is voor een studie aan de universiteit. Daartoe moeten enkele vragen beantwoord worden, zo moet de kandidaat weten op welke dag hij/zij geboren is. En als je niets van vermenigvuldigen weet, is een beta-studie misschien niet verstandig.

Om te beginnen moet de gebruiker diens geboortjaar als geheel getal invoeren, en daarna de geboortemaand, ook als geheel getal. Vervolgens voert men de geboortedag in, wederom als geheel getal. Het programma berekent dan de leeftijd, zowel in aantal jaren als in maanden (bijvoorbeeld: 10 jaar en 3 maanden; 123 maanden); beide worden op het beeldscherm getoond. De leeftijd in maanden wordt analoog aan die in jaren bepaald (als je op de 31ste geboren bent, wordt je iedere maand een maand ouder, maar je bent niet zo vaak "maandig" — dat ben je namelijk alleen op iedere 31ste). Jarige en maandige gebruikers worden gefeliciteerd. Aangenomen mag worden dat het programma op de peildatum 25 september 2023 draait (gebruik `const`; liefhebbers mogen met `ctime` de echte huidige dag opvragen en gebruiken). Let op: het programma moet in principe ook op andere peildata vanaf heden tot 2100 correct werken! Gebruikers jonger dan 10 jaar (de 10-de verjaardag nog niet gevierd) of ouder dan 100 jaar (dus 101-ste verjaardag reeds gevierd) worden meteen geweigerd. Als uit het geboortjaar direct al duidelijk is dat het met de leeftijd niets gaat worden, hoeven de vragen naar maand en/of dag niet gesteld te worden. Maar soms biedt pas de dag uitsluitel!

Nu moet de gebruiker diens geboortedag (zondag, maandag, ..., zaterdag) weten. Als deze fout is, wordt men meteen "verwijderd", en stopt het programma. Het antwoord moet met *één letter* (de eerste letter van de dag; geen cijfer dus) worden gegeven, bijvoorbeeld `w` voor woensdag. In het geval van `d/z` wordt nog om de tweede letter gevraagd.

Het is *niet* de bedoeling `ctime` te gebruiken om deze dag uit te rekenen. Het programma moet een zelf bedachte berekening bevatten om deze dag te bepalen! Gebruik bijvoorbeeld dat 1 januari 1901 op een dinsdag viel. Gebruik *niet* het **Doomsday algoritme** (zie ook [hier](#)), en ook *niet* allerlei ingewikkelde formules. Voor de periode 1901–2099 geldt dat een jaar een schrikkeljaar is precies dan als het jaartal door 4 deelbaar is.

De echte test bestaat uit enkele vragen. Mensen van 30 jaar of ouder worden hierbij minstens twee maal "netter" aangesproken dan jongeren. Splits de C++-code in het programma niet onnodig vaak!

Er wordt gekeken of de aanstaande student enigszins kan vermenigvuldigen. Wiskundig inzicht is namelijk vereist voor een beta-studie. Mocht dat niet zo zijn, wordt er getest hoe het met de kunst- of literatuurkennis staat.

De gebruiker moet allereerst het product van twee willekeurige gegeven positieve gehele getallen schatten, zeg 42 en 17. Beide getallen moeten tussen 10 en 99 liggen, grenzen inbegrepen. De gebruiker krijgt, of diens antwoord goed of fout is, de bekende vermenigvuldiging te zien. In ons voorbeeld:

```

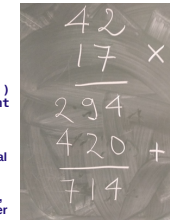
42
17 x
--
294
420 +
---
714
    
```

De getallen en streepjes moeten verticaal goed uitgelijnd staan. Als een rij 0 zou worden (bijvoorbeeld bij 42 maal 20) bestaat het antwoord alleen uit de andere rij; de optelling hoeft dan niet. De tweede rij streepjes (als die er is) heeft drie of vier streepjes, afhankelijk van de lengte van het product.

De *verhouding* tussen het gegokte en het juiste antwoord mag hoogstens EPSILON (een zekere waarde, een double, bijvoorbeeld 0.1) van 1 verschillen. Anders wordt het fout gerekend. In het voorbeeld (42 maal 17, foutmarge 0.1) moet het antwoord tussen 643 en 785 liggen, grenzen inbegrepen.

Voor het fabriceren van willekeurige gehele getallen moet gebruik worden gemaakt van de random-generator uit C++. Gebruik bijvoorbeeld `x = rand () % 20`; om een "willekeurig" getal tussen 0 en 19 (grenzen inbegrepen) in de `int` variabele `x` te krijgen. Zet bovenaan in `main`: `srand (42)`, of `srand (Jaar)`; (nadat jaar een waarde heeft gekregen), om de random-generator eenmalig te initialiseren. In plaats van 42 mag ook een ander getal staan — of zelfs, voor liefhebbers, de tijd. En soms is hiervoor `#include <cstdlib>` nodig, helemaal bovenaan het programma.

Is het antwoord goed, dan wordt de kandidaat tot een exacte studie toegelaten, en stopt het programma. Anders wordt één meerkeuzevraag (Aa/Bb/Cc/Dd) over kunst of literatuur gesteld, die uitsluitel biedt over de toelating tot een alpha-studie. Als het daar ook mis gaat, is men helaas niet geschikt voor een universitaire studie. Gebruikers tot of tot en met (kies zelf) 30 jaar krijgen hier een andere vraag dan de oudere gebruikers — maar bij beiden is "hetzelfde" antwoord, bijvoorbeeld steeds B, goed. Wederom, of het antwoord goed of fout is, het juiste antwoord wordt steeds op het scherm afgedrukt.



Opmerkingen

Als de gebruiker een niet bestaande maand invoert, bijvoorbeeld -8, of een jaartal als 4242 (in de toekomst dus), stopt het programma met de mededeling dat dit niet kan (gebruik `return 1;`). Evenzo voor een niet bestaande dag, bijvoorbeeld 31 april of 42 december. We nemen aan dat de gebruiker zo vriendelijk is verder geen fouten te maken bij het invoeren van gegevens: men voert niet al te gekke getallen of letters in, etcetera. Vanzelfsprekend worden wel duidelijke vragen gepresenteerd.

Elk programma moet bij het "runnen" aan het begin op het beeldscherm laten zien wie de makers zijn, wat hun jaar van aankomst, studierichting en studentnummer is, welke opgave het is, wat de gebruiker te wachten en te doen staat, de datum waarop het programma gemaakt is, enzovoorts. Dit noemen we het **infoblokje**. Probeer dit er netjes uit te laten zien. Maak geen al te complexe kaders eromheen; gebruik liefst alleen de eerste 128 gewone karakters. Bovenaan het programma (in de C++-code dus) staat uiteraard commentaar, waarin een aantal van deze elementen ook weer terugkomen, maar dan meer gericht op programmeurs, bijvoorbeeld de naam van de gebruikte compiler.

Denk aan het gebruik van lege regels, inspringen, commentaar, constanten, enzovoorts. Bovenaan het programma dient zoals gezegd commentaar over het programma te staan, speciaal bestemd voor andere **programmeurs** (en nakijkers), bijvoorbeeld kort wat het programma doet, en welke compiler gebruikt is: gebruikers van het programma vinden dat laatste niet interessant. Het infoblokje moet tijdens het "runnen" van het programma op het scherm komen, en is bestemd voor gebruikers van het programma. Lees ook eens over **richtlijnen** bij het maken van programmeeropgaven, en bestudeer de **huisregels**. Er hoeft geen gebruik van functies, arrays en het `while`- en `for`-statement gemaakt te worden. Alleen de headerfiles `iostream` mag en moet gebruikt worden — en eventueel `ctime` voor liefhebbers; en misschien `cstdlib` voor het gebruik van de random-generator. Ruwe indicatie voor de lengte van het C++-programma: 200 regels (300 mag ook wel). Letters moeten als `char` worden ingelezen, dus *niet* met strings, die mogen namelijk niet gebruikt worden.

Uiterste inleverdatum: **maandag 25 september 2023, 18:00 uur**.

De manier van inleveren (één exemplaar per koppel, dat — ter herinnering — uit maximaal twee personen bestaat) is als volgt.

- Digitaal de C++-code inleveren via Brightspace > Course Tools > Assignments. Stuur geen executable's, LaTeX-files of PDF-files, lever alleen één C++-file digitaal in!
- Doe een print van het verslag in de doos bij kamer 159 van het Snellius.

De laatst voor de deadline ingeleverde versie wordt nagekeken.

Overal duidelijk datum en namen van de twee makers vermelden, in het bijzonder als commentaar in de eerste regels van de C++-code. Lees bij het **derde werkcollege** hoe het verslag eruit moet zien. Zijn spaties/tabs goed verwerkt?

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op1pm.php

Inleveren: digitaal bidenharris1.cc via Brightspace ⇒ Assignments (maak eerst een “Group”); en mooi.pdf printen en in de doos bij Snellius 159 doen.

```
\usepackage{listings}
\begin{document}
% ... etcetera ...
```

mooi.tex

```
// Opgave 1: ...
#include <iostream>
using namespace std;
// ... etcetera ...
```

bidenharris1.cc

→
L^AT_EX

```
Mooi printen
Walter Kusters
23 augustus 2023

1 Uitleg
Tijd voor een verslag. Hoe print je daarbij een C++ programma mooi? Bijvoorbeeld met LATEX-package listings. Let op de talloze opties, bijvoorbeeld voor de tal-grootte.

2 Tijd
Er is hier veel tijd aan besteed.

Code
En dit is het programma:

1 // file iets.cc
2 // Dit is een simpel C++-programma, hello world; vernijd overigens regels met meer
3   dan 70 karakters
4
5 #include <iostream>
6 using namespace std;
7
8 const double pie = 3.14159; // een constante (of cmath)
9 int main () {
10  double straal; // straal van de cirkel
11  cout << "Geef straal, daarna Enter ... ";
12  cin >> straal;
13  if ( straal >= 0 )
14    cout << "Opperlakte "
15    << pie * straal * straal << endl;
16  else
17    cout << "Niet zo negatief ..." << endl;
18  cout << "Einde van dit programma." << endl;
19  return 0;
20 } //main
```

mooi.pdf

1

We werken met Donald Knuth's \LaTeX , zie de [video](#).

Formules: $\text{\$x\^{42} - \beta_7\$}$ levert $x^{42} - \beta_7$.

Gebruik [Overleaf](#), zie

[korte introductie](#)

En de uitleg bij het [derde werkcollege](#).

Walter Kosters — smallCpp

September 11, 2023

1 Introduction

In this short note we describe a simple subset SMALLCPP of the programming language C++ that can be used in first year introductory programming classes at universities. It is intended to be as simple as possible, while still being powerful enough to allow for decent programs. However, we impose several obligations, that are usually optional, e.g., regarding layout. We adhere to the following principles:

- All SMALLCPP programs can be compiled and run without errors and warnings by g++. Of course, this depends on versions and error levels, but we will in some sense be rather strict here.
- We use as few constructs as possible. We will not explain the different constructs in detail here.

Lines in SMALLCPP programs are at most 70 characters in length. Only characters with ASCII values from 0 up to and including 127 can be used. Only // comments can be used, so no /* ... */.

2 Types and variables

The only basic types that are allowed are bool (with only values true and false, no 0/1), char, int and double. Notice that for int and double we do not specify their number of bytes.

We can use single and double arrays. All array bounds must be specified by constants (by the way, no #defines), no numbers allowed. No possibility for new and delete here. In function headings the first [] must contain exactly one space.

Programmers can define classes in the usual way, even with the unfortunate ; at the end. Only private and public members are allowed, and all must be specified as such.

Finally, we have pointer types, whose variables can only point to (address) objects of self-defined classes. We use nullptr, and not NULL. The -> notation must be used to address members. (By exception, *this may be used to refer to the whole object itself, if really needed.)

All variables must be declared at the start of the function they are local in (or, of course, in the parameter list of their function); all declarations end with a comment. No global variables are allowed, only global constants.

3 Control structures

We will only use if, while and for statements. (And switch in some very special situations.) Also, for must be used only in a "simple" way, with all three components. A do-while statement is not allowed. Furthermore we have new and delete to create and destroy objects of self-defined classes. (No delete [].)

Only cin and cout may be used to generate in/output from the keyboard and to the screen.

No usage of the ternary operator ...? ...: ... is allowed. And no , -operator. The operators ++ and -- are allowed, but only immediately following variables.

4 Layout

First of all, we expect layout to be internally consistent. Programmers use a fixed indentation, say $t = 2$ (or 3, or 4) spaces, and tabs are not allowed. For all statements curly braces { ... } are used, even for single ones. If $k \geq 0$ "open" curly braces have passed, a line starts with exactly $k \times t$ spaces.

Every line contains at most one statement. Multiple declarations/definitions like int a, b, c; are not allowed for the moment: all variables need a line of their own, ending with a comment.

A starting { is on the same line as its statement/function, and ends that line — apart from optional comment. The concluding } is indented in the same way as the statement/function that started it, and is on an empty

line (perhaps with comment) by itself, implying that the line starts with $(k - 1) \times t$ spaces. Alternatively, the opening { is allowed on a line by itself, indented in the same as the corresponding }. Functions are separated by one or more empty lines, and have at least one comment line above their heading. Binary operators (<<, >>, <, >, ==, !=, +=, -=, <=, >=, +, -, *, /, %, &&, ||; no others are allowed) are always surrounded by at least one space on both sides. In particular this holds for the assignment operator =. It also holds for & in call by reference notation in function headings, the only place where & can be used. When using several <<'s, if on different lines, but belonging to the same cout, the first ones on a line start at the same indentation; they are not allowed at the end of a line. By the way, >> is allowed exactly once after cin.

5 Final details

The only keywords that were not mentioned so far, but that can be used, are #include, void, main, const, else and return (in particular: no goto, do, static (for the moment), struct, scanf, printf, malloc, ...). And of course those in using namespace std; .

When using casting, some flexibility is allowed.

We hope that SMALLCPP will be a fruitful addition to the world of programming.

Example program

```
1 // example.cc: a simple smallCpp program
2
3
4 #include <iostream>
5 #include <cstdlib> // so rand ( ) will probably work
6 using namespace std;
7
8 const int MAX = 100; // for array length
9
10 // returns maximum of n-element array A
11 int maximum (int A [ ], int n) {
12     int i; // counter
13     int maxi = A[0]; // for maximum value
14     for ( i = 1; i < n; i++) { // start from 1
15         if ( A[i] > maxi ) {
16             maxi = A[i];
17         } //if
18     } //for
19     return maxi;
20 } //maximum
21
22 // main
23 int main ( ) {
24     int B[MAX]; // the array
25     int i; // counter
26     srand (42); // initialize random number generator
27     for ( i = 0; i < MAX; i++) { // fill the array
28         B[i] = rand ( ) % 10000;
29     } //for
30     cout << "Maximum value is " << maximum (B,MAX)
31         << endl;
32     return 0;
33 } //main
```

1

2

Zie de [richtlijnen](#) voor het programmeren in C++.

C++ kent de volgende controle-structuren:

keuze `if` (met als variant: `switch`)

onbekend (maar eindig?) aantal herhalingen

`while` (met als variant: `do ... while`)

“vast” aantal herhalingen `for`

We gebruiken geen labels/goto's!

Een if-statement gaat informeel als volgt:

```
als ( een of andere test )  
    als de test waar is: zus en zo  
anders // niet verplicht  
    als de test onwaar is: dit en dat
```

En een while-statement gaat informeel als volgt:

```
zolang ( een of andere test waar is )  
    zus en zo
```

```
      test
    ┌───────────┐
if ( temperatuur > 0 )
  fietsen (...);           ← als test ≠ 0
else {
  parapluikopen (...);    ← als test = 0
  lopen (...);
} //else
```

Let op de accolades om het “compound” (samengestelde) statement. Rond `fietsen (...);` *mogen* accolades — en die gaan we “altijd” zetten.

De tests gebruiken **predicaten** als `==` (*gelijk aan?*), `!=` (*ongelijk aan?*), `<` (*kleiner dan?*), `>` (*groter dan?*), `<=` (*kleiner dan of gelijk aan?*) en `>=` (*groter dan of gelijk aan?*).

Waar hoort een “else” bij?

```
if ( x > 0 )
  if ( y > 0 )
    cout << "Beide groter dan nul.";
  else
    // waar hoort deze bij?
    cout << "      ? ? ? ?      ";
```

Overigens: met accolades vermijd je veel problemen!

Waar hoort een “else” bij?

```
if ( x > 0 )
  if ( y > 0 )
    cout << "Beide groter dan nul.";
  else
    // waar hoort deze bij?
    cout << " x positief, y negatief (of 0) ";
```

Bij de laatste nog “openstaande” if!

Zorg ervoor dat de layout klopt — de compiler kijkt daar niet naar. En: “kloppen = mooi/consequent/simpel†/...”

† vergelijk Occam’s razor




```
if ( x == 0 ) x = 1;  
else if ( x == 2 ) x = 7;
```

OK

```
if ( x == 0 )  
    x = 1;  
else if ( x == 2 )  
    x = 7;
```

OK++
nog beter: met accolades

```
if ( x == 0 )  
    x = 1;  
else  
    if ( x == 2 )  
        x = 7;
```

OK

```
if ( x == 0 ) x = 1;
else if ( x == 2 ) x = 7;
```

OK (zie ook switch)

```
if ( x == 0 ) x = 42;
if ( x == 2 ) x = 7;
```

// wat als hier x = 2;?
zwak (x wordt twee
 maal lastig gevallen
 als x toevallig 0 is)

```
if ( x == 0 ) {
    cout << "...iets..." << endl;
    return 1;
} //if
```

// geen else nodig
OK++

```
if ( x == 2 ) x = 7;
```

```
if ( code == 0 ) // code van type int
    doedit (...);
else if ( code == 1 )
    doedat (...);
else ...
```

is equivalent met:

```
switch ( code ) {
    case 0: doedit (...); break; // layout ??
    case 1: doedat (...); break;
    ...
} //switch
```

Je kunt ook als geval default: benutten.

Typisch gebruik: menu-opties, met een char.

Stel je wilt de eerste n positieve gehele getallen en hun kwadraten afdrukken:

```
int i, n;  cin >> n;           1--1
                                     2--4
i = 1;                                     3--9
while ( i <= n ) {                 4--16
    cout << i << "--" << i * i << endl; 5--25
    i++;                             6--36
}//while                             ...
```

Het kan ook zo:

```
for ( i = 1; i <= n; i++ ) {
    cout << i << "--" << i * i << endl;
}//for
```

Nog enkele voorbeelden van **while-loops**:

```
while ( n != 0 ) // zolang n niet 0 is; hopelijk n >= 0
    n--;         // laag hem met 1 af: n = n - 1
```

Dit is overigens hetzelfde als: `while (n) n--;`

Let er op dat je beter `(n > 0)` als test kunt gebruiken:

```
x = 1;
while ( x < 100 ) { cout << x << endl; x = x + 2; }
```

drukt de oneven getallen < 100 af, maar niet als de test `(x != 100)` zou luiden — dan stopt het niet.

Bij een while-loop is het aantal “doorgangen” van te voren vaak onbekend of lastig te bepalen:

```
int x = 1;
while ( x < 1000 ) x = 2 * x;
// nu is x gelijk aan 1024
```

Het [Collatz-probleem](#) ($3x + 1$ vermoeden) zegt dat het volgende programma voor ieder positieve gehele x stopt:

```
while ( x != 1 ) // 13->40->20->10->5->16->8->4->2->1
    if ( x % 2 == 0 ) // is x even?
        x = x / 2;
    else
        x = 3 * x + 1; // euh ... accolades?
```

Als de loop stopt, is x na afloop gelijk aan 1.

Na

$\underbrace{\quad\quad\quad}_{x \text{ even?}}$

```
while ( x % 2 == 0 ) x = x / 2;      // of x /= 2;
```

geldt ! ($x \% 2 == 0$), oftewel x is nu oneven geworden:
alle factoren 2 zijn uit de “oude” x gehaald.

Hier staat in feite: zolang x even is, deel x door 2, dus
bijvoorbeeld $56 \rightarrow 28 \rightarrow 14 \rightarrow 7$.

Als een while-loop stopt is na afloop de test “onwaar”.

Er mogen (“moeten”) accolades { } rond $x = x / 2;$ staan.

Bij een **for-loop** als

```
for ( i = 3; i <= 17; i = i + 2 ) cout << i << "-";
```

wordt eerst één maal de initialisatie `i = 3;` gedaan, en daarna herhaald de cyclus bestaande uit test (`i <= 17`), “body” (hier statement `cout << i << "-";`) en aanpassing van de teller (`i = i + 2`).

We krijgen uitvoer `3-5-7-9-11-13-15-17-`, en na afloop heeft `i` de waarde 19.

Opgave: probeer het streepje na 17 kwijt te raken.

Een for-loop is eigenlijk hetzelfde als een while-loop: “for (A B C) D” komt overeen met “A while (B) { D C }”. Bij een for-loop is het aantal “doorgangen” vaak bekend.

Een rare for-loop:

```
for ( ; ! ( x % 2 ); x /= 2 ) ;
```

Dit is hetzelfde als

```
while ( ! ( x % 2 ) ) x = x / 2;
```

En wat te denken van `for (; ;) ;`? Dat is een **oneindige loop**, met een “empty statement”, net als `while (true) ;`.

Een **dubbele for-loop**:

```
int i, j;
for ( i = 1; i <= 5; i++ ) { // buitenste loop
    cout << i << ": ";
    for ( j = 1; j <= i; j++ ) { // binnenste loop
        cout << i * j << " ";
    }//for
    cout << endl;
}//for
```

geeft:

```
1: 1
2: 2 4
3: 3 6 9
4: 4 8 12 16
5: 5 10 15 20 25
```

Het **do-while statement** is een variant op de while-loop, waarbij de “body” in ieder geval één maal wordt uitgevoerd:

```
do {
    cout << "Geef positief getal .. ";
    cin >> getal;
} while ( getal < 0 );

do {
    cin >> kar;
} while ( ( 'a' <= kar && kar <= 'z' )
          || ( 'A' <= kar && kar <= 'Z' ) );
// nu bevat kar de eerste "niet-letter"
```

NB Pas op met `cin >> ...`, dit slaat whitespace over.

- maak de eerste programmeeropgave — de deadline is op **maandag 25 september 2023, 18:00 uur**
- lees de tweede programmeeropgave:
www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op2pm.php
- lees Savitch Hoofdstuk 2
- lees dictaat Hoofdstuk 3, tot en met 3.5, en 3.7
- maak opgaven 6/10 uit het opgavendictaat

Programmeermethoden

Functies & files

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 4: 25–29 september 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

ma	di	wo	donderdag	vrijdag
			11:00–12:45 Gorlaeus zaal 1 college 4 iedereen	11:00–12:45 Snellius 303/6/7 werkcollege 4 (*), vragenuurtje Wiskundigen
			13:15–... Snellius 302/3/6/7 werkcollege 4 (*), vragenuur Informatici	

(*) beter bekend als het **functie-practicum**

Vragenuren op maandagmiddagen op afspraak.

Een **functie** is een zwarte doos (**black box**) waar informatie in gaat en informatie uit komt.

Elk C++-programma bestaat uit een stel functies, onder elkaar. Executie begint bij de functie `main`.

Sommige functies rekenen iets uit (zoals `int`-functies: geef het kwadraat van x terug), andere verrichten een taak (`void`-functies: druk een tabel af op het scherm, of afwassen; geef `void` = leeg = niets terug, doe alleen wat).

Functies hebben allerlei (soorten) **parameters**, die ze ook kunnen aanpassen.

Functies mogen in C++ alleen functies aanroepen die eerder gedefinieerd zijn.

Een eenvoudige void-functie:

```
void tekstOpScherM ( ) { // heel kort infoblokje
    cout << "Sterke tekst." << endl;
} //tekstOpScherM
```

En een eenvoudige int-functie:

```
int inhoud (int lengte, int breedte, int hoogte) {
    return lengte * breedte * hoogte;
} //inhoud
```

Met aanroepen:

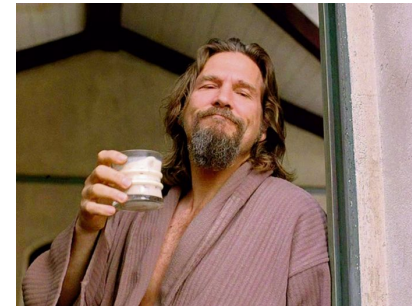
```
tekstOpScherM ( );
cout << inhoud (16,37,42) << endl;
```


Een functie die zijn parameters omwisselt:

```
void wissel (int & x, int & y) { // call by reference: &
    int hulp = x;
    x = y;
    y = hulp;
} // wissel
```

Met aanroep:

```
int a = 33, x = 88;
cout << a << " en " << x << endl; // 33 en 88
wissel (a,x);
cout << a << " en " << x << endl; // 88 en 33
```



Hoe werkt het functie-mechanisme?

Bij aanroep “spring” je naar de desbetreffende functie, en als die klaar is, wanneer je een `return` of de laatste `}` tegenkomt, “spring” je weer terug, en wel naar het “return-adres”. Parameters worden netjes doorgegeven.

Soms helpt het als je niet aan het “springen” denkt, maar meer denkt in termen van “deze functie verricht die taak”.

Eigenlijk komen functie-aanroepen op een **stapel** gevuld met “uitgestelde verplichtingen”.

```
// bereken inhoud van lengte bij breedte bij hoogte blok
double inhoud (double lengte, double breedte,
               double hoogte) {
    double temp;
    temp = lengte * breedte * hoogte;
    return temp;
} //inhoud
```

Hier zijn `lengte`, `breedte`, `hoogte` en `temp` **locale variabelen**, waarbij `lengte`, `breedte` en `hoogte` (de **formele parameters**) als startwaarde de waarde van de **actuele parameters** krijgen; ze worden *wel* geïnitieerd, in tegenstelling tot `temp`. Hun **scope** — waar ze leven — is de functie `inhoud`. Men noemt `lengte`, `breedte` en `hoogte` wel **call by value parameters**. Bij een aanroep als `t = inhoud (breedte,5,x)`; zijn `breedte`, `5` en `x` de **actuele parameters** (of variabelen).

De volgende functie bepaalt of jaar een **schrikkeljaar** is:

```
// is jaar een schrikkeljaar?  
bool schrikkel (int jaar) {  
    return ( jaar % 4 == 0  
            && ( jaar % 400 == 0 || jaar % 100 != 0 ) );  
} //schrikkel
```

Dus 1963 niet, 2023 niet, 2024 wel, 2000 wel, en 2100 niet ...

De **grootste gemeenschappelijke/gemene deler** (ggd) van twee positieve gehele getallen (≥ 0 , niet beide 0) wordt met het **algoritme van Euclides** als volgt berekend:

```
int ggd (int x, int y) {
    int rest;
    while ( y != 0 ) {
        rest = x % y;  x = y;  y = rest;
    }//while
    return x;
}//ggd
```

Voorbeeldaanroepen:

```
cout << ggd (15,21) << endl;
z = ggd (z,7);  // z van type int
```

Een functie kan maar één waarde retourneren = teruggeven. (Of zelfs geen, bij een `void`-functie.)

Hoe kun je dan twee of meer waarden genereren?

Antwoord: met “call by reference”, let op de `&`.

Overigens: een `void`-functie hoeft geen `return`-statement te hebben, maar het mag wel. Er staat dan *geen* waarde achter, dus gewoon `return;` stopt zo'n functie.

```
// vereenvoudig breuk teller/noemer zoveel mogelijk
// aanname: teller >= 0, noemer > 0
void vereenvoudig (int & teller, int & noemer) {
    int deler = gcd (teller,noemer);
    if ( deler > 1 ) { // test hoeft niet
        teller = teller / deler;
        noemer = noemer / deler;
    }//if
}//vereenvoudig
```

Voorbeeldaanroep:

```
int tel = 15, noem = 21;
vereenvoudig (tel,noem);
cout << tel << " " << noem << endl;
```

Boven iedere functie hoort duidelijk commentaar:

```
// vereenvoudig breuk teller/noemer zoveel mogelijk
// aanname: teller >= 0, noemer > 0
void vereenvoudig (int & teller, int & noemer) {
    ...
} // vereenvoudig
```

Tip: maak een zin waarin de functienaam en de namen van de parameters voorkomen.

En: wat geldt vooraf, en wat na afloop?

Naast **call by value**, waar de *waarde* van de variabele aan een “lokale kopie” wordt doorgegeven, bestaat ook **call by reference**, waar de variabele zelf, of preciezer: diens *adres*, wordt doorgegeven.

```
// wissel inhoud van a en b
void wissel (int & a, int & b) {
    int hulp = a;
    a = b;
    b = hulp;
} //wissel
```



Voorbeeldaanroep: `a = 8; k = 2; wissel (a,k);`

De **&** (**ampersand**) geeft aan dat het een call by reference variabele betreft.

```
void hoogop (int x) { x = x + 10; cout << x; }//hoogop
```

```
void maaknul (int t) { t = 0; cout << t; }//maaknul
```

```
int x, m, q;  
x = 7; hoogop (x); cout << x;           17 7  
m = 3; hoogop (m+8); cout << m;       21 3  
q = 5; maaknul (q); cout << q;       0 5  
maaknul (42);                          0
```

Er wordt alleen een *waarde* doorgegeven, en wel van de *actuele* parameter aan de *formele* parameter; er wordt dus een “lokale kopie” gemaakt, wat tijd en ruimte kost.

```
void hoogop (int & x) { x = x + 10; cout << x; }//hoogop
```

```
void maaknul (int & y) { y = 0; cout << y; }//maaknul
```

```
int x, m, q;  
x = 7; hoogop (x); cout << x;           17 17  
m = 3; hoogop (m+8); // VERBODEN!!!  
q = 5; maaknul (q); cout << q;         0 0  
maaknul (42); // VERBODEN!!!
```

Er wordt nu een *adres* (een *pointer*) doorgegeven. De *actuele* parameter kan nu wel veranderen. De *actuele* parameter mag geen “rare” expressie als $m+8$ of 42 zijn. Er wordt alleen een *adres* gekopieerd.

En dan nu: **files**.

Input en output voor programma's staan vaak in files, bijvoorbeeld `iets.cc`, `uitvoer.txt`, `cin` (toetsenbord) en `cout` (beeldscherm).

Voor de **tweede programmeeropgave** moet je een C++-programma schrijven dat een file codeert of decodeert, en het Collatz-vermoeden enigszins controleert voor getallen uit de file.

```
#include <fstream>
...
ifstream invoer ("jefile.txt", ios::in);
ofstream uitvoer ("./C++/iets.cc", ios::out);
char letter;           // zelfs / bij Windows!
...
letter = invoer.get ( );
uitvoer.put (letter);
uitvoer << "Hitchcock";
...
invoer.close ( );
uitvoer.close ( );    // niet vergeten!
```



Hier is `invoer` de *variabele* die de file voorstelt, die in het echt `jefile.txt` heet.

Een file is een “object” van “klasse” `ios`. Ook `cin` en `cout` zijn van deze klasse. Met **objecten** kun je bepaalde dingen doen: “memberfuncties” (= “methoden”) aanroepen, zoals `get`. Je zegt dan de naam van het object, dan een punt, en dan de naam van de methode.

Voorbeelden:

```
letter = invoer.get ( );  
cout.put (letter);
```

Eigenlijk is een invoerfile van klasse (= type) `ifstream`, en een uitvoerfile van klasse `ofstream`. Beide stammen af van `ios`. En `get` en `put` zijn **(member)functies**.

Een **tekstfile**, zoals een C++-programma, bestaat uit regels, gescheiden door regelovergangen (bij UNIX LF, bij Windows CR-LF). Meestal staat aan het eind ook een regelovergang, soms gevolgd door het “einde-file (EOF) symbool”. Daarop kun je testen met de methode `eof ()`.

Zo kopiëren we een file `invoer` naar een file `uitvoer`:

```
kar = invoer.get ( ); // eerst een maal get-ten!!!
while ( ! invoer.eof ( ) ) {
    uitvoer.put (kar);
    kar = invoer.get ( ); // en hier alle volgende ...
} //while
```

Het lijkt alsof er één `get` meer wordt gedaan dan `put`'s, maar de `close` zet als het ware de als laatste gelezen EOF. (Eigenlijk staat hier het UNIX-commando `cp`.)

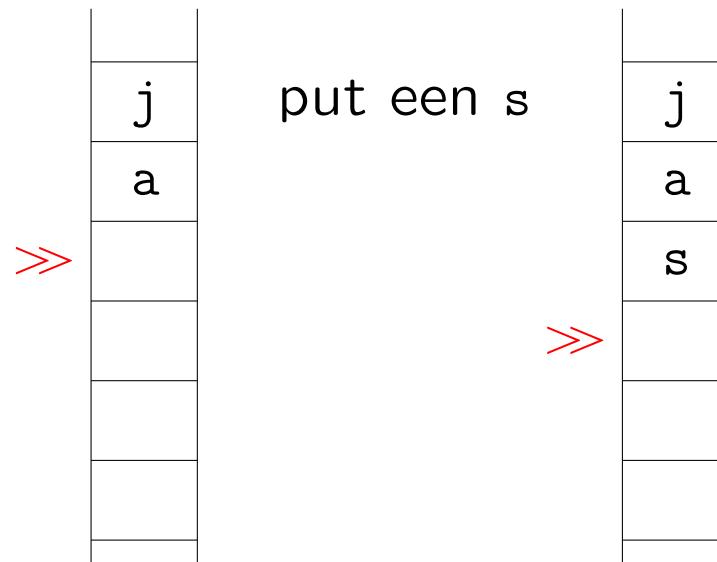
Wijzig stap voor stap zo'n kopieerprogramma:

```
kar = invoer.get ( );
while ( ! invoer.eof ( ) ) {
    // wijzig dit
    if ( kar != '\n' ) // stap voor stap
        uitvoer.put (kar); // voor de tweede
    // programmeeropgave
    kar = invoer.get ( );
} //while
```

Dit kopieert, maar sloopt alle regelovergangen weg.

Meer get's zijn niet nodig!

Eigenlijk werken files met **filepointers**, net als bij oude video-banden. Voorlopig kun je alleen vooruit spoelen. Een `put` zet een karakter neer en schuift de filepointer één op, `get` pakt een karakter en schuift de filepointer ook op.



Iets algemener:

```
string filenaam; // gebruik <string>
ifstream invoer; // gebruik <fstream>
...
cin >> filenaam;
invoer.open (filenaam.c_str ( )); // in C++11 hoeft
if ( invoer.fail ( ) ) {           // ".c_str ( )" niet
    cout << filenaam << " niet te openen" << endl;
    return 1; // of exit (1); of ...
} //if
```

PS En files doorgeven als parameter:

```
void doewat (ifstream & invoer, ofstream & uitvoer) ...
```

Voor de **tweede programmeeropgave** moet je een C++-programma schrijven dat een gegeven file codeert of decodeert met **run-length encoding**.

```
Eet_meer_zeegelz  
ABC11123ddd\efG\1
```

moet worden:

```
Eet_me2r_10ze3gels  
ABC\13\2\3d3\efG\3\1
```

Hier is `_` een spatie.

Klopt **Collatz** voor 6171?

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op2pm.php



Programmeermethoden 2023

Tweede programmeeropgave: DeCodere

De tweede programmeeropgave van het vak **Programmeermethoden** in het najaar van 2023 heet *DeCodere*; zie ook het [vierde werkcollege](#), [vijfde werkcollege](#) (de betreffende WWW-bladzijde bevat handige tips) en [zesde werkcollege](#), en lees geregeld deze pagina op WWW.

We gaan een file coderen en decoderen met behulp van een eenvoudig coderingsschema. En we controleren het Collatz-vermoeden voor getallen in de invoerfile.

De compressietechnieken GIF en JPEG dreigen steeds duurder te worden. We gaan het nu dus maar zelf doen. Voor de tweede programmeeropgave moet een programma worden geschreven dat een file kan coderen en decoderen.

Aan de gebruiker wordt gevraagd of het om coderen of decoderen gaat en hoe de originele (bestaande) file en de "doelfile" heten. De veranderde invoerfile komt in deze doelfile terecht; de invoerfile zelf blijft onveranderd. Stel eenvoudige vragen om deze gegevens van de gebruiker te weten te komen.

Het programma leest dan eenmalig de opgegeven invoerfile, en schrijft de uitvoer symbool voor symbool weg naar de uitvoerfile. Elk symbool uit de invoerfile mag en moet precies één maal (met `invoer.get (...)`) gelezen worden.

Het coderen geschiedt *regel voor regel*, en gaat als volgt. Iedere directe opeenvolging van k (groter dan of gelijk aan 2) dezelfde karakters binnen een regel wordt vervangen door dat karakter onmiddellijk gevolgd door het getal k . Een enkel karakter blijft gewoon zichzelf, evenals regelovergangen. Zo wordt de te coderen regel `Eet meer` zeegels gecodeerd als `Eet me2r 10ze3ge1s` (in de originele zin staan blijkbaar tien spaties tussen meer en zeegels).

Om later te kunnen decoderen hadden we moeten aannemen dat er geen cijfers in de regel staan, immers wat zou anders de codering `e434` betekenen — vier e's en vier 3-en of 434 e's? Om dat probleem op te lossen worden gecodeerde cijfers voorafgegaan door een `\` (backslash). De backslash zelf wordt met twee backslashes gecodeerd. Zo moet `ABC11123ddd\efG\1` gecodeerd worden als `ABC\13\2\3d3\efG\3\1`. Deze codering heet officieel **run-length encoding**.

Na het coderen wordt op het scherm afgedrukt hoeveel karakters de originele file en de gecodeerde file bevatten, en wat de "compressie-ratio" is: de verhouding tussen deze twee getallen, als geheeltalig percentage. Er moet op de gebruikelijk manier worden afgerond; het percentage kan groter dan 100 zijn. Bij het decoderen hoeft dit niet.

Voor elk geheel getal > 0 uit de invoerfile moet worden gekeken of het **Collatz-vermoeden** waar is voor dat getal; zie ook sheet 17 van het [derde college](#). Op het scherm wordt afgedrukt wat het aantal iteraties is bij 1 te komen, of het nummer van de iteratie waarvan het resultaat boven `INT_MAX` (gebruik `include <climits>`) uitkomt. Als dit laatste gebeurt, wordt dit erbij vermeld.

Elke directe opeenvolging van cijfers in de invoerfile wordt als een geheel getal opgevat. Neem aan dat ze alle kleiner dan of gelijk aan `INT_MAX` zijn. Zo bevat `123abcd-"qqq 5"+++uvw-77.88ddd//vb5656` de gehele getallen 123, 5, 77, 88 en 5656. Bij het decoderen hoeft dit niet te worden gecontroleerd.

Ter verdere inspiratie, zie het [vijfde werkcollege](#), en een tweetal voorbeelden:

- Eenvoudige testinvoer: `simpel2023.txt` met bijbehorende uitvoerfile `simpel2023uit.txt`. Grootte invoerfile 704 karakters, uitvoerfile 499 karakters, compressie-ratio 71%; 20 regels.
- Moelijke testinvoer: `moelijk2023.txt` met bijbehorende uitvoerfile `moelijk2023uit.txt`. Grootte invoerfile 348 karakters, uitvoerfile 373 karakters, compressie-ratio 107%; 15 regels. En 6171 vergt 261 iteraties, en 270271 gaat bij de 121ste door `INT_MAX`.

Let op: deze files kopiëren door met rechter muisknop op de links te klikken, anders (met marker-copy-paste) gaan spaties/tabs wellicht fout!

Opmerkingen

- We nemen aan dat de gebruiker zo vriendelijk is verder geen fouten te maken bij het invoeren van gegevens. Als een getal gevraagd wordt, geeft hij/zij een getal.
- Gebruik de regelstructuur: elke regelovergang in een bestand bestaat uit een LineFeed (`\n`) (in UNIX) of een CarriageReturn gevolgd door een LineFeed (`\r\n`) (in Windows). Normaal gesproken gaat dit "vanzelf" goed. We nemen aan dat er voor het EndOfFile-symbool (wat dat ook moge zijn) een regelovergang staat.
- Alleen voor de namen van de files mag een array (of string) gebruikt worden: voor het lezen en verwerken van de tekst is slechts het huidige karakter en enige kennis over de voorgaande karakters nodig — zie boven. Alleen de headerfiles `istream` en `fstream` mogen gebruikt worden (en string voor de filenames; denk in dat geval wellicht aan het gebruik van `c_str` en `climits` voor `INT_MAX`). Uit een file mag alleen met `invoer.get (...)` gelezen worden, vergelijk Hoofdstuk 3.7 uit het dictaat, gedeelte "aantekeningen bij de hoorcolleges". Binnen de hoofdloop van het programma staat bij voorkeur maar één keer een `get`-opdracht, vergelijk het voorbeeldprogramma uit dit hoofdstuk (daar staat twee keer `get`, één maal vóór de loop, uiteraard). Karakters mogen niet worden teruggezet in de oorspronkelijke file. Schrijf zelf functies die testen of een karakter een cijfer is, etcetera. Er mogen geen andere functies dan die uit `fstream` gebruikt worden, en wellicht `c_str`.
- Denk aan het infoblokje dat aan begin op het scherm verschijnt. Gebruik enkele geschikte functies, bijvoorbeeld voor infoblokje, inlezen gegevens van de gebruiker, aantal cijfers van een getal, Collatz-controle, coderen en decoderen van een file; zie de tips bij het [vijfde werkcollege](#). Globale variabelen zijn streng verboden. Ruwe indicatie voor de lengte van het C++-programma: circa 250 regels.

Uiterste inleverdatum: **maandag 16 oktober 2023, 18:00 uur**.

Manier van inleveren (één exemplaar per koppel, dat — ter herinnering — uit maximaal twee personen bestaat) is als volgt:

- Digitaal de C++-code inleveren via Brightspace > Course Tools > Assignments. Stuur geen executable's, LaTeX-files of PDF-files, lever alleen één C++-file digitaal in!
- En ook een papieren versie van het verslag (inclusief de C++-code) deponeren in de speciaal daarvoor bestemde doos "Programmeermethoden" bij kamer 159 van het Snellius-gebouw. Overal duidelijk datum en namen van de (maximaal twee) makers vermelden, in het bijzonder als commentaar in de eerste regels van de C++-code. Lees bij het [zesde werkcollege](#) hoe het verslag eruit moet zien en wat er in moet staan.

Te gebruiken compiler: als hij maar C++ vertaalt; het programma moet in principe zowel op een Linux-machine (met g++) als onder Windows met WSL draaien. Test dus in principe op beide systemen! Normering: verslag 1; layout 1; commentaar 1; overzichtelijkheid/modulariteit 2; werking 5. Eventuele aanvullingen en verbeteringen: lees deze WWW-bladzijde: www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op2pm.php.

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op2pm.php

- werk aan de tweede programmeeropgave — de deadline is op maandag 16 oktober 2023, 18:00 uur
- lees Savitch Hoofdstuk 3 en 4, en 12.1/2
- lees dictaat Hoofdstuk 3.6, 3.7 en 4.1
- maak opgaven 11/17 uit het opgavendictaat
- doe nu het [vierde werkcollege](#): het **functie-practicum**
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/

Programmeermethoden

Functies — vervolg

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 5: 2–6 oktober 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

Een eenvoudige void-functie:

```
// kort infoblokje
void infoblokje ( ) {
    cout << "Hallo allemaal ..." << endl;
    cout << "Enzovoorts ..." << endl;
} //infoblokje

int main ( ) {
    ...
    infoblokje ( );
    ...
} //main
```

Let op het inspringen.

Een functie die zijn parameters omwisselt:

```
void wissel (int & x, int & y) { // call by reference: &
    int hulp = x;
    x = y;
    y = hulp;
} // wissel
```



Met aanroep:

```
int a = 33, x = 88;
cout << a << " en " << x << endl; // 33 en 88
wissel (a,x);
cout << a << " en " << x << endl; // 88 en 33
```


Tel x en y op (als return-waarde resp. in z):

```
int telop (int x, int y) {  
    return x + y;  
} //telop                                aanroep: som = telop (8,13);  
void telop2 (int x, int y, int & z) {  
    z = x + y;  
} //telop2                                aanroep: telop2 (8,13,som);
```

Tel breuken $\frac{x_1}{x_2}$ en $\frac{y_1}{y_2}$ op in $\frac{z_1}{z_2}$:

```
void telbreukenop (int x1, int x2, int y1, int y2,  
                  int & z1, int & z2) {  
    z1 = x1 * y2 + y1 * x2;  
    z2 = x2 * y2;  
} //telbreukenop
```

[vierde werkcollege](#)

Gevraagd: zet de cijfers van een getal op aparte regels, het laatste cijfer eerst:

```
// hier moet commentaar staan, dus:  
// zet cijfers van getal > 0 omgekeerd op aparte regels  
void cijfers (int getal) {  
    while ( getal != 0 ) {  
        cout << getal % 10 << endl; // of tel de cijfers ...  
        getal = getal / 10;  
    } //while  
} //cijfers
```

Neem aan dat `getal` minstens 1 is.

Een getal omkeren (196 → 691) of het aantal cijfers van een getal tellen (6171 → 4) gaat analoog!

Geen strings, geen arrays!

Bij **top-down** maak je een functie als je deze nodig hebt, bij **bottom-up** bedenk je deze daarvoor al.

Voorbeeld: machtverheffen, $y = x^7$. Bij bottom-up gebruik je `pow` uit `<cmath>` of uit "zelf.h", bij top-down maak je:

```
// bereken x tot de n-de voor n >= 0
int machtsverheffen (int x, int n) {
    int i; // tellertje
    int res = 1; // om resultaat in op te bouwen
    for ( i = 1; i <= n; i++ ) { res = res * x; }//for
    return res;
}//machtsverheffen
```

Daarna zet je dit misschien alsnog in "zelf.h".

PS En met 5 vermenigvuldigingen x^{15} berekenen?

```
void john (int x, int y) { ... }//john
```

```
int paul (double x, bool b) { ... }//paul
```

```
void george ( ) { ... }//george
```

```
bool ringo (int & getal) { ... }//ringo
```

```
int main ( ) { ... }//main
```

De functie george mag de functies george (“recursie”), john en paul gebruiken = aanroepen, maar *niet* de functie ringo! Wil je dat toch, dan moet je boven george een **prototype** `bool ringo (int & getal);` toevoegen.

Dus bij

```
bool ringo (int & getal); // prototype ringo
```

```
void george ( ) { ... }//george
```

```
bool ringo (int & getal) { ... }//ringo
```

```
int main ( ) { ... }//main
```

mogen ringo en george elkaar beide(n) aanroepen! Dankzij het prototype van ringo (let op de ;) mag george de eigenlijk verderop gedefinieerde ringo toch gebruiken.

En om misverstanden te vermijden: functies worden binnen functies aangeroepen, maar *na elkaar* en niet binnen elkaar gemaakt.

Functies hebben verschillende soorten parameters:

- globaal — gelden overal
- lokaal — gelden alleen binnen een functie (of ...)
- formeel — staan in functie-heading
- actueel — bij aanroep van een functie
- call by value — geef waarde door
- call by reference — geef (adres van) variabele door

```
void hoogop (int x) { x = x + 10; cout << x; }//hoogop
```

```
void maaknul (int t) { t = 0; cout << t; }//maaknul
```

```
int x, m, q;  
x = 7; hoogop (x); cout << x;           17 7  
m = 3; hoogop (m+8); cout << m;        21 3  
q = 5; maaknul (q); cout << q;         0 5  
maaknul (42);                           0
```

Er wordt alleen een *waarde* doorgegeven, en wel van de *actuele* parameter aan de *formele* parameter; er wordt dus een “lokale kopie” gemaakt, wat tijd en ruimte kost.

Functies — vervolg **Voorbeeld — call by reference**

```
void hoogop (int & x) { x = x + 10; cout << x; }//hoogop
```

```
void maaknul (int & y) { y = 0; cout << y; }//maaknul
```

```
int x, m, q;  
x = 7; hoogop (x); cout << x;           17 17  
m = 3; hoogop (m+8); // VERBODEN!!!  
q = 5; maaknul (q); cout << q;         0 0  
maaknul (42); // VERBODEN!!!
```

Er wordt nu een *adres* (een *pointer*) doorgegeven. De *actuele* parameter kan nu wel veranderen. De *actuele* parameter mag geen “rare” expressie als $m+8$ of 42 zijn. Er wordt alleen een *adres* gekopieerd.

En met een **globale variabele** erbij:

```
int globaal; // globale variabele, geldt overal, vermijden
```

```
int doewat (char kar, double & getal) {  
    // kar is call by value, getal call by reference  
    int lokaal; // locale variabele, geldt binnen doewat  
    ...  
} //doewat
```

```
void nogeen ( ) {  
    double lokaal; // locale variabele, geldt binnen nogeen  
    cout << doewat (globaal, lokaal) << endl;  
    // waarde van globaal gaat naar kar (met casting)  
    // lokaal "is" hetzelfde als getal uit doewat  
} //nogeen
```

```
int a; int b;
void kwadraat (int a) { // call by value
    a = pow (a,2); // uit <cmath>, oftewel a * a
    b++;
    cout << "0: " << a << " en " << b << endl;
} //kwadraat
```

Nu doen we:

```
(1) a = 5; b = 13; kwadraat (a);
    cout << "1: " << a << " en " << b << endl;
(2) a = 2; b = 7; kwadraat (b);
    cout << "2: " << a << " en " << b << endl;
```

Dat levert

```
0: 25 en 14
1: 5 en 14
```

```
0: 49 en 8
2: 2 en 8
```

```
int a; int b;
void kwadraat (int & a) { // call by reference
    a = pow (a,2); // uit <cmath>, oftewel a * a
    b++;
    cout << "0: " << a << " en " << b << endl;
} //kwadraat
```

Nu doen we:

```
(3) a = 5; b = 13; kwadraat (a);
    cout << "3: " << a << " en " << b << endl;
(4) a = 2; b = 7;  kwadraat (b);
    cout << "4: " << a << " en " << b << endl;
```

Dat levert

```
0: 25 en 14
3: 25 en 14
```

```
0: 50 en 50
4: 2 en 50
```

```
void alias (int r, int & s) {
    int t;
    t = 3;
    r = r + 2;
    s = s + r + t;
    t = t + 1;
    r = r - 3;
    cout << r << " " << s << " " << t << endl;
} //alias

...
t = 12; alias (t,t); cout << t << endl;
```

t = s	r	t'
12		
	12	?
		3
	14	
29		
		4
	11	

↓ tijd

Dit levert: 11 29 4 en 29.

En met een & voor r: 28 28 4 en 28.

Een functie mag zichzelf (in)direct aanroepen: **recurisie**.

```
int som (int n) { // berekent 1 + 2 + ... + n    versie 1
    int i, res = 0;
    for ( i = 1; i <= n; i++ ) res += i;
    return res;
}//som
```

```
int somrecursief (int n) { // idem, recursief    versie 2
    if ( n == 0 ) return 0;
    else return n + somrecursief (n-1);
}//somrecursief
```

```
int somslimGauss (int n) { // en nog eens ...    versie 3
    return ( n * ( n + 1 ) ) / 2;
}//somslim
```

De ggd kan ook recursief berekend worden:

```
int ggdrecursief (int x, int y) {  
    if ( y == 0 ) return x;  
    else return ggdrecursief (y,x % y);  
}//ggdrecursief
```



Je gebruikt eigenlijk:

$$\text{ggd}(x, y) = \begin{cases} x & \text{als } y = 0 \\ \text{ggd}(y, x \bmod y) & \text{als } y \neq 0 \end{cases}$$

Voor meer over recursie, zie later.

Voor de **tweede programmeeropgave** moet je een C++-programma schrijven dat een gegeven file codeert of decodeert met **run-length encoding**.

```
Eet_meer_zeeegels
ABC11123ddd\efG\\1
```

moet worden:

```
Eet_me2r_10ze3gels
ABC\13\2\3d3\\efG\\3\1
```

Hier is `␣` een spatie.

Klopt **Collatz** voor 6171?

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op2pm.php

1. coderen
test dat goed met voorbeeldfiles
gebruik zo weinig mogelijk put's en get's
2. decoderen (\approx coderen)
3. daarna, of juist eerder, de Collatz-controle (INT_MAX!)
4. en tot slot details, tellers, . . . , en het verslag

↙ $\leq \approx 250$ regels

Houd het kort! Gebruik geschikte functies; zie de tips:

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc4.php

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc5.php

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc6.php

Met `char kar = invoer.get ();` probeer je het eerste karakter uit `invoer` te halen; met `invoer.eof ()` verificieer je of je aan het einde van de `invoer` staat/stond.

Met `uitvoer.put (kar);` schrijf je `kar` achteraan de `uitvoer`. Dat kan ook met `uitvoer « kar; .`

Let op het verschil tussen `kar = invoer.get ();` en `invoer » kar; .` Die tweede slaat “whitespace” (waaronder spaties en regelovergangen) over!

En `kar = cin.get ();` wacht op het eerste karakter vanaf het toetsenbord (met ooit een “enter”).

Stel dat iemand karakters (char's, waaronder cijfers) op je afstuurt, en je daar een getal van moet maken. Hoe doe je dat?

Gebruik `int getal = 0;`, en herhaal:

```
if ( '0' <= kar && kar <= '9' )
    getal = 10 * getal + ( kar - '0' );
else
    ...
```



```
qwerty7392abc    de---12fghijklmnopq
```



```
getal is 73 en kar is '9'
getal wordt 739
```

Deze void-functie manipuleert een file invoer:

```
void manipuleer (ifstream & invoer) {
    char prevkar = '\n', kar = invoer.get ( );
    while ( ! invoer.eof ( ) ) {
        if ( ... )                // GEEN get's,
            ...                    // GEEN while's
        if ( ... )                // GEEN strings,
            ... put ...           // ...
        prevkar = kar;
        kar = invoer.get ( );
    }//while
}//manipuleer
```

Deze void-functie telt **niet-lege regels** in een file invoer:

```
void telNietLegeRegels (ifstream & invoer, int & tel) {
    char prevkar = '\n', kar = invoer.get ( );
    while ( ! invoer.eof ( ) ) {
        if ( prevkar != '\n' && kar == '\n' )
            tel++;
        prevkar = kar;
        kar = invoer.get ( );
    }//while
};//telNietLegeRegels
```

Het aantal wordt opgeteld bij de oorspronkelijke “oude” waarde van `tel`. De actuele parameter bij die aanroep wordt dus gewijzigd.

Het is meestal verstandig invoer, rekenwerk en uitvoer door verschillende functies te laten verrichten.

Deze int-functie telt ook **niet-lege regels** in een file invoer:

```
int telNietLegeRegels (ifstream & invoer) {
    char prevkar = '\n', kar = invoer.get ( );
    int tel = 0; // lokaal tellertje
    while ( ! invoer.eof ( ) ) {
        if ( prevkar != '\n' && kar == '\n' )
            tel++;
        prevkar = kar;
        kar = invoer.get ( );
    }//while
    return tel; // <===== int functie!
}//telNietLegeRegels
```

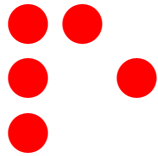
Denk aan het openen en sluiten van de file(s).

Soms problemen met regelovergangen Windows/Linux:

\r\n respectievelijk **\n**. (... ios::in | ios::binary ...)

- werk aan de tweede programmeeropgave — de deadline is op maandag 16 oktober 2023, 18:00 uur
- vorm tweetallen!
- lees Savitch Hoofdstuk 3 en 4
- lees dictaat Hoofdstuk 3.6 en 3.7
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/

Programmeermethoden



Functies & Life

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 6: 9–13 oktober 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

Voor de **tweede programmeeropgave** moet je een C++-programma schrijven dat een gegeven file codeert of decodeert met **run-length encoding**.

```
Eet_meer_zeeegels
ABC11123ddd\efG\\1
```



moet worden:

```
Eet_me2r_10ze3gels
ABC\13\2\3d3\\efG\\3\1
```

Hier is een spatie.

Klopt **Collatz** voor 6171?

1. coderen
test dat goed met voorbeeldfiles
gebruik zo weinig mogelijk put's en get's
2. decoderen (\approx coderen)
3. daarna, of juist eerder, de Collatz-controle (INT_MAX!)
4. en tot slot details, tellers, . . . , en het verslag

↙ $\leq \approx 250$ regels

Houd het kort! Gebruik geschikte functies; zie de tips:

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc4.php

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc5.php

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc6.php

Stel dat iemand karakters (char's, waaronder cijfers) op je afstuurt, en je daar een getal van moet maken. Hoe doe je dat?

Gebruik `int getal = 0;`, en herhaal:

```
if ( '0' <= kar && kar <= '9' )
    getal = 10 * getal + ( kar - '0' );
else
    ...
```

qwerty7392abc de---12fghijklmnopq



getal is 73 en kar is '9'
getal wordt 739

Deze int-functie telt het aantal keer dat een 'd' direct door een 'e' gevolgd wordt in een al geopende file invoer:

```
int telDE (ifstream & invoer) {
    char prevkar = '\n', kar = invoer.get ( );
    int tel = 0; // lokaal tellertje
    while ( ! invoer.eof ( ) ) {
        if ( prevkar == 'd' && kar == 'e' )
            tel++;
        prevkar = kar;
        kar = invoer.get ( );
    }//while
    return tel;           // <===== int functie!
}//telDE
```

Deze void-functie vertaalt file invoer naar file uitvoer:

```
void manipuleer (ifstream & invoer, ofstream & uitvoer) {
    char kar = invoer.get ( );
    while ( ! invoer.eof ( ) ) {
        if ( ... )                // GEEN get's,
            ...                    // GEEN while's
        if ( ... )                // GEEN strings
            ...
        uitvoer.put (kar);        // EEN MAAL put
        kar = invoer.get ( );    // "EEN" MAAL get
    }//while
}//manipuleer
```

- weer in $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, gebruik [mooi.tex](#)
- voorbeeldfile om werking te illustreren:

$\text{ABC11123ddd}\backslash\text{efG}\backslash\backslash 1 \longrightarrow \text{ABC}\backslash 13\backslash 2\backslash 3\text{d}3\backslash\backslash\text{efG}\backslash\backslash 3\backslash 1$

- iets over het Collatz-vermoeden, en enkele vragen beantwoorden

- urentabel

week	1	2	3	totaal
Dilan	6	4	6	16
Mona	6	3	5	14
totaal	12	7	11	30

- zie www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc6.php

Bereken $A(n) = 1/2 + 2/4 + 3/8 + \dots + n/2^n$:

```
double sommetje (int n) {
    int teller;          // teller van teller-de term
    int noemer = 1;     // en de noemer daarvan
    double som = 0;     // de (deel)som
    for ( teller = 1; teller <= n; teller++ ) {
        noemer *= 2;    // noemer = noemer * 2;
        som += static_cast<double>(teller) / noemer;
    }//for
    return som;
}//sommetje
```

(Eigenlijk kun je beter met $n/2^n$ beginnen ...)

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/handouts.php

```
void test (int x, int & y) {  
    int z = 9; x = 5; y = 6; z = 7;  
} //test
```

Steeds eerst `x = 1; y = 2; z = 3;` , en daarna `x, y` en `z` afdrukken:

- a. `test (x,y);` geeft **1, 6, 3**
- b. `test (y,x);` geeft **6, 2, 3**
- c. `test (1,z);` geeft **1, 2, 6**
- d. `test (z,1);` mag niet, er moet een “variabele” (**I-value**) op de tweede plek staan!
- e. `test (z,x);` geeft **6, 2 ,3**

Eigenlijk maakt de functie alleen zijn tweede variabele 6.


```
int peter (int r, int s) { s--; return r+s+2; }//peter
int ellen (int p, int q) {
    int a = 7; p++; q -= 2;
    for ( a = 2; a < q; a++ ) p = p + peter (p,q);
    cout << a << p << q << endl; return a+p+q; }//ellen
```



a. `a = 2; b = 6; cout << ellen (a,b); cout << a << b << endl;`

b. Idem, met vier &'s.

c. Als **b**, nu met `p = p + peter (q,p);` .



```
int peter (int r, int s) { s--; return r+s+2; }//peter
int ellen (int p, int q) {
    int a = 7; p++; q -= 2;
    for ( a = 2; a < q; a++ ) p = p + peter (p,q);
    cout << a << p << q << endl; return a+p+q; }//ellen
```

a. a = 2; b = 6; cout << ellen (a,b); cout << a << b << endl;

a	b	p _{ellen}	q _{ellen}	a _{ellen}
2	6	2	6	7
		3	4	2
		11 (*)		3
		27 (*)		4

↓
tijd

(*) peter (3,4) geeft 8, en peter (11,4) geeft 16.

```
int peter (int & r, int & s) { s--; return r+s+2; }//peter
int ellen (int & p, int & q) {
    int a = 7; p++; q -= 2;
    for ( a = 2; a < q; a++ ) p = p + peter (p,q);
    cout << a << p << q << endl; return a+p+q; }//ellen
```

```
b. a = 2; b = 6; cout << ellen (a,b); cout << a << b << endl;
```

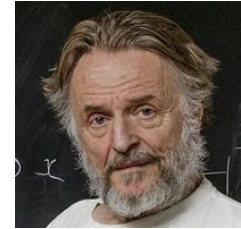
a = p _{ellen}	b = q _{ellen}	a _{ellen}
2	6	7
3	4	2
11 (*)	3 (*)	3

(*) peter (p,q) geeft 8, en laagt q met 1 af. Loop stopt!

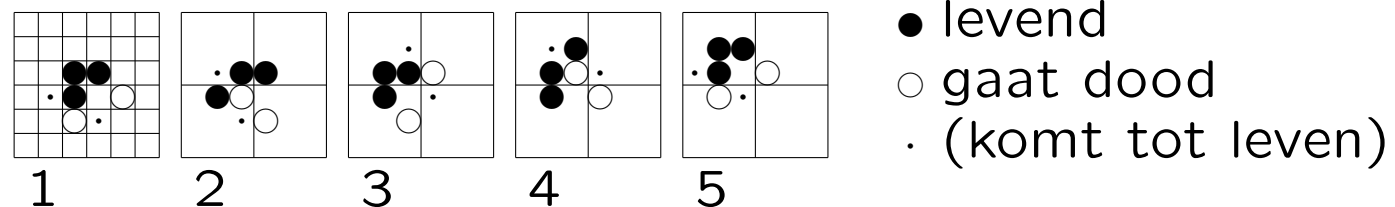
Afgedrukt wordt: 3, 11, 3

17, 11, 3

Life is een “cellulaire automaat”, in 1970 bedacht door John Horton Conway (1937–2020).

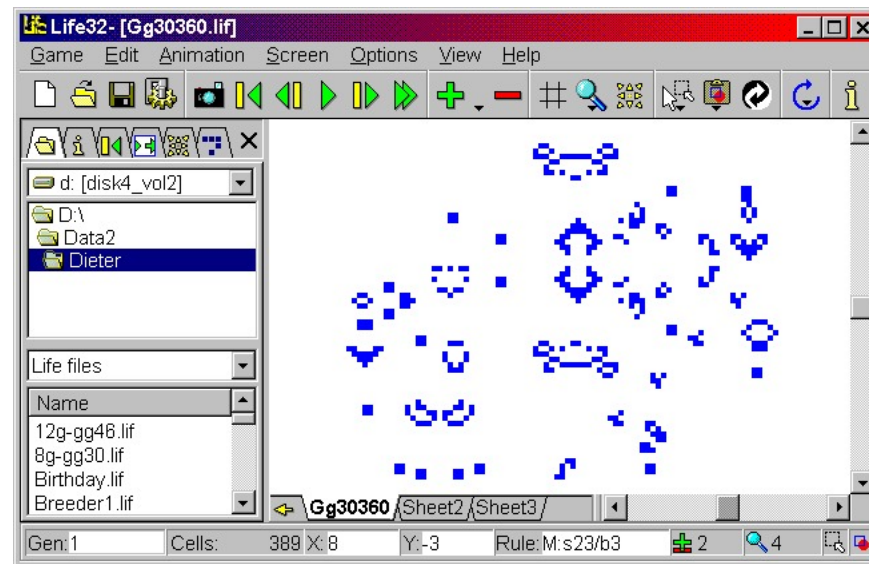


In een 2-dimensionaal oneindig groot rooster beginnen we met een eindig aantal levende vakjes oftewel cellen. Een levend vakje met minder dan 2 of meer dan 3 burenen (van de 8) gaat dood, met precies 2 of 3 levende burenen overleeft het. In een dood vakje met precies 3 levende burenen ontstaat leven. Dit leidt tot de volgende generatie. Let erop dat dit voor alle vakjes tegelijk gebeurt.

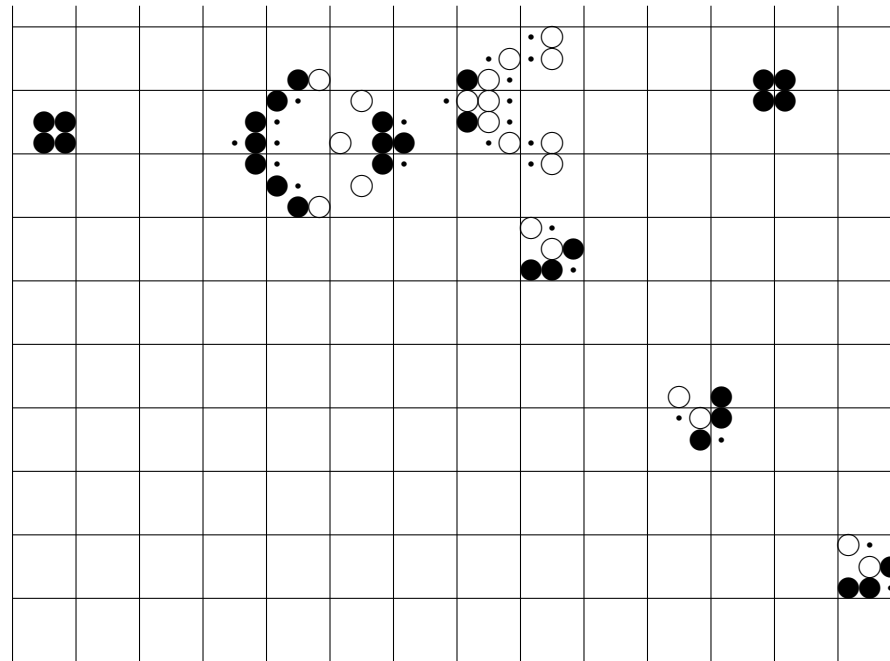


Dit patroon heet **glider**.

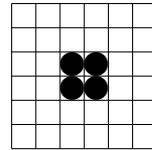
- Wiki: <http://www.conwaylife.com/wiki/>
- Programma (Windows):
<https://github.com/JBontes/Life32> (Binary)



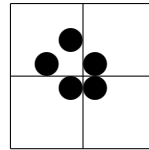
In 1970 wonnen onderzoekers van het M.I.T. in Boston \$ 50 met een beginconfiguratie waarbij het aantal levende cellen groter en groter wordt: Gosper's **glider gun**, die elke dertigste generatie een nieuwe glider afvuurt:



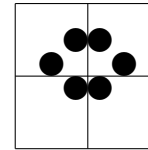
Een **stilleven** is een Life-configuratie die niet verandert:



blok

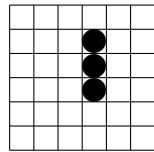


boot

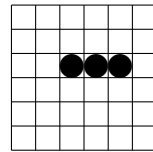


bijenkorf

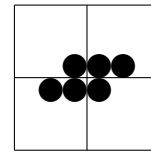
En een **oscillator** repeteert met een zekere periode (stilleven is een periode-0 oscillator):



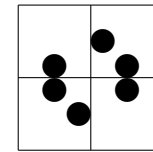
1 blinker



2



1 pad

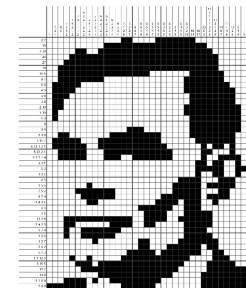
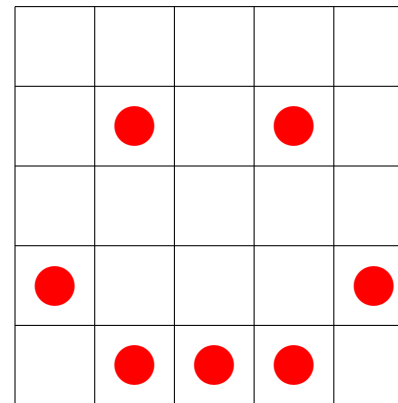
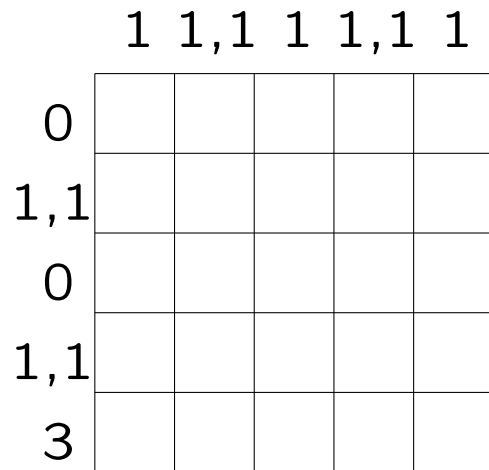


2

Een **breeder** is een life-configuratie die glider guns produceert:



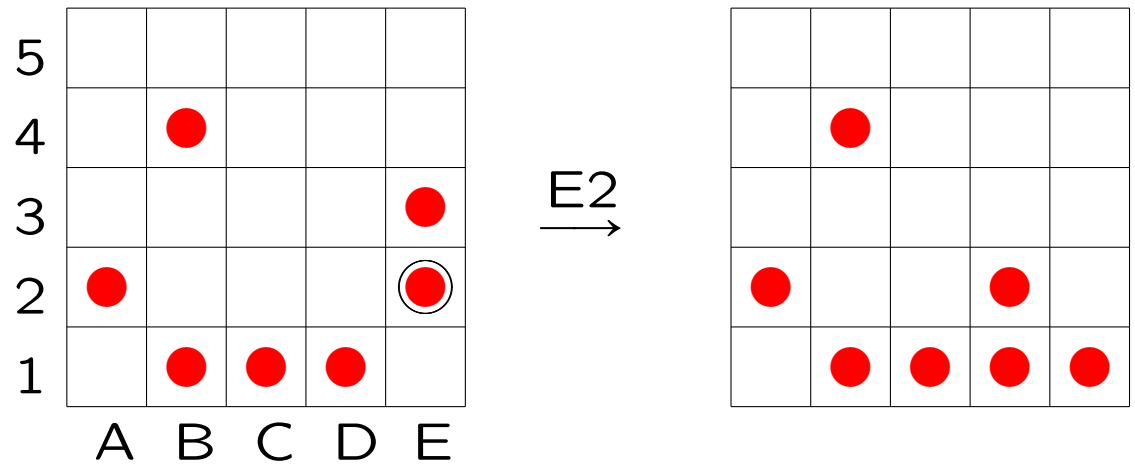
Japanse puzzels (Nonogrammen) zien er zo uit:



Naast iedere rij en boven iedere kolom staan in volgorde de lengtes van aaneengesloten series **rode** blokjes.

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op3pm.php

Bij **LightsOut** moet je alle lampjes uit doen:



Als je een lamp selecteert, klappen die en de direct aangrenzende horizontale en verticale buren om (aan ↔ uit).

Voor Life/Nonogram/LightsOut: 2-dimensionale arrays (matrices)!

- werk aan de tweede programmeeropgave — de deadline is op maandag 16 oktober 2023, 18:00 uur denk aan het vragenuur
- lees daarna de [derde programmeeropgave](#)
- maak opgaven tot en met 25 uit het opgavendictaat
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/



Programmeermethoden

Object-geOriënteerd Programmeren & arrays

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 7: 16–20 oktober 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

```
string filenaam; // gebruik <string>
ifstream invoer; // gebruik <fstream>
...
cin >> filenaam;
invoer.open (filenaam.c_str ( )); // (*)
if ( invoer.fail ( ) ) {
    cout << filenaam << " niet te openen" << endl;
    return 1; // of exit (1);
} //if
```

In bovenstaand programma maken we een object `filenaam` van klasse `string` (voor de naam van de file) en een object `invoer` van klasse `ifstream` (voor de file). In regel (*) koppelen we ze, door de **methode** `open` te gebruiken. Vanaf C++11 mag hier ook `invoer.open (filenaam);` staan.

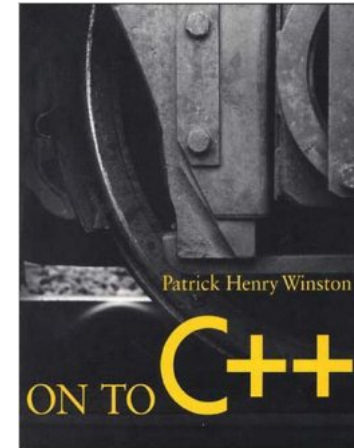
C++ is — in tegenstelling tot C — een **object-georiënteerde** (OO) programmeertaal, net als Java.

In een OO-programma hebt je **objecten** (zoals Adam, Eva; Bonzo) van verschillende **klassen** (Mens; Hond). Klassen hebben hun eigen **methoden** (praten, slapen, blaffen).

Een voorbeeld: de klasse `double`. Met `double x, y`; maak je twee objecten (variabelen) van deze klasse. En `cout << x`; vraagt `x` zich af te laten drukken. En `x = x - y`; vraagt `x` zich met de waarde van `y` af te laten.

Denk ook aan files met methodes (**member-functies**) als `get`, `put`, `eof`, `open` en `close`.


```
class wagon {
    public:
        double hoogte, breedte, lengte;
        double inhoud ( ) { // member-functie
            return hoogte * breedte * lengte;
        } // inhoud
}; // wagon; let op de ;
...
wagon bert;
bert.hoogte = 3.5;
bert.breedte = 4.0;
bert.lengte = 20.5;
cout << "Inhoud: " << bert.inhoud ( ) << endl;
```



Hier is bert een **object** van **klasse** (= **type**) wagon.

Een object `ernie` van klasse `wagon` bestaat uit drie `double`'s, die zijn hoogte, breedte en lengte aanduiden.

En je kunt (via de methode `inhoud`) om zijn inhoud vragen. Deze functies worden eenmalig opgeslagen, niet in ieder object opnieuw.

Let op de punt-notatie: `ernie.breedte`. En voor functies (methoden) `ernie.inhoud ()`.



Tevens kan bestaan (**overloading** van inhoud en lengte):

```
class tanker {  
    public:  
        double straal, lengte; // zelfde namen  
        double inhoud ( ) { // als zo-even!  
            return straal * straal * lengte;  
        }//inhoud  
};//tanker
```

```
class wagon {
    public:
        double hoogte, breedte, lengte;
        double belasting (double);
        // functie-prototype van deze methode
}; // wagon
double wagon::belasting (double percentage) {
    return percentage * breedte * lengte;
} // wagon::belasting
```

Hierbij is `::` de **binary scope resolution operator**.

Met `ernie` een object van klasse `wagon` (dus `wagon ernie;`):

```
cout << "Belasting: "
      << ernie.belasting (0.5) << endl;
```

Het benutten van de (member-)variabelen van een object gaat meestal met speciaal geschreven functies: **reader** (*getter, accessor*) en **writer** (*setter, mutator*) methodes.

```
class tanker { ... als vroeger ...  
    double geefstraal ( ) { // reader  
        return straal;  
    }//geefstraal  
};//tanker
```

Gebruik nu `zeppo.geefstraal ()` in plaats van `zeppo.straal` (met `zeppo` van type `tanker`). Analoog `writer`'s.

Een uitbreiding voor `tanker`:

```
double tanker::geefdiameter ( ) { // reader  
    return 2.0 * straal;  
}//geefdiameter
```

Met behulp van reader's en writer's kun je (member-)variabelen van een object afschermen/verbergen:

```
class tanker {
  private:
    double straal, lengte;
  public:
    double geefstraal ( ) { // reader
      return straal;
    } //geefstraal
    void maaklang (double t) { // writer
      lengte = t;
    } //maaklang
}; //tanker
```

Nu mag `chico.straal` zelfs niet meer gebruikt worden; het *moet* via `chico.geefstraal ()` (met `chico` van type `tanker`). En je *moet* nu `chico.maaklang (42.1);` doen in plaats van `chico.lengte = 42.1;.`

```
class tanker {
    public:
        double straal, lengte;
        tanker ( ) {
            straal = 1.0; lengte = 37.0;
        } //default constructor
        tanker (double s, double t) {
            straal = s; lengte = t;
        } //constructor
}; //tanker
```

Als je nu een nieuwe variabele maakt van klasse tanker kun je die meteen initialiseren:

```
    tanker harpo; // met default constructor
    tanker groucho (7.0,12.12); // met andere constructor
```

Een **constructor** wordt “nooit” direct aangeroepen, maar automatisch gebruikt bij het ontstaan van objecten.

De klasse personenwagon wordt **afgeleid** (= **derived**) van de **ouder** (= **superklasse**) wagon:

```
class personenwagon : public wagon {
    // we erven "alles" van wagon
private:
    int passagiers;
public:
    // default constructor:
    personenwagon ( ) { passagiers = 0; }
    personenwagon (int aantal) {
        passagiers = aantal;
    }//constructor
    int hoeveel ( ) { // reader
        return passagiers;
    }//hoeveel
};//personenwagon
```

Ook **multiple inheritance/overerving** is mogelijk:

```
class gehakt : public dier, eten { ... };
```


Stel we hebben een klasse `voertuig`, met variabelen `gewicht` en `maxsnelheid`, en een methode `belasting ()`. Er zijn afgeleide klassen `fiets` (met eigen methode `belasting ()`) en `auto` (met een extra variabele `soort`).

Met `rijwiel` van type `fiets` mag je gebruik maken van `rijwiel.belasting ()`. Je krijgt dan de belasting speciaal voor een fiets. Als je toch de belasting als voor een voertuig wilt laten berekenen: `rijwiel.voertuig::belasting ()`.

Als je de constructor voor `fiets` “aanroept”, wordt automatisch eerst die voor `voertuig` uitgevoerd.

Stel we willen met gehele getallen van “willekeurige” lengte werken, zoals 1234567891011121314151617181920. Grote getallen dus. We maken daartoe een klasse gg met methoden als drukaf (), maak (int m), kopie (gg & getal) en telop (gg & getal).

Je kunt dan een programma schrijven als

```
gg x; gg y; // int x; int y;
x.maak (1); y.kopie (x); // x = 1; y = x;
for ( int i = 1; i <= 1000; i++ ) {
    x.telop (y); // x = x + y;
    y.kopie (x); // y = x;
    x.drukaf ( ); // cout << x;
} //for
```

Dit berekent uiteindelijk 2^{1000} (het kan anders en beter).

- polymorfisme en late binding
- kopiëren van objecten (“diepe kopie”)
- destructoren
- private, protected, public
- operatoren bijdefiniëren
- this-pointer: `wagon* p = this;`



Een **array** is een geordend rijtje variabelen van hetzelfde type, bijvoorbeeld een vector met 10 “reële” getallen: na

```
double A[10];
```

heb je 10 double's, namelijk

```
A[0] A[1] A[2] A[3] A[4] A[5] A[6] A[7] A[8] A[9]
```

Er zijn ook 2-dimensionale arrays: *matrices* (Life! Nonogram! LightsOut!).

Naamgeving: A[4] is een **array-element** (het vierde, of eigenlijk het vijfde), 4 de bijbehorende **array-index**.

Maak eerst een constante:

```
const int MAX = 100;
```

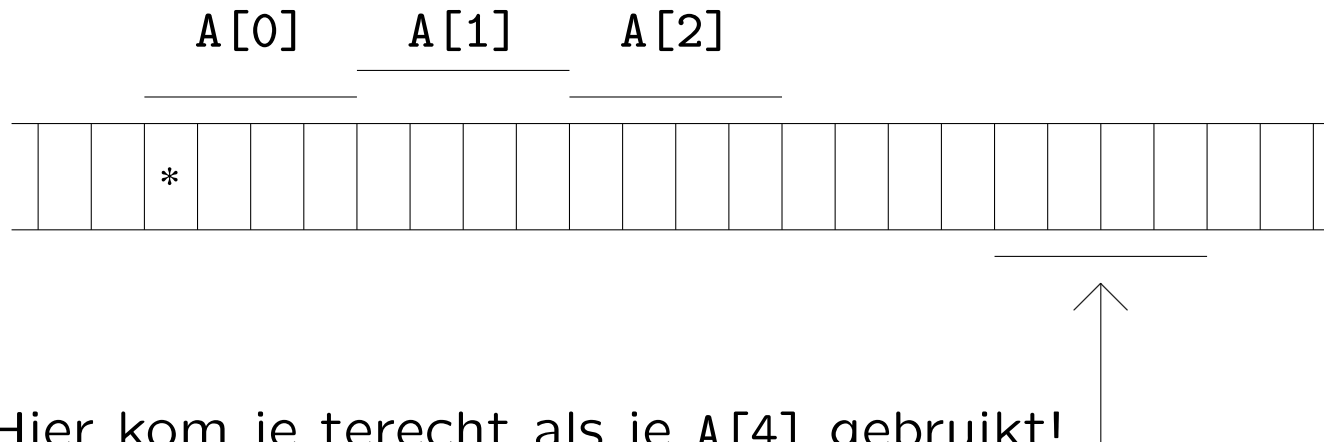
Daarna definiëren (voorlopig hetzelfde als declareren) we een array `rij` met 100 (of preciezer `MAX`) `int`'s als volgt:

```
int rij[MAX];
```

Je mag een array **meteen bij definitie** initialiseren (en anders alleen element voor element):

```
double B[5] = {42, 3.14, 1e6, 0, 37};  
char str[10] = "feestje"; // str[7] wordt '\0'  
  
rij[8] = 37;  
rij[2] = rij[5] + rij[9];
```

Met `int A[3]`; maken we een array A met 3 integers: A[0], A[1] en A[2], achter elkaar in het geheugen. Stel dat een int 4 bytes beslaat, dan benutten we in totaal dus $3 \times 4 = 12$ bytes:



Hier kom je terecht als je A[4] gebruikt!

Als je `cout << A << endl`; doet krijg je de waarde van A te zien, en dat is het **geheugenadres** van de eerste byte van het eerste array-element, A[0], oftewel het adres van *.

Met `int rij[MAX]`; maken we een array `rij` met `MAX` elementen dat we bijvoorbeeld als volgt gebruiken:

```
int i; // array-index
for ( i = 0; i < MAX; i++ ) rij[i] = 5 * i;
for ( i = 0; i < MAX - 1; i++ ) rij[i] = rij[i+1];
for ( i = MAX - 1; i > 0; i-- ) rij[i-1] = rij[i];
```

Met `MAX` gelijk aan 10 wordt `rij` achtereenvolgens:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<---	array-index
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	<---	array-inhoud
5	10	15	20	25	30	35	40	45	45	<---	...
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	<---	...

Let er op niet het array uit te lopen!

Gebruik dus nooit, ook niet indirect, `rij[MAX]` of `rij[-42]`!

Hoe druk je de inhoud van een array af?

```
void drukaf (int A[ ], int n) {  
    int i;  
    for ( i = 0; i < n; i++ )  
        cout << A[i]; // (*)  
} //drukaf
```



Of (grapje) bij (*):

```
cout << A[i] << ( i % 10 == 9 ? '\n' : ' ');
```

met de **ternaire operator** ...?...:..., een voorwaardelijke expressie.

Sommigen zetten de declaratie van *i* in de for-loop:

```
for ( int i = 0; i < n; i++ ),
```

(pas dan op met geldigheid = scope van de variabele *i*).

En het minimum van een array:

```
int minimum (const int A[ ], int n) {  
    int klein = A[0], i;  
    for ( i = 1; i < n; i++ )  
        if ( A[i] < klein ) // kleinere gevonden  
            klein = A[i];  
    return klein;  
} //minimum
```

Die **const** verbiedt toekenningen aan array-elementen. In de heading mag ook `const int * A` staan, of `const int A[123]`. Die 123 wordt genegeerd: het gaat erom dat je doorgeeft dat het een integer-array is (de eerste parameter), met `n` elementen (de tweede parameter).

```
// Zoek getal in array A (n elementen). Lineair zoeken.  
// Geeft index met A[index] = getal, als getal tenminste  
// voorkomt; zo niet: resultaat wordt -1.  
int lineairzoeken (int A[ ], int n, int getal) {  
    int index = 0;  
    bool gevonden = false;  
    while ( ! gevonden && ( index < n ) ) {  
        if ( getal == A[index] )  
            gevonden = true; // of meteen: return index;  
        else  
            index++;  
    }//while  
    if ( gevonden ) // en dan hier: return -1;  
        return index;  
    else  
        return -1;  
}//lineairzoeken
```

Hoe roep je functies met arrays als parameter aan?
Enkele voorbeelden, waarbij het array `rij` gedefinieerd is via `int rij[MAX];`:

```
drukaf (rij,8); (eerste 8 elementen afdrukken)
```

```
cout << minimum (rij,10) << endl;  
    (druk kleinste van eerste 10 elementen af)
```

```
sorteermethode (rij,MAX); (sorteer hele array)
```

```
wissel (rij[5],x); (wissel wat)
```

Dus *nooit* `drukaf (rij[],8);!`



Programmeermethoden 2023

Derde programmeeropgave: Nonogram

De *derde* programmeeropgave van het vak **Programmeermethoden** in het najaar van 2023 heet *Nonogram*; zie ook het [zevende werkcollege](#), [achtste werkcollege](#) en [negende werkcollege](#), en lees geregeld deze pagina op [www](#).

De opgave

Het is de bedoeling om een C++-programma te maken dat de gebruiker in staat stelt een **Nonogram** te maken en op te lossen via een menu-systeem. Dat betekent dat de gebruiker van het programma kan kiezen uit een aantal mogelijkheden, de zogeheten *opties*. Er is één submenu, waarin ook weer opties zijn. De bedoeling is dat de menukeuzes op één of twee regels staan, onder de puzzel (zie verderop).

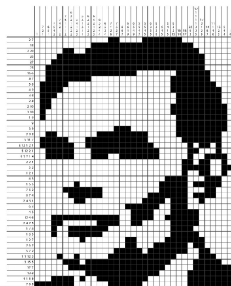
De opties worden gekozen door de eerste letter van de betreffende optie in te toetsen (gevolgd door Enter), bijvoorbeeld een s of S om te stoppen. Uiteraard wordt een en ander duidelijk en ondubbelzinnig aan de gebruiker meegedeeld. Gebruik *geen* recursie!

Alle door de gebruiker ingetoetste symbolen moeten gecontroleerd worden, dat wil zeggen dat er binnen redelijke grenzen geen foute invoer geaccepteerd wordt. Zo zal het intoetsen van bijvoorbeeld q of & in het hoofdmenu genegeerd worden (tenzij er een optie Q is ...).

Verder moet bij getalleninvoer karakter voor karakter ingelezen worden (met `c.in.get ()`); als je elders ook nog `c.in >> . . .` gebruikt krijg je overigens soms problemen met "hangende Enter's"; gebruik dus overal `c.in.get ()`. Er moet ook op gelet worden dat er geen te grote getallen worden ingevoerd. Schrijf dus een geschikte functie `Leesgetal` die de gelezen karakters (cijfers) omzet in een getal (tip: negeer alle "voorloop-Enter's"; verwerk alles tot en met de eerstvolgende enter, en maak hiervan zo goed mogelijk een getal, van een maximale grootte; zo kan `abc123defg999h`, als je een getal kleiner dan 10000 wilt, bijvoorbeeld verwerkt worden tot 1239), en een functie `Leesoptie` die netjes één karakter inleest en Enter's afhandelt! Aan de gebruiker mogen "redelijke" beperkingen worden gevraagd, bijvoorbeeld dat de in te voeren getallen maximaal vier cijfers hebben. Het programma moet dan echter wel bestand zijn tegen pogingen meer dan vier cijfers in te voeren. Ook het invoeren van letters in plaats van cijfers moet geen problemen opleveren. Houd het simpel!

Een *Nonogram*, ook bekend als een Japanse puzzel, is een puzzel waarbij een zwart-wit plaatje moet worden gereconstrueerd uit zogeheten beschrijvingen. Het gaat om een rechthoekig m (rijen) bij n (kolommen) rooster. Elk vakje = pixel moet zwart (1/true) of wit (0/false) worden. Naast alle rijen en boven alle kolommen staat een rijtje gehele getallen: de lijn-beschrijving. Zo'n beschrijving geeft, in volgorde, de lengtes van de aaneengesloten rijtjes zwarte pixels aan. Zo betekent 3 1 dat er eerst nul of meer witte pixels komen, dan 3 zwarte, dan één of meer witte, dan 1 zwarte en tot slot nul of meer witte. De puzzel bestaat uit het vinden van een plaatje dat aan alle beschrijvingen voldoet. Een goede puzzel heeft precies één oplossing. Zie [Wikipedia](#) voor meer informatie. We nemen aan dat de hoogte en breedte maximaal 50 zijn.

In ons programma hebben we steeds de zogeheten huidige totaal-beschrijving en het huidige beeld. In het begin zijn hier alle lijnbeschrijvingen 0 en alle pixels wit. Verder zien we steeds het "huidige pixel", ook wel de "cursor" genoemd, in het begin ongeveer in het midden van het rooster. (Zorg ervoor dat op de een of andere manier deze locatie duidelijk gemarkeerd is.) De beschrijvingen staan **rechts** naast de rijen en **onder** de kolommen (dit is makkelijker te doen dan er voor en er boven, zoals meer gebruikelijk). Als je wilt kun je nog



extra karakters definiëren (een punt bijvoorbeeld) voor pixels die, tijdens het puzzelen, zeker wit moeten zijn.

De gebruiker kan nu een aantal zaken doen:

1. Stoppen.
2. Een klein submenu ingaan, waarin:
 - o de grootte van de puzzel kan worden gewijzigd, waarbij beschrijvingen en pixels weer 0 worden;
 - o de gebruiker de symbolen die voor witte en zwarte pixels gebruikt worden kan kiezen (uiteraard twee verschillende);
 - o de gebruiker kan instellen of bij verplaatsen van de ""cursor" het nieuwe punt wit of zwart wordt, of niet verandert;
 - o het random-percentag (zie verderop) kan worden gewijzigd, tussen 0 en 100 procent.
3. Maak het huidige beeld leeg = schoon.
4. Random vullen van het huidige beeld, met (ongeveer) het door de gebruiker gekozen random-percentag zwarte pixels. Gebruik de random-generator van sheet 10 van het **achtste college**.


```
=====
```
5. De gebruiker kan de "cursor" één positie omhoog, omlaag, naar links of naar rechts bewegen, uiteraard binnen het rooster. Hierna wordt er opnieuw afgebeeld; het plaatje scrollt dus steeds omhoog. Gebruik speciale symbolen voor de plek van de cursor, op zowel een wit als een zwart pixel.
6. Toggelen: het huidige pixel wordt omgeklapt: 0 wordt 1, 1 wordt 0 (of preciezer: false wordt true, true wordt false).
7. De beschrijvingen worden de beschrijvingen van het huidige beeld. Het beeld klopt dan dus precies met de beschrijvingen.


```
=====
```
8. Inlezen van de huidige beschrijving uit een file. Formaat: de eerste regel bevat hoogte m en breedte n , gescheiden door een spatie. Daarna komen m regels met rij-beschrijvingen en n regels met kolom-beschrijvingen. Elke beschrijving wordt afgesloten met een 0; zo wordt 3 1 in de file 3 1 0 (met een spatie tussen de getallen). De beschrijving 0 wordt als 0 gerepresenteerd. Aangenomen mag worden dat de files wel het goede formaat hebben. Zie hier een **(lastig) voorbeeld** en **nog een** en **nog een**. Tip: lees getallen gewoon in met `invoer >> getal;`. Controleer ook of de file bestaat.
9. Wegschrijven van de huidige beschrijving naar een file.
10. **[OPTIONEEL]** Inlezen van het huidige beeld uit een file. Formaat: de eerste regel bevat hoogte m en breedte n , gescheiden door een spatie. Daarna m regels met een rij van het plaatje, met een 1 voor zwart en een 0 voor wit. Zie hier een **voorbeeld**. Wil je van een willekeurig plaatje `pLaatje . jpg` een bestand in (bijna) dit formaat maken, doe dan het volgende (in Linux):


```
convert plaatje . jpg -resize 40x40 pLaatje . pbm
pnmtoplainpnm plaatje . pbm > invoer . txt
```

 Uiteraard kan de gebruiker de filenaam kiezen. Als deze niet bestaat: een foutmelding, maar het programma komt weer in het menu terecht. Aangenomen mag worden dat de files wel het goede formaat hebben.
11. **[OPTIONEEL]** Wegschrijven van het huidige beeld.

Steeds staat bij correcte lijnen een "V": het gaat dus om rijen (ernaast) en kolommen (eronder) waarbij het huidige beeld precies aan de huidige beschrijving voldoet; dit verandert wellicht als de gebruiker iets aan het huidige beeld wijzigd. Als dit onderdeel geheel ontbreekt, kost dat 1 punt.

Als er in de beschrijvingen getallen met twee of meer cijfers staan, is dit lastig bij de kolommen. Druk dan bijvoorbeeld 10 als A af, 11 als B, enzovoorts.

De bedoeling is een klasse (class) nonogram te maken, met daarin onder meer functies die ieder voor zich een menuoptie afhandelen, zoals `vulRandom`. De parameters zijn typisch membervariabelen. Gebruik nog geen eigen headerfiles, alles moet deze keer in één file staan.

Opmerkingen

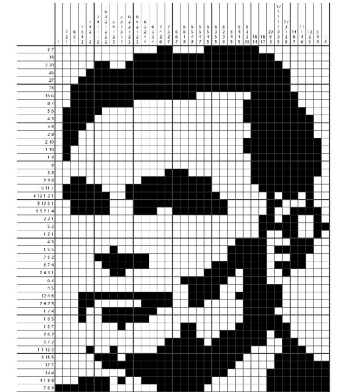
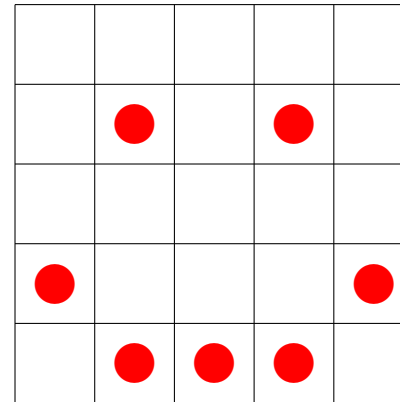
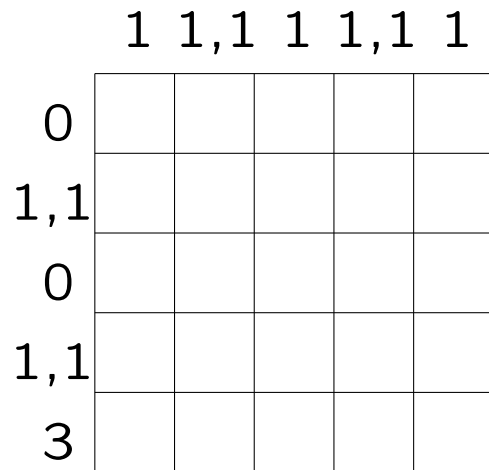
Gebruik geschikte (member)functies. Bij deze opgave mogen bij elke functie (zelfs `main`) tussen `begin{` en `end}` *hooguit circa 30* niet al te volle regels staan! Elke functie dient van commentaar voorzien te zijn, bij voorkeur één regel boven de functie. Let op goed parametergebruik: alle parameters, met uitzondering van membervariabelen, in de heading doorgeven, en de variabele-declaraties zowel bij `main` als bij de andere functies aan het begin. De enige te gebruiken headerfiles zijn in principe `iostream`, `fstream`, `cstdlib` en `string`. Zeer ruwe indicatie voor de lengte van het C++-programma: 500 regels. Denk aan het infoblokje.

Uiterste inleverdatum: **maandag 13 november 2023, 18:00 uur**.

Manier van inleveren (één exemplaar per koppel, dat — ter herinnering — uit maximaal twee personen bestaat) is als volgt:

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op3pm.php

Japanse puzzels (Nonogrammen) zien er zo uit:

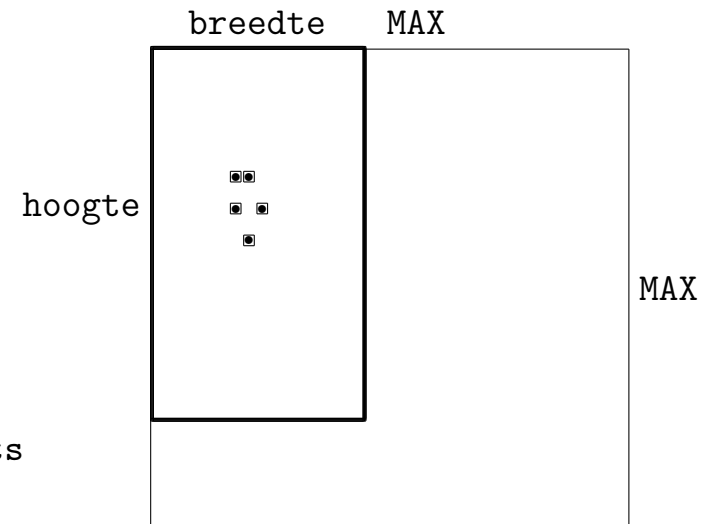


Naast iedere rij en boven (→ onder) iedere kolom staan in volgorde de lengtes van aaneengesloten series **rode** blokjes.

Voor Life/Nonogram/LightsOut: 2-dimensionale arrays (matrices)!

Een klasse nonogram voor **Nonogram** ziet er ± zo uit:

```
class nonogram {  
    public:  
        nonogram ( ); // constructor  
        void drukaf ( );  
        void vulrandom ( );  
        void maakschoon ( );  
        void zetpercentage ( );  
        // ...  
    private:  
        bool dewereld[MAX][MAX]; // array!!!  
        int rijen[MAX][MAX]; // en nog zoiets  
        int hoogte, breedte;  
        int percentage;  
        // ...  
}; // nonogram (let op de punt-komma hier)
```



klasse object



nonogram N;

N.drukaf ();

Maak member-functies als (zie verderop):

```
// laat het nonogram zien  
void nonogram::drukaf ( );  
    ...  
} //nonogram::drukaf
```

en

```
// stel percentage in tussen 0 en 100  
void nonogram::zetpercentage ( ) {  
    percentage = leesGetal (100);  
} //nonogram::zetpercentage
```

waarbij de zelfgemaakte functie `int leesGetal (int maxi)` een geheel getal, maximaal `maxi`, van toetsenbord inleest.



Voor een **Nonogram-wereld** is een 2-dimensionaal array nodig:

```
bool dewereld[MAX] [MAX] ;
```

Er geldt: `dewereld[i][j]` is `true` precies dan als rij `i` (van boven) en kolom `j` (van links) “zwart” is.

En voor de rij-beschrijvingen:

```
int rijen[MAX] [MAX] ;
```

En dit allemaal in een klasse `nonogram`, met methoden als `void nonogram::drukaf ()`, zie eerder.

Maak eerst een *menu* en de functie `leesGeta1`. Zie de tips:

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc7.php



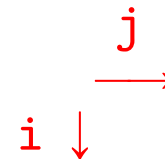
invoer moet < 10000 zijn (bijvoorbeeld):

```
\n\nabc123$%@@rr45xx\n → 1234 OF ...
```

Enter

Een basisfunctie is dus het afdrukken van een **Nonogram-wereld**:

```
// laat de nonogram-wereld zien; eerste poging
void nonogram::drukaf ( );
    int i, j; // voor rijen en kolommen
    for ( i = 0; i < hoogte; i++ ) {
        for ( j = 0; j < breedte; j++ ) {
            if ( dewereld[i][j] )
                cout << " X"; // <== later "zwartkarakter"
            else
                cout << " .";
        } //for j
        cout << endl;
    } //for i
} //nonogram::drukaf
```



En is linksboven (0,0)?

- werk aan de derde programmeeropgave (menu!) — de deadline is op maandag 13 november 2023, 18:00 uur www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op3pm.php
- lees Savitch Hoofdstuk 5, 6 en 7.1
- lees dictaat Hoofdstuk 3.8 en 3.11
- maak opgaven 26/30 uit het opgavendictaat
- volgende week geen “reguliere” activiteiten bij Programmermethoden

Programmeermethoden



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Arrays (vervolg)

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 8: 30 oktober–3 november 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

Arrays (vervolg) **Programma 2023 — Tweede deel**

week	onderwerp	boek	dictaat
30 okt–3 nov	Arrays (vervolg)	5	4.2,op31/36
6–10 nov	Arrays (vervolg 2)	5	4.2,op37/43
13–17 nov	Pointers	10	3.12,op44/46,52/55
20–24 nov	Recursie	13	3.10,op57/61
27 nov–1 dec	Datastructuren	17	5,op47/51
4–8 dec	Algoritmen, Python		
12–16 dec	Oude tentamens...		

op = opgaven uit opgavendictaat; zelf maken, antwoorden:
zie website.

In **rood**: de weken met een deadline op de maandag erna.

Tentamen: woensdag 17 januari 2024, 13:00–16:00 uur;
Universitair Sportcentrum. Denk aan het inschrijven!



Programmeermethoden 2023

Derde programmeeropgave: Nonogram

De *derde* programmeeropgave van het vak **Programmeermethoden** in het najaar van 2023 heet *Nonogram*; zie ook het [zevende werkcollege](#), [achtste werkcollege](#) en [negende werkcollege](#), en lees geregeld deze pagina op [WWW](#).

De opgave

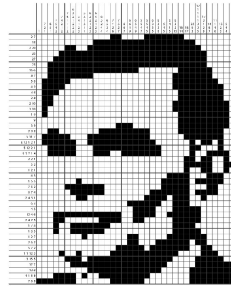
Het is de bedoeling om een C++-programma te maken dat de gebruiker in staat stelt een **Nonogram** te maken en op te lossen via een menu-systeem. Dat betekent dat de gebruiker van het programma kan kiezen uit een aantal mogelijkheden, de zogeheten *opties*. Er is één submenu, waarin ook weer opties zijn. De bedoeling is dat de menukeuzes op één of twee regels staan, onder de puzzel (zie verderop).

De opties worden gekozen door de eerste letter van de betreffende optie in te toetsen (gevolgd door Enter), bijvoorbeeld een s of S om te stoppen. Uiteraard wordt een en ander duidelijk en ondubbelzinnig aan de gebruiker meegedeeld. Gebruik *geen* recursie!

Alle door de gebruiker ingetoetste symbolen moeten gecontroleerd worden, dat wil zeggen dat er binnen redelijke grenzen geen foute invoer geaccepteerd wordt. Zo zal het intoetsen van bijvoorbeeld q of & in het hoofdmenu genegerd worden (tenzij er een optie Q is ...). Verder moet bij getalleninvoer karakter voor karakter ingelezen worden (met `c.in.get ()`); als je elders ook nog `c.in >> ...` gebruikt krijg je overigens soms problemen met "hangende Enter's"; gebruik dus overall `c.in.get ()`. Er moet ook op gelet worden dat er geen te grote getallen worden ingevoerd. Schrijf dus een geschikte functie `Leesgetal` die de gelezen karakters (cijfers) omzet in een getal (tip: negeer alle "voorloop-Enter's"; verwerk alles tot en met de eerstvolgende enter, en maak hiervan zo goed mogelijk een getal, van een maximale grootte; zo kan `abc123defg999h`, als je een getal kleiner dan 10000 wilt, bijvoorbeeld verwerkt worden tot 1239), en een functie `Leesoptie` die netjes één karakter inleest en Enter's afhandelt! Aan de gebruiker mogen "redelijke" beperkingen worden gevraagd, bijvoorbeeld dat de in te voeren getallen maximaal vier cijfers hebben. Het programma moet dan echter wel bestand zijn tegen pogingen meer dan vier cijfers in te voeren. Ook het invoeren van letters in plaats van cijfers moet geen problemen opleveren. Houd het simpel!

Een *Nonogram*, ook bekend als een Japanse puzzel, en niet te verwarren met Sudoku, is een puzzel waarbij een zwart-wit plaatje moet worden gereconstrueerd uit zogeheten beschrijvingen. Het gaat om een rechthoekig m (rijen) bij n (kolommen) rooster. Elk vakje = pixel moet zwart (1/true) of wit (0/false) worden. Naast alle rijen en boven alle kolommen staat een rijtje gehele getallen: de lijn-beschrijving. Zo'n beschrijving geeft, in volgorde, de lengtes van de aaneengesloten rijtjes zwarte pixels aan. Zo betekent 3 1 dat er eerst nul of meer witte pixels komen, dan 3 zwarte, dan één of meer witte, dan 1 zwarte en tot slot nul of meer witte. De puzzel bestaat uit het vinden van een plaatje dat aan alle beschrijvingen voldoet. Een goede puzzel heeft precies één oplossing. Zie [Wikipedia](#) voor meer informatie. We nemen aan dat de hoogte en breedte maximaal 50 zijn.

In ons programma hebben we steeds de zogeheten huidige totaal-beschrijving en het huidige beeld. In het begin zijn hier alle lijnbeschrijvingen 0 en alle pixels wit. Verder zien we steeds het "huidige pixel", ook wel de "cursor" genoemd, in het begin ongeveer in het midden van het rooster. (Zorg ervoor dat op de een of andere manier deze locatie duidelijk gemarkeerd is.) De beschrijvingen staan **rechts** naast de rijen en **onder** de kolommen (dit is makkelijker te doen dan er voor en er boven, zoals meer gebruikelijk). Als je wilt kun je nog



extra karakters definiëren (een punt bijvoorbeeld) voor pixels die, tijdens het puzzelen, zeker wit moeten zijn.

De gebruiker kan nu een aantal zaken doen:

1. Stoppen.
2. Een klein submenu ingaan, waarin:
 - o de grootte van de puzzel kan worden gewijzigd, waarbij beschrijvingen en pixels weer 0 worden;
 - o de gebruiker de symbolen die voor witte en zwarte pixels gebruikt worden kan kiezen (uiteraard twee verschillende);
 - o de gebruiker kan instellen of bij verplaatsen van de "cursor" het nieuwe punt wit of zwart wordt, of niet verandert;
 - o het random-percentage (zie verderop) kan worden gewijzigd, tussen 0 en 100 procent.
3. Maak het huidige beeld leeg = schoon.
4. Random vullen van het huidige beeld, met (ongeveer) het door de gebruiker gekozen random-percentage zwarte pixels. Gebruik de random-generator van sheet 10 van het [achtste college](#).
5. De gebruiker kan de "cursor" één positie omhoog, omlaag, naar links of naar rechts bewegen, uiteraard binnen het rooster. Hierna wordt er opnieuw afgebeeld; het plaatje scrollt dus steeds omhoog. Gebruik speciale symbolen voor de plek van de cursor, op zowel een wit als een zwart pixel.
6. Toggelen: het huidige pixel wordt omgeklapt: 0 wordt 1, 1 wordt 0 (of preciezer: false wordt true, true wordt false).
7. De beschrijvingen worden de beschrijvingen van het huidige beeld. Het beeld klopt dan dus precies met de beschrijvingen.
8. Inlezen van de huidige beschrijving uit een file. Formaat: de eerste regel bevat hoogte m en breedte n , gescheiden door een spatie. Daarna komen m regels met rij-beschrijvingen en n regels met kolom-beschrijvingen. Elke beschrijving wordt afgesloten met een 0; zo wordt 3 1 in de file 3 1 0 (met een spatie tussen de getallen). De beschrijving 0 wordt als 0 gerepresenteerd. Aangenomen mag worden dat de files wel het goede formaat hebben. Zie hier een [\(lastig\) voorbeeld](#) en [nog een](#) en [nog een](#).
Tip: lees getallen gewoon in met `invoer >> getal;`. Controleer ook of de file bestaat.
9. Wegschrijven van de huidige beschrijving naar een file.
10. **[OPTIONEEL]** Inlezen van het huidige beeld uit een file. Formaat: de eerste regel bevat hoogte m en breedte n , gescheiden door een spatie. Daarna m regels met een rij van het plaatje, met een 1 voor zwart en een 0 voor wit. Zie hier een [voorbeeld](#).
Wil je van een willekeurig plaatje `plaatje.jpg` een bestand in (bijna) dit formaat maken, doe dan het volgende (in Linux):

```
convert plaatje.jpg -resize 40x40 plaatje.pbm
nmtoplainpnm plaatje.pbm > invoer.txt
```

 Uiteraard kan de gebruiker de filenaam kiezen. Als deze niet bestaat: een foutmelding, maar het programma komt weer in het menu terecht. Aangenomen mag worden dat de files wel het goede formaat hebben.
11. **[OPTIONEEL]** Wegschrijven van het huidige beeld.

Steeds staat bij correcte lijnen een "V": het gaat dus om rijen (ernaast) en kolommen (eronder) waarbij het huidige beeld precies aan de huidige beschrijving voldoet; dit verandert wellicht als de gebruiker iets aan het huidige beeld wijzigt. Als dit onderdeel geheel ontbreekt, kost dat 1 punt.

Als er in de beschrijvingen getallen met twee of meer cijfers staan, is dit lastig bij de kolommen. Druk dan bijvoorbeeld 10 als A af, 11 als B, enzovoorts.

De bedoeling is een klasse (class) `nonogram` te maken, met daarin onder meer functies die ieder voor zich een menuoptie afhandelen, zoals `vulrandom`. De parameters zijn typisch membervariabelen. Gebruik nog geen eigen headerfiles, alles moet deze keer in één file staan.

Opmerkingen

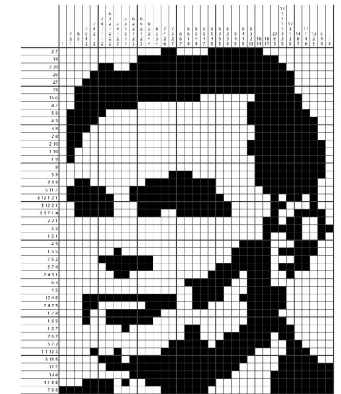
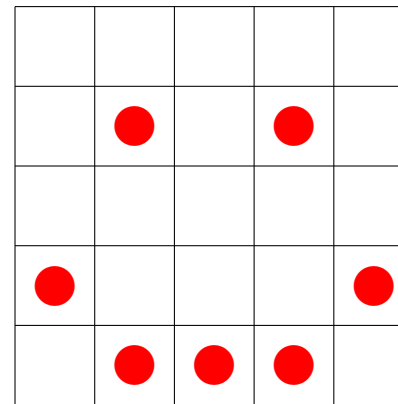
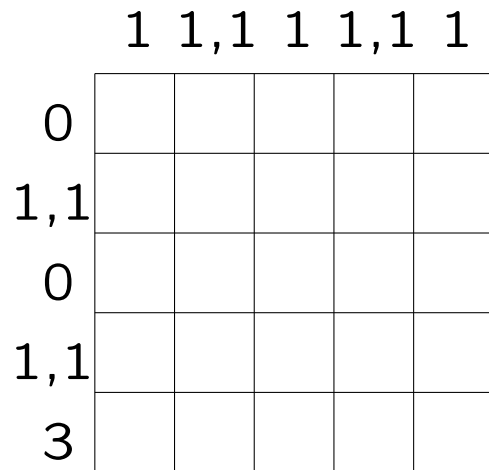
Gebruik geschikte (member)functies. Bij deze opgave mogen bij elke functie (zelfs `main`) tussen `begin{` en `end{}` *hooguit circa 30* niet al te volle regels staan! Elke functie dient van commentaar voorzien te zijn, bij voorkeur één regel boven de functie. Let op goed parametergebruik: alle parameters, met uitzondering van membervariabelen, in de heading doorgeven, en de variabele-declaraties zowel bij `main` als bij de andere functies aan het begin. De enige te gebruiken headerfiles zijn in principe `iostream`, `fstream`, `cstdlib` en `string`. Zeer ruwe indicatie voor de lengte van het C++-programma: 500 regels. Denk aan het infoblokje.

Uiterste inleverdatum: **maandag 13 november 2023, 18:00 uur**.

Manier van inleveren (één exemplaar per koppel, dat — ter herinnering — uit maximaal twee personen bestaat) is als volgt:

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op3pm.php

Japanse puzzels (Nonogrammen) zien er zo uit:

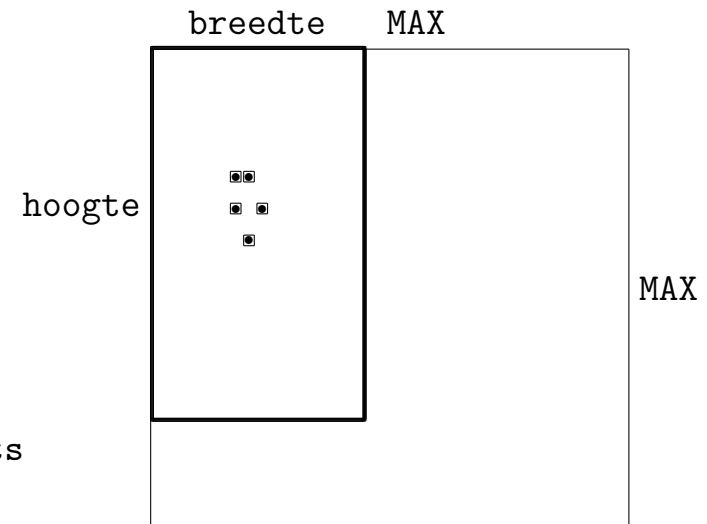


Naast iedere rij en boven (→ onder) iedere kolom staan in volgorde de lengtes van aaneengesloten series **rode** blokjes.

Voor Life/Nonogram/LightsOut: 2-dimensionale arrays (matrices)!

Een klasse nonogram voor **Nonogram** ziet er ± zo uit:

```
class nonogram {
public:
    nonogram ( ); // constructor
    void drukaf ( );
    void vulrandom ( );
    void maakschoon ( );
    void zetpercentage ( );
    // ...
private:
    bool dewereld[MAX][MAX]; // array!!!
    int rijen[MAX][MAX]; // en nog zoiets
    int hoogte, breedte;
    int percentage;
    // ...
}; // nonogram (let op de punt-komma hier)
```



klasse object



nonogram N;

N.drukaf ();

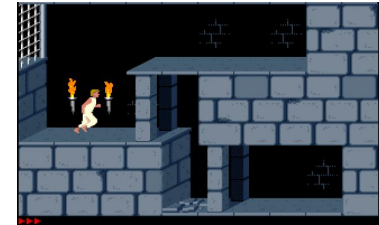
Maak member-functies als (zie verderop):

```
// laat het nonogram zien  
void nonogram::drukaf ( );  
    ...  
} // nonogram::drukaf
```

en

```
// stel percentage in tussen 0 en 100  
void nonogram::zetpercentage ( ) {  
    percentage = leesGetal (100);  
} // nonogram::zetpercentage
```

waarbij de zelfgemaakte functie `int leesGetal (int maxi)` een geheel getal, maximaal `maxi`, van toetsenbord inleest.



[YouTube](#)

Voor een **Nonogram-wereld** is een 2-dimensionaal array nodig:

```
bool dewereld[MAX] [MAX] ;
```

Er geldt: `dewereld[i][j]` is `true` precies dan als rij `i` (van boven) en kolom `j` (van links) “zwart” is.

En voor de rij-beschrijvingen:

```
int rijen[MAX] [MAX] ;
```

En dit allemaal in een klasse `nonogram`, met methoden als `void nonogram::drukaf ()`, zie eerder.

Maak eerst een *menu* en de functie `leesGetal`. Zie de tips:

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pmwc7.php



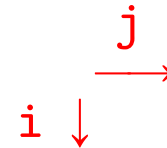
invoer moet < 10000 zijn (bijvoorbeeld):

```
\n\nabc123$%@@rr45xx\n → 1234 OF ...
```

Enter

Een basisfunctie is dus het afdrukken van een **Nonogram-wereld**:

```
// laat de nonogram-wereld zien; eerste poging
void nonogram::drukaf ( );
    int i, j; // voor rijen en kolommen
    for ( i = 0; i < hoogte; i++ ) {
        for ( j = 0; j < breedte; j++ ) {
            if ( dewereld[i][j] )
                cout << " X"; // <== later "zwartkarakter"
            else // en de "cursor" apart
                cout << " .";
        } //for j
        cout << endl;
    } //for i
} //nonogram::drukaf
```



En is linksboven (0,0)?

We willen willekeurige (**random**) getallen maken. Dit gaat met het volgende recept, de lineaire congruentie methode (zie Knuth). Kies een startwaarde x (de “seed”). Pas dan herhaald toe

$$x \leftarrow (a \cdot x + c) \text{ modulo } m$$

met vaste a , c en m ; en voor modulo lees: % uit C++.

Vaak: $c = 1$, m een macht van 10, en a modulo 200 = 21 (zie dictaat). Dan krijg je zoveel mogelijk verschillende getallen, voordat het zich gaat herhalen.

Met $x = (5 * x + 1) \% 8$ krijg je 0-1-6-7-4-5-2-3-0-...

En $x = (3 * x + 1) \% 8$ geeft 0-1-4-5-0-...

```
// geef random getal tussen 0 en 999
int randomgetal ( ) {
    static int getal = 42;                // (*)
    getal = ( 221 * getal + 1 ) % 1000;  // niet aan knoeien
    return getal;
} //randomgetal
```



(*) Een **static** variabele is lokaal, wordt eenmalig geïnitieerd, en blijft behouden tussen functie-aanroepen.

En een random getal uit {1, 2, 3, 4, 5, 6} aanmaken? Doe:

```
cout << 1 + randomgetal ( ) % 6 << endl;
```

Of misschien beter $1 + \text{randomgetal} () / 167$?

In `cstdlib` zit de RNG (“(pseudo)Random Number Generator”) `rand ()`, en `srand (...)` zet de seed.

Met `int A[8];` maak je een **array** met 8 gehele getallen:
`A[0], A[1], A[2], A[3], A[4], A[5], A[6], A[7]`.

↑
array-index

array-element

We vullen het array:

```
A[0] = 1;  
for ( int i = 1; i < 8; i++ ) A[i] = 2 * A[i-1];
```

En we drukken het af:

```
for ( int i = 0; i < 8; i++ ) cout << A[i] << " ";
```

Dat geeft 1 2 4 8 16 32 64 128 . Op A[5] staat 32.

Eendimensionale arrays

```
const int MAX = 1000;  
int A[MAX]; // of int A[1000];  
// declareert/definieert een array bestaande uit  
// MAX integers A[0], A[1], ..., A[MAX-1]
```

en **for-loop**

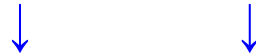
```
for ( int i = 0; i < MAX; i++ )  
    A[i] = 0;  
// zet alle array-elementen op 0
```



Er is een subtiel verschil tussen *declareren* en *definiëren*.

... en **functies**

beginadres grootte



```
void kwadraat (int B[ ], int n) { // geen & nodig!!  
    for ( int i = 0; i < n; i++ )  
        B[i] = i * i;  
} // kwadraat
```

```
// vult de array-elementen B[0] tot en met B[n-1]  
// met de eerste n kwadraten: 0 tot en met (n-1)^2
```

met **aanroep**: `kwadraat (A,MAX);` of `kwadraat (A,500);`. Array A verandert, ook al is het een call-by-value parameter!

Hoe sorteer je een array oplopend? Een eerste idee is: zet herhaald de “kleinste” vooraan.

```
void simpelsort (int C[ ], int n) {  
    int voorste, kleinste, plaatskleinste, k;  
    for ( voorste = 0; voorste < n; voorste++ ) {  
        plaatskleinste = voorste;  
        kleinste = C[voorste];  
        for ( k = voorste + 1; k < n; k++ )  
            if ( C[k] < kleinste ) {  
                kleinste = C[k];  
                plaatskleinste = k;  
            }//if  
        if ( plaatskleinste > voorste )  
            wissel (C[plaatskleinste],C[voorste]);  
    }//for  
}//simpelsort
```

zoek (plaats)kleinste van
C[voorste], ..., C[n-1]

Een voorbeeld van de werking van simpelsort:

0	1	2	3	4	5	6	(n=7)
3	8	7	5	2	4	9	
2	8	7	5	3	4	9	
2	3	7	5	8	4	9	
2	3	4	5	8	7	9	
2	3	4	5	8	7	9	
2	3	4	5	7	8	9	
2	3	4	5	7	8	9	
2	3	4	5	7	8	9	

En nog een (slechte) sorteermethode:

```
void bubblesort (int A[ ], int n) {  
    int i, j;  
    for ( i = 1; i < n; i++ )  
        for ( j = 0; j < n - i; j++ )  
            if ( A[j] > A[j+1] )  
                wissel (A[j],A[j+1]); // (*)  
} //bubblesort
```

Bij (*):

```
void wissel (int & a, int & b) {  
    int hulp = a; a = b; b = hulp; } //wissel
```

of (zonder functie wissel):

```
{ int temp = A[j]; A[j] = A[j+1]; A[j+1] = temp; }
```



[YouTube](#)

Een voorbeeld van de werking van simpelsort (links) en bubblesort (rechts):

0	1	2	3	4	5	6	(n=7)	0	1	2	3	4	5	6
3	8	7	5	2	4	9		3	8	7	5	2	4	9
2	8	7	5	3	4	9		3	7	5	2	4	8	9
2	3	7	5	8	4	9		3	5	2	4	7	8	9
2	3	4	5	8	7	9		3	2	4	5	7	8	9
2	3	4	5	8	7	9		2	3	4	5	7	8	9
2	3	4	5	7	8	9		2	3	4	5	7	8	9
2	3	4	5	7	8	9		2	3	4	5	7	8	9
2	3	4	5	7	8	9								

Bubblesort doet bij een rij met n elementen

$$(n - 1) + (n - 2) + \dots + 3 + 2 + 1 = n(n - 1)/2$$

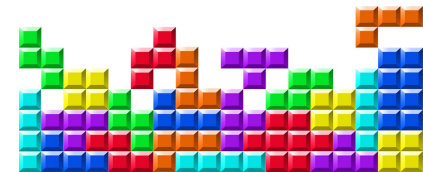
vergelijkingen tussen array-elementen. Het is een $O(n^2)$ (“orde n^2 ”) algoritme — en dat is niet zo fijn.

Dezelfde analyse geldt voor “simpelsort” = **Selection sort**.

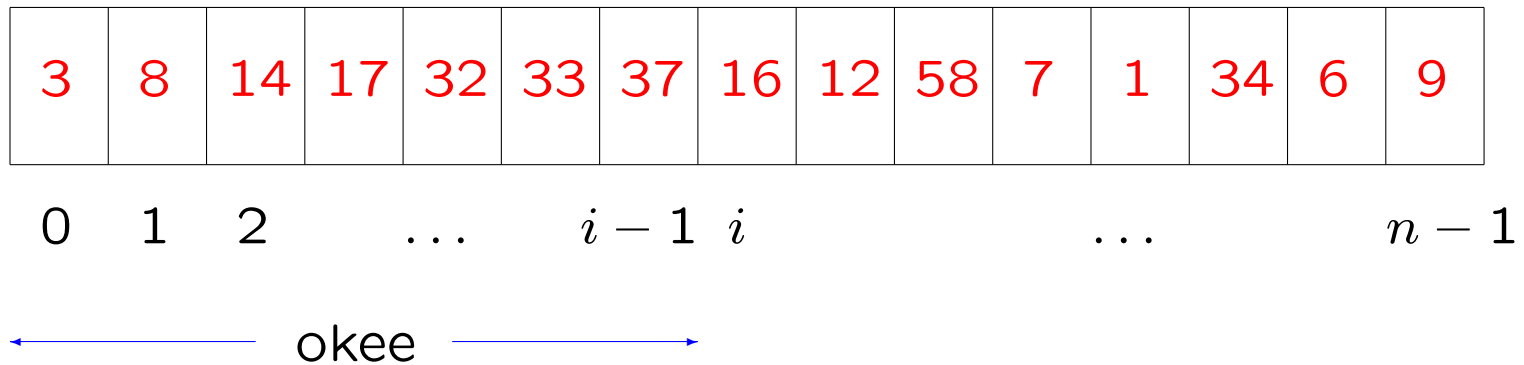
Later meer over zoeken en sorteren . . . het kan namelijk beter = sneller!

<http://www.sorting-algorithms.com/>

```
// sorteer array A (met n integers) oplopend
// met behulp van insertion sort (Opgave 54)
void invoegsorteer (int A[ ], int n) {
    int i, j, temp;
    for ( i = 1; i < n; i++ ) { // zet A[i] goed in
        temp = A[i];          // reeds gesorteerd beginstuk
        j = i - 1;
        while ( ( j >= 0 ) && ( A[j] > temp ) ) {
            A[j+1] = A[j];
            j--;
        }//while
        A[j+1] = temp;
    }//for
}//invoegsorteer
```



[link](#)



In de i^{de} ronde is $A[0]$ tot en met $A[i - 1]$ van array A (met n elementen) al gesorteerd en wordt $A[i]$ in het beginstuk op de juiste plek “ingevoegd”.



Het aantal vergelijkingen tussen array-elementen dat dit sorteeralgoritme doet hangt af van het invoerrijtje (met n elementen).

In het **slechtste geval** (worst case) kost het

$$1 + 2 + 3 + \dots + i - 1 + \dots + n - 1 = \frac{1}{2}n(n - 1)$$

vergelijkingen om het array oplopend te sorteren, bijvoorbeeld als het beginarray aflopend gesorteerd is.

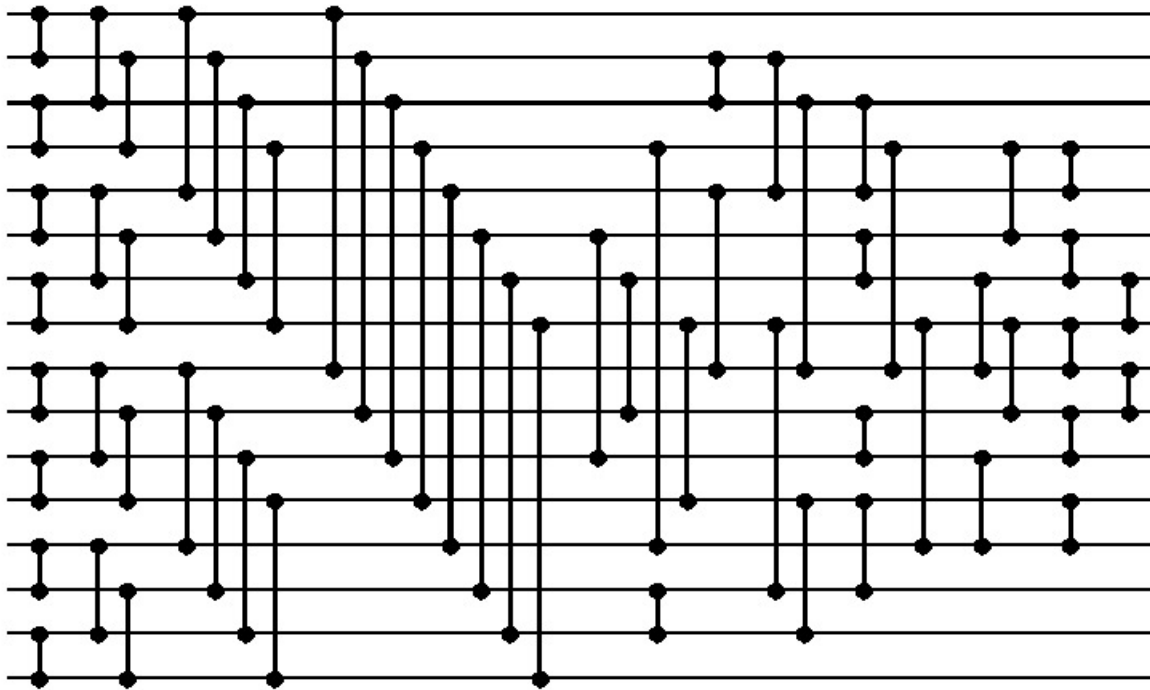
Het **beste geval** (best case) treedt op als het beginarray reeds oplopend gesorteerd is: $n - 1$ vergelijkingen.



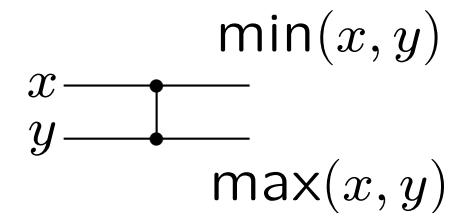
geen tentamenstof

```
void Shellsort (int A[ ], int n) {
    int i, j, h = n; // spronggrootte h
    while ( h > 1 ) {
        // A is h-gesorteerd
        h = h / 2; // er bestaan betere keuzes dan / 2
        for ( i = h; i < n; i++ ) {
            // insertion sort op deelrijtjes
            temp = A[i]; j = i - h;
            while ( ( j >= 0 ) && ( A[j] > temp ) ) {
                A[j+h] = A[j];
                j = j - h;
            } //while
            A[j+h] = temp;
        } //for
    } //while
    // h = 1: A is nu 1-gesorteerd = gesorteerd
} //Shellsort
```


Er zijn allerlei andere benaderingen, zoals “counting sort” (voor 13233121323123), en **sorteernetwerken** (GPU's):



vergelijker:



sorteert

16 getallen

60 vergelijkers

10 tijdstappen

sorteermethode	aantal vergelijkingen (worst case)
Selection sort	$O(n^2)$
Bubblesort	$O(n^2)$
Insertion sort	$O(n^2)$
Shellsort	$O(n\sqrt{n})$ (of nog beter?)
Quicksort	$O(n \lg n)$

Deze sorteeralgoritmen zijn alle gebaseerd op het doen van array-vergelijkingen (Selection sort = simpelsort); $\lg n = {}^2\log n = \log_2 n$.

Stelling: Elk sorteeralgoritme gebaseerd op het doen van array-vergelijkingen doet in het slechtste geval (de worst case) altijd *minstens* $\lg n! \approx cn \lg n$ vergelijkingen voor een array met n elementen.

zie de vakken Algoritmiek en Complexiteit . . .

```
void tabelletje (int n) {
    int i, j;
    for ( i = 1; i <= n; i++ ) { // buitenste loop
        cout << i << ": ";
        for ( j = 1; j <= i; j++ ) // binnenste loop
            cout << i * j << " ";
        cout << endl;
    } //for i
} //tabelletje
```

geeft, met tabelletje (5);:

```
1: 1
2: 2 4
3: 3 6 9
4: 4 8 12 16
5: 5 10 15 20 25
```

Tweedimensionale arrays (2D arrays, matrices)

```
const int m = 100;    // rijen
const int n = 50;    // kolommen
int A[m][n];         // of int A[100][50];
// declareert een tweedimensionaal array van m rijen
// en n kolommen, bestaande uit m*n integers
```

en dubbele for-loop

```
int i, j;
for ( i = 0; i < m; i++ )
    for ( j = 0; j < n; j++ )
        A[i][j] = 42;    // dus niet A[i,j]
// zet alle array-elementen op 42
```

... en **functies**

moet constante zijn!!

B[][n] mag ook (als n const is)



```
int somarray (int B[ ][50], int zoveel) {
    int i, j, som = 0;
    for ( i = 0; i < zoveel; i++ )    // rijen
        for ( j = 0; j < 50; j++ )    // kolommen
            som += B[i][j];    // += betekent "ophogen met"
    return som;
} //somarray

// berekent de som van de elementen
// uit de eerste zoveel rijen van B
```

en **aanroep**: antwoord = somarray (A,m); Of
antwoord = somarray (A,20); Of ...

Een 4×5 array A (`int A[4][5];`) heeft 4 rijen en 5 kolommen:

			kolom 3		
rij 2			196		

The diagram shows a 4x5 array of numbers. A red horizontal line is drawn under the third row, and a red vertical line is drawn to the left of the third column. The value 196 is located at the intersection of these two lines, representing the element at row index 2 and column index 3.

Op plek (2, 3) staat het getal 196: `A[2][3]`.

Op plek (0, 0) (dus linksboven) staat het getal 54: `A[0][0]`.

Rechtsonder staat `A[3][4]`: 111.

En het array-element `A[4][5]` “bestaat niet”.

kolom j

	A[i-1][j-1]	A[i-1][j]	A[i-1][j+1]	
rij i	A[i][j-1]	A[i][j]	A[i][j+1]	
	A[i+1][j-1]	A[i+1][j]	A[i+1][j+1]	

$m \times n$ array `int A[m][n];`

Array-elementen aan een rand hebben minder burenen!

Als een functie de inhoud van het array moet veranderen is **geen &** nodig:

```

                adres verandert niet                dus
                ↓                                    ↓
void ikeerj (int A[ ][n], int m) { // geen & !!!
    int i, j;
    for ( i = 0; i < m; i++ )
        for ( j = 0; j < n; j++ )
            A[i][j] = i * j;
} // ikeerj
                ↑
                inhoud verandert wel

```



We bekijken nu n bij n vierkante matrices:

```
const int n = 42;

// C wordt de som van A en B, alle drie n bij n matrices
// optelling geschiedt elementsgewijs
void optellen (double A[ ][n], double B[ ][n],
              double C[ ][n]) {
    int i, j;
    for ( i = 0; i < n; i++ )
        for ( j = 0; j < n; j++ )
            C[i][j] = A[i][j] + B[i][j];
} //optellen
```

zie het vak Lineaire algebra ...

We bekijken weer n bij n vierkante matrices:

```
const int n = 42;

// C wordt het (matrix-)product van A en B
void vermenigvuldigen (double A[ ][n], double B[ ][n],
                      double C[ ][n]) {
    int i, j, k;
    for ( i = 0; i < n; i++ )
        for ( j = 0; j < n; j++ ) {
            C[i][j] = 0;
            for ( k = 0; k < n; k++ )
                C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
        } //for j
} //vermenigvuldigen
```

Arrays (vervolg) **Matrixvermenigvuldiging: voorbeeld**

Voorbeeld (we berekenen van $A \cdot B = C$ met name **C[1][0]**):

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 19 & 22 \\ 43 & 50 \end{pmatrix}$$

In het algemeen geldt:

$$C[i][j] = \sum_{k=0}^{n-1} A[i][k] * B[k][j] \text{ ofwel } C_{ij} = \sum_{k=0}^{n-1} A_{ik} \cdot B_{kj}$$

Het product van twee matrices is overigens ook gedefinieerd voor niet-vierkante matrices A en B , mits maar geldt dat aantal kolommen van $A =$ aantal rijen van B .

Arrays (vervolg) **Matrixvermenigvuldiging: Strassen**

Het gewone algoritme (links) kost $O(n^3)$ vermenigvuldigingen van array-elementen voor het product van twee $n \times n$ matrices; **Strassen** (rechts) “slechts” $O(n^{\log_2 7}) \approx O(n^{2.8})$:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 19 & 22 \\ 43 & 50 \end{pmatrix}$$

$$19 = 1 * 5 + 2 * 7$$

$$22 = 1 * 6 + 2 * 8$$

$$43 = 3 * 5 + 4 * 7$$

$$50 = 3 * 6 + 4 * 8$$

$$M_1 = (1 + 4) * (5 + 8) = 65$$

$$M_2 = (3 + 4) * 5 = 35$$

$$M_3 = 1 * (6 - 8) = -2$$

$$M_4 = 4 * (7 - 5) = 8$$

$$M_5 = (1 + 2) * 8 = 24$$

$$M_6 = (3 - 1) * (5 + 6) = 22$$

$$M_7 = (2 - 4) * (7 + 8) = -30$$

$$19 = M_1 + M_4 - M_5 + M_7$$

$$22 = M_3 + M_5$$

$$43 = M_2 + M_4$$

$$50 = M_1 - M_2 + M_3 + M_6$$

NEWS | 05 October 2022

DeepMind AI invents faster algorithms to solve tough maths puzzles

Machine-learning technique improves computing efficiency and could have far-reaching applications.

Matthew Hudson



AlphaTensor was designed to perform matrix multiplications, but the same approach could be used to tackle other mathematical challenges. Credit: DeepMind

Opgave 1 van het tentamen van 6 januari 2014:

In een array `int A[n]` staan `n` (een `const > 0`) gehele getallen.

a. Schrijf een C++-functie `hoevaak (A,X,n)` die teruggeeft hoe vaak het gehele getal `X` in het array `A` voorkomt.

b. Schrijf een Booleaanse C++-functie `uniek (A,n)` die precies dan `true` teruggeeft als geen enkel getal twee maal (of vaker) voorkomt in `A`, en anders `false`. Hierbij moet de functie van **a** *zinvol* gebruikt worden (hoe vaak komt `A[i]` voor?).

c. Schrijf een C++-functie `meest (A,n)` die het meest voorkomende getal uit `A` teruggeeft. Als er verschillende kandidaten zijn (bijvoorbeeld voor het array 17 12 30 12 42 30) moet het kleinste getal dat het meest voorkomt worden geretourneerd. In het voorbeeld is dit 12 (dat even vaak voorkomt als 30). Maak opnieuw gebruik van de functie van **a**.

d. Schrijf een C++-functie `sorteer (A,n)` die de getallen in `A` zodanig ordent dat voor alle getallen (behalve het laatste) geldt dat ze hooguit even vaak voorkomen als hun rechter buurman. Tip: pas de C++-code voor *bubblesort* eenvoudig aan; gebruik **a**.

e. Hoe vaak wordt de functie `hoevaak` aangeroepen in **d**?



zie werkcollege 2–3 november: 1a en 2a

- werk aan de derde programmeeropgave — de deadline is op maandag 13 november 2023
- bezoek daarom de colleges (video's), werkcolleges en vragenuren
- lees Savitch Hoofdstuk 5
- lees collegedictaat Hoofdstuk 3.8, 4.1 en 4.2
- maak opgaven 31/36 uit het opgavendictaat
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/

Programmeermethoden

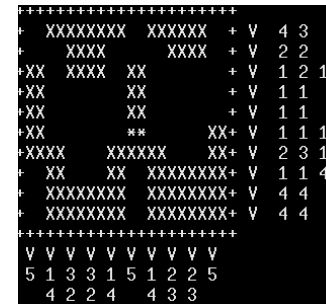
Arrays (vervolg 2)

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 9: 6–10 november 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

Voor het verslag:



- Nonogram: ... uitleg ...

- citatie/referentie: Tja~\cite{abc} levert “Tja [1]”, met

```

\begin{thebibliography}{XX}
\bibitem{abc} P.~Puk, Kabouters in de Tweede
Kamer, Ons Tijdschrift 42 (2023) 12--34.
\end{thebibliography}
    
```

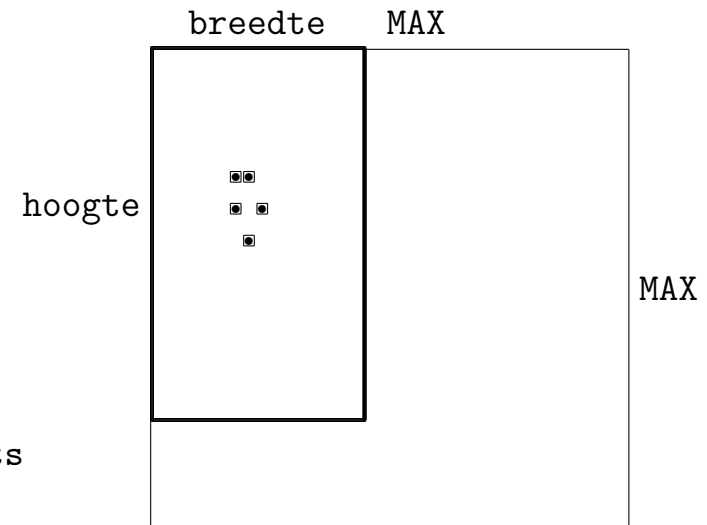
- plaatje: \includegraphics[height=4cm]{iets}; let op het type (.png, .jpg, .pdf; gebruik zo nodig convert); bovenaan moet \usepackage{graphicx} staan; en gebruik Shift-PrtScn; zie mooier.tex

Arrays (vervolg 2) **Derde programmeeropgave — 2**

Een klasse nonogram voor **Nonogram** ziet er ± zo uit:

```
class nonogram {
public:
    nonogram ( ); // constructor
    void drukaf ( );
    void vulrandom ( );
    void maakschoon ( );
    void zetpercentage ( );
    // ...
private:
    bool dewereld[MAX][MAX]; // array!!!
    int rijen[MAX][MAX]; // en nog zoiets
    int hoogte, breedte;
    int percentage;
    // ...
}; // nonogram (let op de punt-komma hier)

// default constructor
nonogram::nonogram ( ) {
    hoogte = 10;
    // ...
} // nonogram::nonogram
```



klasse object



nonogram N;

N.drukaf ();

				1						
			1		1					
		1		2		1				
	1		3		3		1			
	1	4		6		4		1		
1		5		10		10		5		1



1	0						
1	1	0					
1	2	1	0				
1	3	3	1	0			
1	4	6	4	1	0		
1	5	10	10	5	1	0	

$$A[i-1][j-1] + A[i-1][j] = A[i][j]$$

De getallen uit de driehoek van Pascal zijn de zogeheten **binomiaalcoëfficiënten**: $A[i][j] = \binom{i}{j}$.

```
void pascaldriehoek ( ) {
    int i, j;
    int Pascal[n][n]; // n een constante
    for ( i = 0; i < n; i++ )
        Pascal[i][0] = 1; // de nulde kolom bevat enen
    Pascal[0][1] = 0;
    for ( i = 1; i < n; i++ ) {
        cout << endl << Pascal[i][0] << " ";
        for ( j = 1; j <= i ; j++ ) {
            Pascal[i][j] = Pascal[i-1][j-1] + Pascal[i-1][j];
            cout << Pascal[i][j] << " ";
        } //for j
        if ( i != n - 1 )
            Pascal[i][i+1] = 0;
    } //for i
} //pascaldriehoek
```

In pascaldriehoek () werd de *hele* driehoek (tijdelijk) opgeslagen in het 2-dimensionale array `Pascal`: dit kan efficiënter.

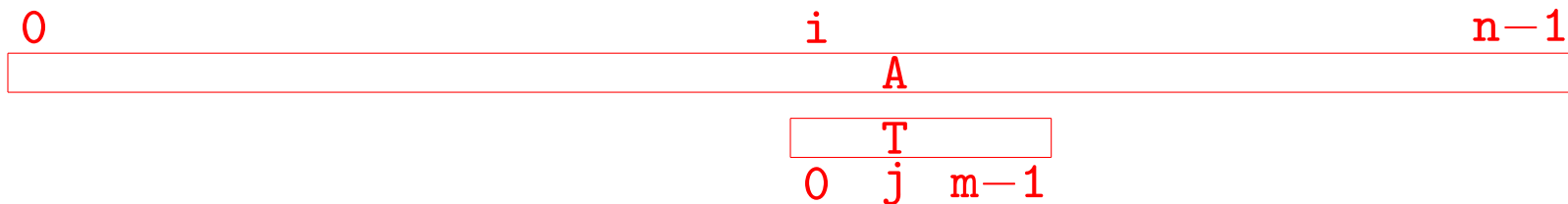
We kunnen volstaan met een 1-dimensionaal array `rij`, dat telkens de i -de rij uit de driehoek van Pascal bevat. Om de $(i+1)$ -de rij te vinden gebruiken we immers alleen de i -de rij, dus alle vorige rijen zijn niet meer nodig.

Merk op dat een volgende rij nu altijd *van rechts naar links* gevuld moet worden, omdat je anders waarden overschrijft die je nog nodig hebt.

```
void pascaldriehoekbeter ( ) {
    int rij[n];    // 1-dimensionaal array !!
    int i, j;
    for ( j = 1; j < n; j++ ) // initialisatie
        rij[j] = 0;
    rij[0] = 1;    // 0-de kolom altijd 1
    for ( i = 1; i < n; i++ ) { // i-de rij
        for ( j = i; j > 0; j-- ) {
            rij[j] = rij[j-1] + rij[j];    // j-de element
            cout << rij[j] << " ";
        } //for j
        cout << rij[0] << endl; // een 1 erachter
    } //for i
} //pascaldriehoekbeter
```

Komt het m-letter woord `woord` voor in het n-letter verhaal `verhaal`? Retourneer "begin" van de eerste match, of -1.

```
int komtvoor (char woord[ ], char verhaal[ ], int m, int n) {
    int i = 0, // om door verhaal heen te lopen
        j;    // om door woord heen te lopen
    bool gevonden = false;
    while ( i + m <= n ) {
        gevonden = true; // optimist
        for ( j = 0; j < m; j++ ) // bot
            if ( woord[j] != verhaal[i+j] ) // pech
                gevonden = false;
        if ( gevonden ) // bingo
            return i;
        i++;
    } //while
    return -1;
} //komtvoor
```



Er zijn talloze patroonherkennings-algoritmen die sneller een (korte) string in een (lange) string opsporen.

Voorbeelden zijn het **Boyer-Moore** algoritme en het **Knuth-Morris-Pratt** algoritme, zie het college Datastructuren.

Stel je zoekt BABBM, en ziet de mismatch $A \leftrightarrow M$:

```

U V W B A B B A T L K ...
      B A B B M

```

Je kunt dan doorschuiven naar

```

U V W B A B B A T L K ...
          B A B B M

```

en T met B gaan vergelijken.



Donald "T_EX" Knuth

Gevraagd: rij uit bord die geheel uit **klinkers** bestaat

2D array

```
int rijklinkers (const char bord[8][8]) {
    int i = 0, j = 0, rij = -1;
    bool okee;
    for ( i = 0; i < 8; i++ ) {
        okee = true;    // allemaal klinkers in rij i?
        for ( j = 0; j < 8; j++ ) {
            if ( ! ( ( bord[i][j] == 'A' ) || ( bord[i][j] == 'E' )
                    || ( bord[i][j] == 'I' ) || ( bord[i][j] == 'O' )
                    || ( bord[i][j] == 'U' ) ) ) )
                okee = false;    // bord[i][j] is geen klinker
        }//for j
        if ( okee )
            rij = i;
    }//for i
    return rij;    // -1 als zo'n rij niet bestaat
}//rijklinkers
```

Alle 64 array-elementen worden bekeken, 't kan beter ...

Het kan zelfs *efficiënter* en mooier met *één while-loop*:

2D array

```
int klinkerrij (const char bord[ ][8]) {
    int i = 0, j = 0, rij = -1;
    bool stoppen = false;
    while ( ! stoppen && ( i < 8 ) )
        if ( ( bord[i][j] == 'A' ) || ( bord[i][j] == 'E' )
            || ( bord[i][j] == 'I' ) || ( bord[i][j] == 'O' )
            || ( bord[i][j] == 'U' ) )
            if ( j == 7 ) { // bingo
                stoppen = true;
                rij = i; // of: return i;
            } //if
        else
            j++;
        else { // volgende rij vooraan
            i++;
            j = 0;
        } //else
    return rij; // -1 als zo'n rij niet bestaat
} //klinkerrij
```



	0	1	2	3	4	5	6	7
0	E	E	O	T				
1	I	X						
2	A	I	O	A	A	A	Z	
3	U	X						
4	R							
5	O	I	O	I	A	A	U	A
6								
7								

Vraag: begint op positie (i,j) in puzzel (met # als zwart vakje) een **nieuw horizontaal woord**?

```
bool bestaatHoriWoord (char puzzel[ ][n], int i, int j) {
    if ( ( puzzel[i][j] != '#' ) &&
        ( ( j == 0 ) || ( puzzel[i][j-1] == '#' ) ) &&
        ( ( j != n-1 ) && ( puzzel[i][j+1] != '#' ) ) )
        return true;
    else
        return false;
} //bestaatHoriWoord
```

// H E T #
// A # O M
// # S P A

Er wordt rijkelijk gebruik gemaakt van C++-short-circuiting evaluatie.

Eén statement `return ((puzzel[i][j] != ... kan ook.`

Opdracht: vul het array `nummers` (rij voor rij en per rij van links naar rechts): vakjes waar een woord begint (horizontaal of verticaal) krijgen een rangnummer, andere 0:

```
void nummeren (char puzzel[ ][n], int m,
               int nummers[ ][n]) {
    int i, j; int teller = 1;    // rangnummer
    for ( i = 0; i < m; i++ )
        for ( j = 0; j < n; j++ )
            if ( bestaatHoriWoord ( puzzel, i, j ) ||
                bestaatVertiWoord ( puzzel, i, j ) ) {
                nummers[i][j] = teller;
                teller++;          //   H E T #   1 0 2 0
            } //if                //   A # O M   0 0 3 4
            else                  //   # S P A   0 5 0 0
                nummers[i][j] = 0;
} //nummeren
```

Voorbeeld:

```
const int l = 500;      // 500 bladzijden
const int m = 45;      // 45 regels per bladzijde
const int n = 75;      // 75 karakters per regel
char boek[l][m][n];    // of char boek[500][45][75];
// declareert een driedimensionaal array van karakters
// het heeft 500 * 45 * 75 = 1687500 bytes
```

`boek[342][27][55]` betekent: van pagina 342, regel 27 het 55-e karakter; denk er aan dat ze allemaal bij 0 beginnen met indiceren.

(En gebruik nooit 1 als variabele! ($\text{\LaTeX: } \ell \rightarrow l$))

Een **priemgetal** is een geheel getal > 1 dat alleen door 1 en zichzelf deelbaar is:

```
bool priem (int getal) {
    int deler = 2;
    double wortel = sqrt (getal); // uit <cmath>
    bool geendelers = true; // optimist!
    while ( ( deler <= wortel ) && geendelers ) {
        if ( getal % deler == 0 ) // (*)
            geendelers = false; // (*)
        deler++;
    } //while
    return geendelers;
} //priem
```

Bij (*) mag ook staan: `geendelers = (getal % deler != 0);`

Dat kan ook als volgt, waarbij we gebruiken dat `return` de functie meteen stopt:

```
bool priem2 (int getal) {
    int deler = 2;
    double wortel = sqrt (getal); // uit <cmath>

    while ( deler <= wortel ) {
        if ( getal % deler == 0 )
            return false;
        deler++;
    }//while
    return true;
}//priem2
```

Er zijn veel snellere programma's!

Ontbind een getal in factoren, zoals $84 = 2^2 \times 3^1 \times 7^1$:

```
void ontbinden (int getal) {
    int teller = 0; // hoe vaak past deler in getal?
    int deler = 2; // kandidaat deler
    while ( getal != 1 ) {
        if ( getal % deler == 0 ) {
            teller = 0;
            while ( getal % deler == 0 ) {
                getal = getal / deler;
                teller++;
            }//while
            cout << deler << " tot de " << teller << "-de macht ";
        }//if
        deler++;
    }//while
}//ontbinden
```

De **zeef van Eratosthenes** vindt priemgetallen:

```
bool zeef[MAX]; // getal i priem <=> zeef[i] true
int getal, veelvoud;
double wortel = sqrt (MAX);
zeef[0] = false;
zeef[1] = false;
for ( getal = 2; getal < MAX; getal++ )
    zeef[getal] = true; // ... tot het tegendeel bewezen is
for ( getal = 2; getal < wortel; getal++ )
    if ( zeef[getal] ) { // streep veelvouden door
        veelvoud = 2 * getal; // getal + getal als * "te duur" is
        while ( veelvoud < MAX ) {
            zeef[veelvoud] = false;
            veelvoud = veelvoud + getal;
        } //while
    } //if
for ( getal = 2; getal < MAX; getal++ ) {
    if ( zeef[getal] )
        cout << getal << " ";
} //for
```



Hoe werk je in de praktijk met rijtjes char's, oftewel **strings**? Dat kan in C++ op twee manieren:

- Met “ouderwetse” **C-strings**:

```
char woord[7] = "Het.";
```

Nu wordt `woord[4]` gelijk aan `'\0'`, en zit er troep in `woord[5]` en `woord[6]`.

- Beter: met nieuwe strings uit de **string-klasse**, via:

```
#include <string>
```

```
string woord = "De.";
```

Nu heb je `woord.length ()`, hier 3, array-elementen, zoals `woord[1]`, waar `'e'` in zit. En `woord.c_str ()` levert de overeenkomende C-string. Maar hoe die ingewikkelde objecten opgeslagen zitten?

Je kunt beide types strings inlezen, maar er zijn gevaren:

- C-strings “groeien niet mee”, strings uit de string-klasse wel.
- Met `cin >> regel;` lees je in de (C-)string `regel` in, maar dit stopt bij “whitespace”! Gebruik liever `getline`.

- Als je doet

```
cin >> n; // een int
getline (cin, regel); // een string
wordt regel de lege string: de vorige Enter!
```

En tot slot: met strings uit de string-klasse werken `==`, en zelfs `<` en `<=` (lexicografische ordening), met C-strings niet ... want daar vergelijk je met `==` adressen.

Hoe kun je parameters doorgeven aan een programma?
Dat gaat via C-strings, mee te geven aan de functie `main`:

```
int main (int argc, char* argv[ ]) {  
    if ( argc > 1 ) // telt aantal parameters  
        cout << "===Parameter " << argv[1] << endl;  
    cout << "===Executable heet " << argv[0] << endl;  
} //main
```

Als je dit programma (zeg `iets.cc`) compileert met
`g++ -Wall -o doewat iets.cc` levert `./doewat 1234` op:
`===Parameter 1234`
`===Executable heet ./doewat`

✕ geen tentamenstof

En wat gebeurt er als je een array kopieert met $A = B$;
Dan wijzen ze naar (“zijn ze”) dezelfde inhoud, maar is het
oude array A “zoek”. Je kopieert namelijk het beginadres.
Dus beter is:

```
void kopieer (int A[ ], int B[ ], int n) {  
    int i;  
    for ( i = 0; i < n; i++ )  
        A[i] = B[i];  
} //kopieer
```

En let op: geen & te zien.

Voor int B[] zou const mogen staan.



De array-grootte moet eigenlijk een constante zijn, dus:

```
int n;  
cin >> n;  
int A[n]; // verboden! (maar compileert meestal wel)  
int B[10]; // in orde
```

Wat goed is, maar ook wat nadelen heeft, is:

```
int n;  
cin >> n;  
A = new int[n]; // dynamisch array (zie pointers ...)  
...  
delete [ ] A; // ook zelf opruimen!
```

✕ geen tentamenstof

OK, en arrays met rijen van variabele lengte? En dynamische arrays?

```
int** A = new int*[m];  
for ( int i = 0; i < m; i++ ) A[i] = new int[n];
```

... gebruik A[i][j] ...

```
for ( int i = 0; i < m; i++ ) delete [ ] A[i];  
delete [ ] A;
```

✕ geen tentamenstof

Opgave 3 van het tentamen van 3 januari 2018:

Gegeven is het 2-dimensionale array `int stemmen[m][n]`; , met zekere `const int m` ≥ 2 en `const int n` ≥ 2 . Er geldt dat `stemmen[i][j]` ≥ 0 het aantal stemmen van jurylid `i` op liedje `j` is. Een voorbeeld met `m = 4` en `n = 5`:

```
2 5 0 3 2
1 5 1 4 1
2 1 3 3 3
8 1 0 0 3
```

a. Schrijf een Booleaanse C++-functie `eerlijk` (`stemmen`) die controleert of alle juryleden exact evenveel stemmen hebben uitgebracht. Oftewel: hebben alle rijen dezelfde totaalsom? In het voorbeeld: `true`.

b. Twee juryleden stemmen *ongeveer hetzelfde* als voor ieder liedje geldt dat hun aantal stemmen hooguit één verschilt, en tevens dat bij minstens één liedje er evenveel stemmen zijn. Schrijf een Booleaanse C++-functie `idem` (`stemmen, i1, i2`) die dit controleert voor de juryleden `i1` en `i2`. Neem aan dat $0 \leq i1 < m$ en $0 < i2 < m$. In het voorbeeld `true` bij 0 en 1.

c. Begin bij een zeker jurylid `i1`, met $0 \leq i1 < m$. Zoek het nieuwe jurylid `i2` dat ongeveer hetzelfde stemt als `i1` (gebruik **b**), waarbij `i2` zo klein mogelijk is. Zoek vanuit `i2` het nieuwe (verschillend van `i1` en `i2`) jurylid `i3` (`i3` zo klein mogelijk) dat ongeveer hetzelfde stemt als `i2`, enzovoorts: `i4` verschilt van `i1`, `i2` en `i3`, en stemt ongeveer hetzelfde als `i3`, ... Je stopt indien je een dergelijk nieuw jurylid niet meer kunt vinden. Schrijf een C++-functie `int vrienden` (`stemmen, i1`) die dit doet, en teruggeeft hoeveel juryleden je zo gevonden hebt, inclusief `i1`. Tip: gebruik een Booleaans hulparray.

Opgave 3 van het tentamen van 16 maart 2017:

Gegeven is het twee-dimensionale array `int afstand[n][n]`;, met $0 \leq i, j < n$ en $0 \leq k < n$, met zekere `const int n` ≥ 2 . Er geldt dat `afstand[i][j] > 0` de afstand is tussen de plaatsen `i` en `j` met $i \neq j$, waarbij `afstand[i][i]` 0 is, en de afstand tussen `i` en `j` even groot is als die tussen `j` en `i`. Een voorbeeld met `n = 4` staat hiernaast.

0	3	7	9
3	0	4	14
7	4	0	8
9	14	8	0

a. Schrijf een C++-functie `bool reis (afstand, km)` die kijkt of er een rondreis van `i` naar `j` naar `k` naar `i` is (voor willekeurige onderling verschillende plaatsen `i`, `j` en `k`) die in totaal precies afstand `km` heeft. In het voorbeeld zou voor 26 het antwoord `true` zijn: van 0 naar 1 naar 3 naar 0 (dat is $3 + 14 + 9 = 26$).

b. Schrijf een C++-functie `int verste (afstand, i)` die het nummer van de verst van `i` afgelegen plaats oplevert. In het voorbeeld, met `i = 3`, is dat 1 (wegens afstand 14). Als er meerdere plaatsen voldoen: die met de grootste index. Neem aan dat $0 \leq i < n$.

c. Schrijf een C++-functie `int hoever (afstand, i)` die bepaalt hoeveel je in totaal reist als je begint in `i`, dan steeds naar de verst gelegen plaats gaat, en stopt zodra je ergens komt waar je al eerder geweest was. In het voorbeeld, met `i = 0`, is het antwoord $9 + 14 + 14 = 37$ (van 0 naar 3 naar 1 naar 3). Neem aan dat $0 \leq i < n$. Hint: gebruik een Booleaans hulparray.

Uitwerking Opgave 3c van tentamen 16 maart 2017:

```
int hoever (int afstand[ ][n], int i) {
    int afst = 0, j;
    bool geweest[n];
    for ( j = 0; j < n; j++ )
        geweest[j] = false;
    while ( ! geweest[i] ) {
        geweest[i] = true;
        j = verste (afstand,i);
        afst += afstand[i][j];
        i = j;
    }//while
    return afst;
}//hoever
```



- werk aan de derde programmeeropgave — de deadline is op **maandag 13 november 2023**
bezoek daarom de werkcolleges en vragenuren
- volgende week: **pointers!**
- lees Savitch Hoofdstuk 5
- lees collegedictaat Hoofdstuk 3.8, 4.1 en 4.2
- maak opgaven 37/43 uit opgavendictaat
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/

Programmeermethoden

Pointers

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 10: 13–17 november 2023

www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/

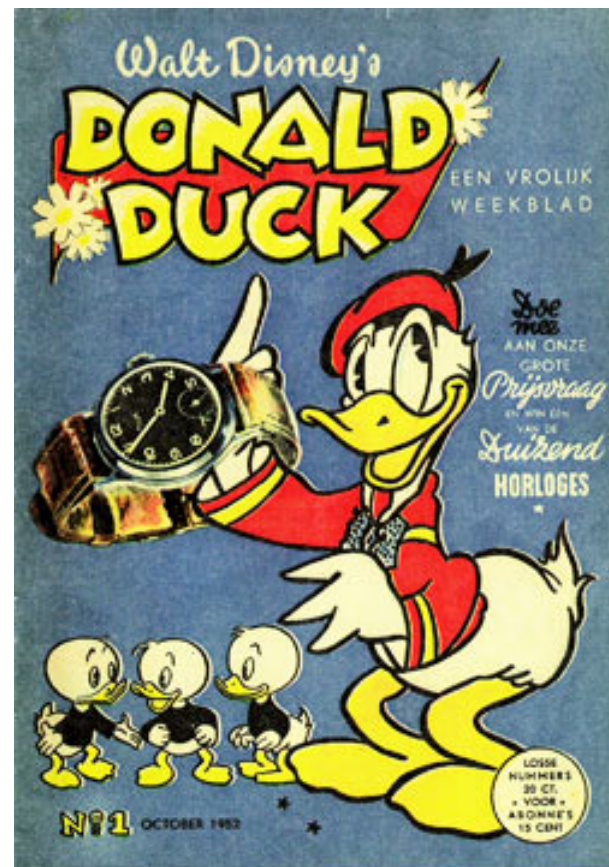
Een **pointer** is in feite gewoon een *geheugenadres*. Het geheugen kun je je voorstellen als een lineaire lijst met bytes.

Als p een pointer is naar een geheel getal i (gedefinieerd via `int * p = &i;`), is p het adres van i , en is i ook als $*p$ te benaderen:

$$i = 196; \quad \iff \quad *p = 196;$$

Met behulp van pointers kun je het geheugen **dynamisch** beheren, dat wil zeggen tijdens het runnen van het programma.

Stel je wilt jaargangen Donald Duck opbergen in een bibliotheek, in verschillende kasten, en maar één cataloguskaartje gebruiken.

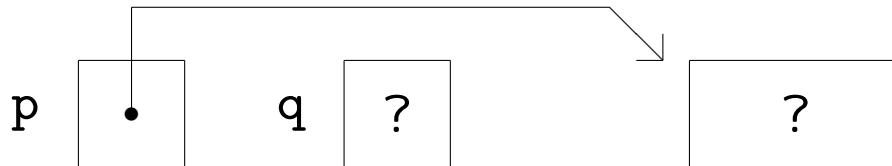


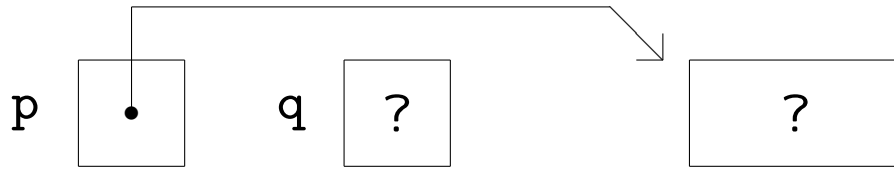
Oplossing: plak de plek van de eerstvolgende jaargang achterin de vorige. Dus achterin 2007 zit een sticker met “jaargang 2008 staat op plek . . .”, achterin 2022 staat “dit is de laatste”. En de eerste is 1952.

✘ `int * p; int * q;` — twee pointers naar `int`(eger)

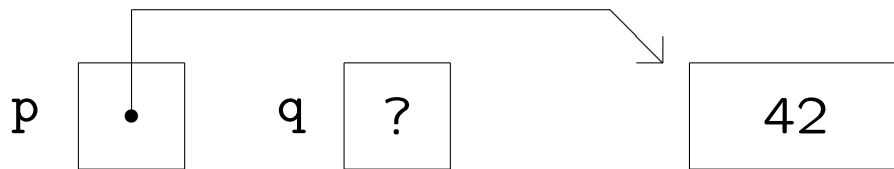


✘ `p = new int;` — maak nieuwe `int`
en stop diens adres in `p`

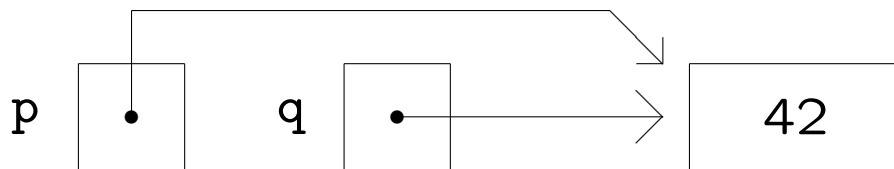


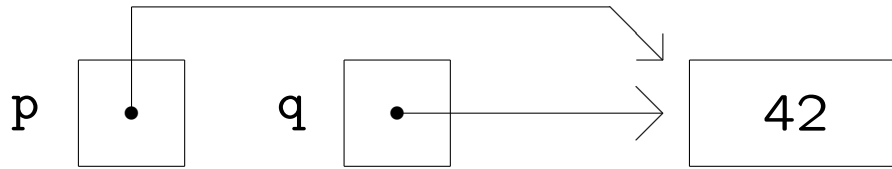


✘ `*p = 42;` — stop 42 in die int

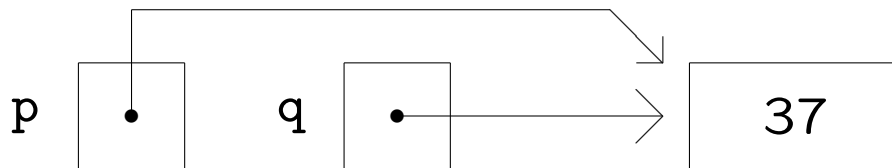


✘ `q = p;` — laat q diezelfde int aanwijzen

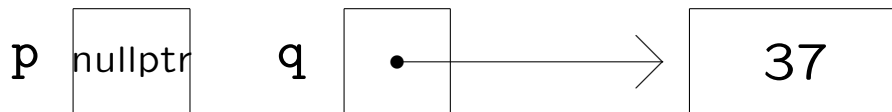


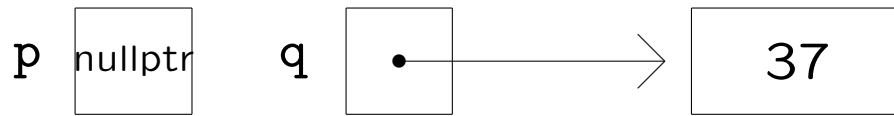


✘ `*q = 37;` — verander de int via q

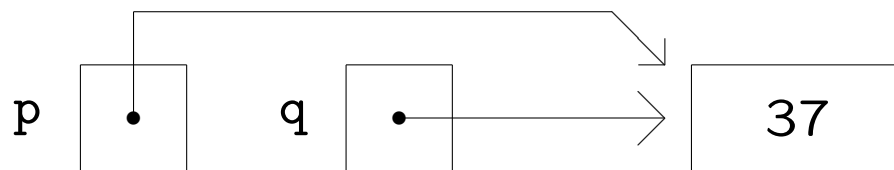


✘ `p = nullptr;` — laat p naar “niets” wijzen

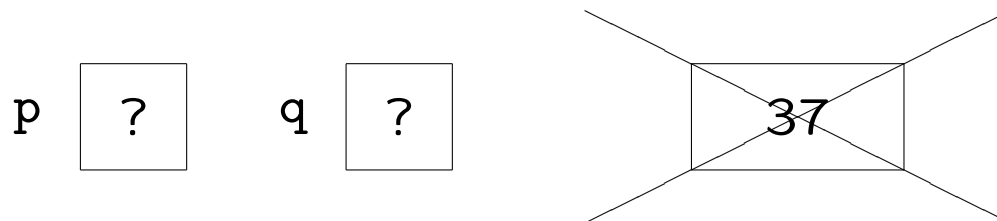




✘ `p = q;` — zet p weer “terug”



✘ `delete q;` — blaas (via q) de int op



Bij het **deleten** wordt de geheugenruimte weer vrijgegeven. Bij `delete q;` wordt niet `q` vrijgegeven, maar datgene waar `q` naar wijst!

Voorlopig bevat `*q` nog wel de oude waarde (37) maar op enig moment niet meer ...

Goed: `delete q; q = nullptr;`, want nu weet je zeker dat `q` naar “niets” wijst.

Sinds 2011 gebruiken we `nullptr` in plaats van `NULL` (dat is gewoon 0); doe zonodig `g++ -std=c++11 -Wall -Wextra ...`

Als je een pointer afloopt (“dereferencen”) moet je zeker weten dat deze niet de `nullptr` is!

Fout is zoiets als

```
q = new int; q = p;
```

Je maakt nu namelijk eerst een nieuwe `int`, laat `q` daarnaar wijzen, en verandert `q` dan. Het adres van die eerste `int` is nu “voor altijd” zoek, en die `int` verspilt ruimte!

Slecht is:

```
p = nullptr; delete p;
```

Een “`nullptr`” kun je niet deleten — als je het toch doet, gebeurt er niks.

```
int i;          // een integer
int* p;        // een pointer naar een integer
p = &i;        // p wijst i aan: p is nu het adres van i
i = 12;        // verandert i
*p = *p + 8;   // oftewel *p += 8;, verandert i opnieuw
int *q = &i;    // q wijst ook i aan; geen new's,
                // en zeker geen delete's!
```

Let op: `int* p, q;` betekent dat `p` een pointer naar een integer is, en `q` een integer; bij `int* p; int* q;` en ook bij `int *p, *q;` heb je twee pointers naar een integer.

En wat betekent `*p++`? Is dat `(*p)++` of `*(p++)`?

En met klassen erbij:

```
class wagon {  
    public:  
        int hoogte;  
        ...  
}; // wagon
```



```
wagon *p; // p is pointer naar (= adres van) een wagon
```

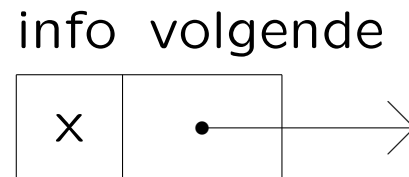
Nu kun je de hoogte van de door p aangewezen wagon *p (de member-variabele `hoogte`) benaderen via `(*p).hoogte`, maar ook via (nieuwe notatie) `p->hoogte`.

We maken nu een **enkelverbonden pointerlijst** bestaande uit vakjes:

```
class vakje {  
    public:  
        char info;  
        vakje* volgende;  
}; //vakje
```

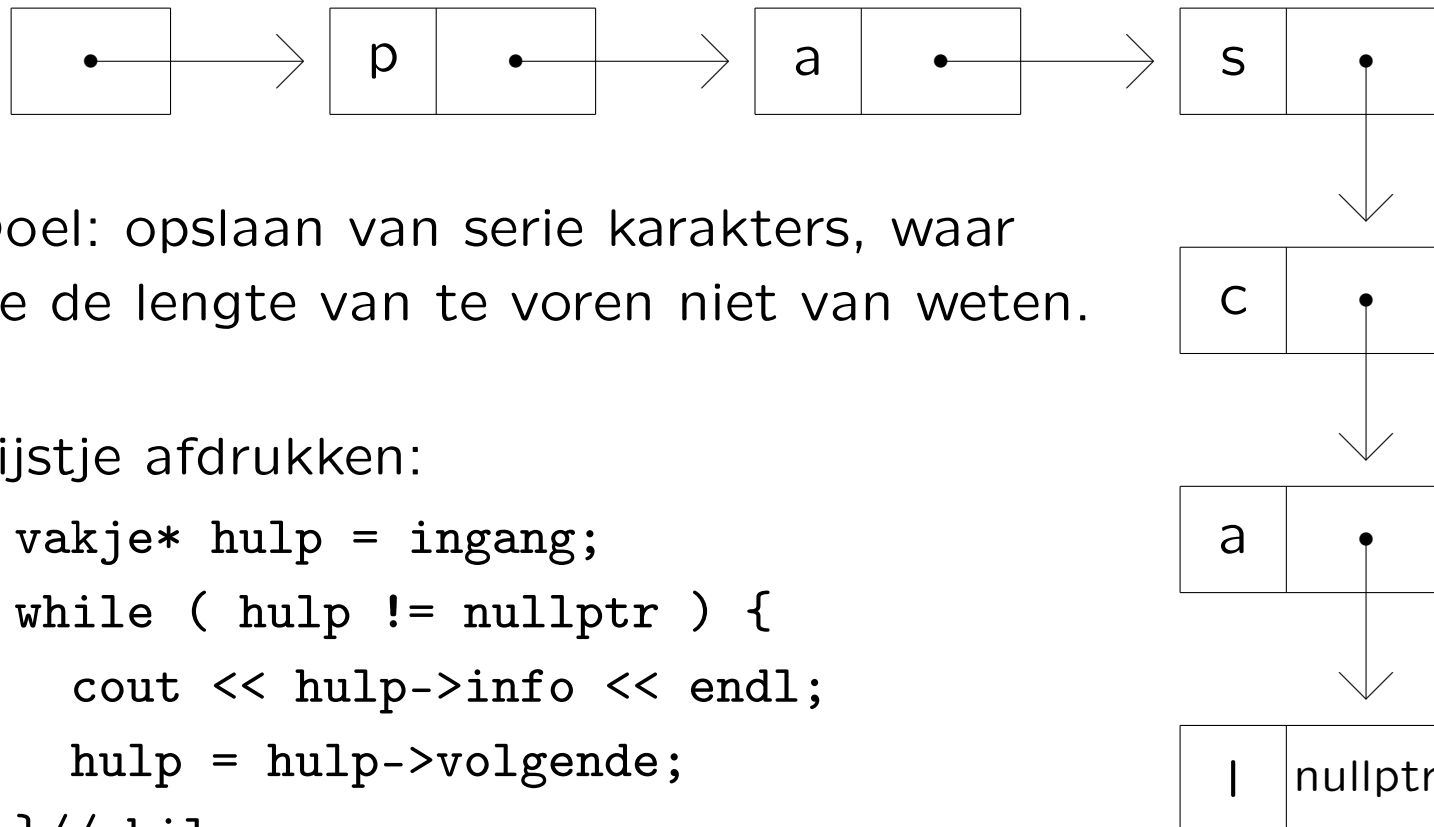
Vaak wordt hiervoor in plaats van `class` het iets eenvoudiger `struct` gebruikt.

Zo'n vakje ziet er uit als:



We willen bijvoorbeeld maken:

ingang



Doel: opslaan van serie karakters, waar we de lengte van te voren niet van weten.

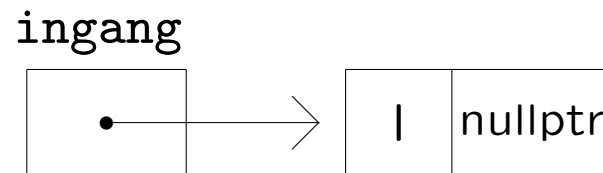
Lijstje afdrukken:

```
vakje* hulp = ingang;
while ( hulp != nullptr ) {
    cout << hulp->info << endl;
    hulp = hulp->volgende;
} //while
```

Hoe bouwen we zo'n lijst vanaf niets op?

```
vakje* ingang;  
ingang = new vakje;  
ingang->info = '1';  
ingang->volgende = nullptr;
```

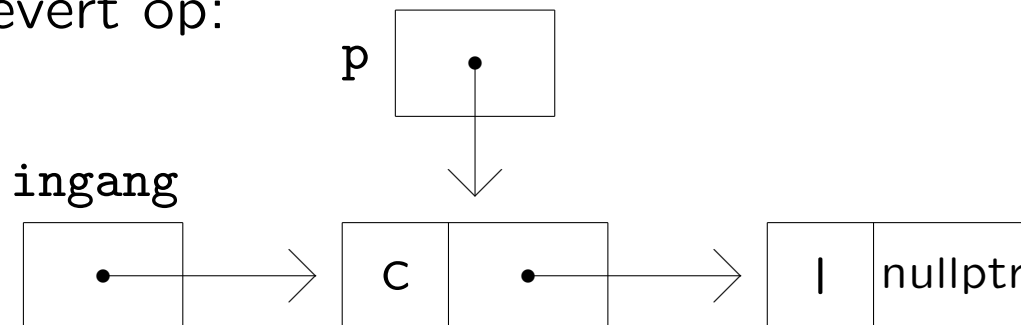
Dit levert op:



Hoe duwen we er nog een vakje voor?

```
vakje* p;  
p = new vakje;  
p->info = 'c';  
p->volgende = ingang;  
ingang = p;
```

Dit levert op:

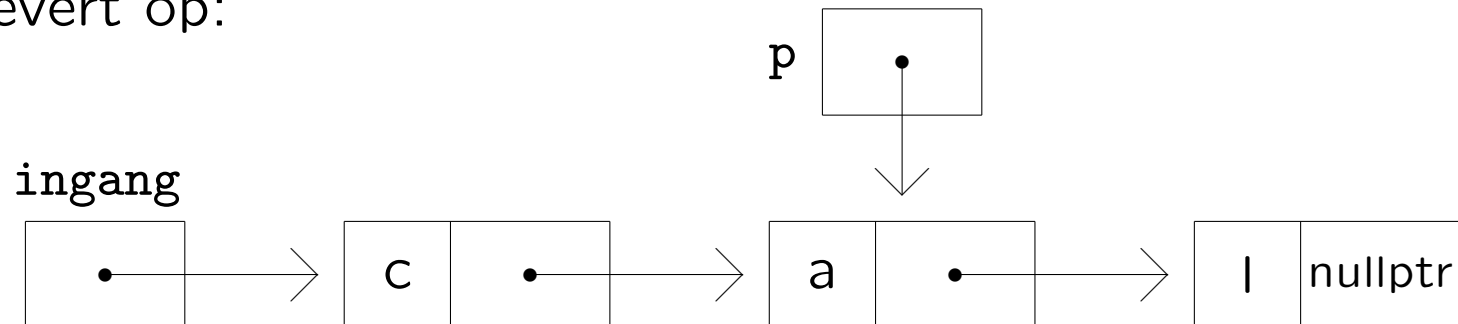


Let op: nu *niet* delete p; zeggen!

Hoe stoppen we er een vakje tussen?

```
vakje* p;  
p = new vakje;  
p->info = 'a';  
p->volgende = ingang->volgende;  
ingang->volgende = p;
```

Dit levert op:



Etcetera ...

Maar het kan uiteraard beter met een functie:

```
class vakje { public:
    char info;
    vakje* volgende;
};//vakje

void zetervoor (char letter, vakje* & ingang) {
    vakje* p; // let op de &
    p = new vakje;
    p->info = letter;
    p->volgende = ingang;
    ingang = p; // en nu NIET delete p;!
}//zetervoor

ingang = nullptr; // met vakje* ingang;
zetervoor ('l',ingang); zetervoor ('a',ingang);
zetervoor ('c',ingang); zetervoor ('s',ingang);
zetervoor ('a',ingang); zetervoor ('p',ingang);
```

's Avonds lijst bewaren (zonder pointers):

```
vakje* hulp;  
while ( ingang != nullptr ) {  
    uitvoer.put (ingang->info);  
    hulp = ingang;  
    ingang = ingang->volgende;  
    delete hulp;  
} //while
```



's Ochtends lijst weer opbouwen (met pointers):

```
ingang = nullptr; char letter = invoer.get ( );  
while ( ! invoer.eof ( ) ) {  
    zetervoor (letter,ingang);  
    letter = invoer.get ( );  
} //while
```

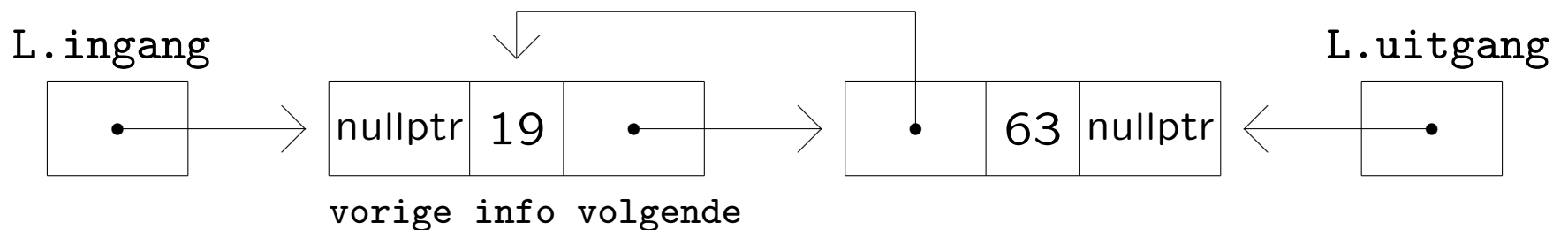
Helaas ... verkeerd om: nog eens wegschrijven en weer opbouwen, of zeterachter schrijven (laatste onthouden).

En voor een **dubbel-verbonden pointerlijst**:

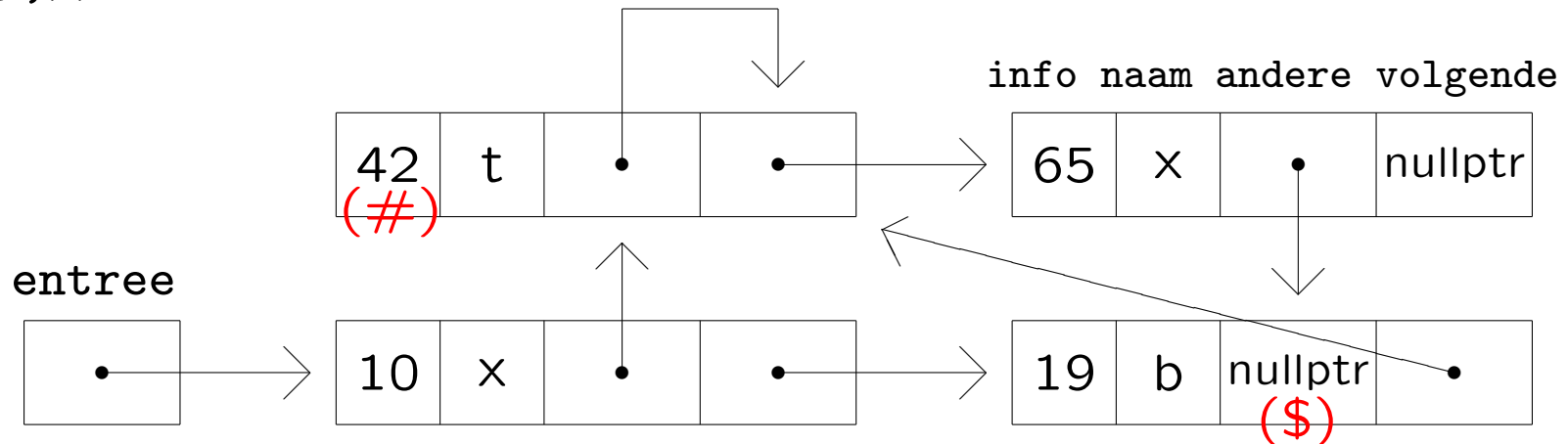
```
class element {
public:
    element* vorige;
    int info;
    element* volgende;
}; //element
```

```
lijst L;
```

```
class lijst {
private:
    element* ingang;
    element* uitgang;
public:
    void afdrukkenVA ( );
    ...
}; //lijst
```




```
class vanalles { public:
    int info; char naam;
    vanalles* volgende; vanalles* andere;
}; //vanalles
```



(\$) entree->volgende->andere

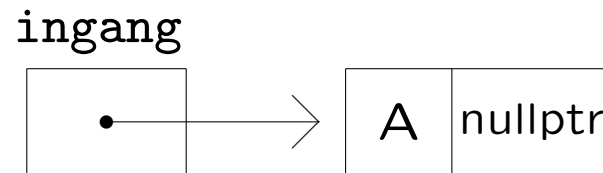
(#) entree->volgende->volgende->info Of entree->andere->info

Controle op geheugenlekkages: valgrind ./hetprogramma

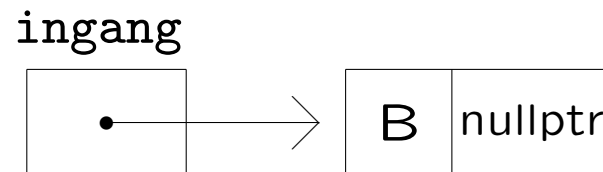
Bekijk de volgende functie:

```
void demo (char letter, vakje*  ingang) {  
    if ( ingang != nullptr ) ingang->info = letter;  
} //demo
```

We doen `ingang = nullptr; zetervoor ('A',ingang);`:



Daarna `demo ('B',ingang);` *met* en *zonder* `&` voor de parameter `ingang`. In beide gevallen krijgen we:



Maar nu de volgende functie:

```
void demoanders (vakje*   ingang) {  
    ingang = nullptr;  
} //demo
```

Met `&` zal de pointer `p` (als deze niet `nullptr` was) bij aanroep `demoanders (p)`; veranderen, zonder `&` niet.

NB Dat wat er al dan niet veranderen kan is de *pointer*. Dat waar de pointer naar wijst kan altijd veranderen!

Pointers en arrays hebben veel met elkaar te maken.

Stel dat we hebben `int A[10];` en `int * p;`. Dan kun je het volgende doen:

```
p = A; // p wijst A[0] aan
p++;  // p wijst A[1] aan
p++;  // p wijst A[2] aan
cout << A[2] << " is gelijk aan " << *p << endl;
```



Dus `p` loopt het array langs, en `p++;` gaat naar het volgende array-element, waarbij de grootte van (in dit geval) `int`, `sizeof (int)` dus, gebruikt wordt als “stapgrootte”.

```
class vakje { public:
    char info; vakje* volgende; };//vakje

// Vindt eerste vakje met letter erin (uit lijst met
// ingang), als zo'n vakje bestaat; anders nullptr
vakje* vind (char letter, vakje* ingang) {
    vakje* hulp = ingang; // NIET eerst hulp = new vakje;
    while ( hulp != nullptr )
        if ( letter == hulp->info )
            return hulp; // of met bool gevonden ...
        else
            hulp = hulp->volgende;
    return nullptr; // en geen delete's!
}//vind
```

```
// Vindt eerste vakje met letter erin (uit lijst met
// ingang), als zo'n vakje bestaat; anders nullptr
// nu recursief
vakje* vindrecursief (char letter, vakje* ingang) {
    if ( ingang == nullptr )
        return nullptr;
    else if ( ingang->info == letter )
        return ingang;
    else // komt letter voor in rest van de lijst?
        return vindrecursief (letter, ingang->volgende);
} //vindrecursief
```

Let op: de functie retourneert een pointer!

Wat gebeurt er met en zonder &?

```
void tjatja (int* & r, int* & s) {
    r = new int; *r = 1;
    *s = 96;
} //tjatja
int main ( ) {
    int* p; int* q;
    p = new int; *p = 3;
    q = new int; *q = 4;
    cout << *p << *q << endl;
    tjatja (p,q);
    cout << *p << *q << endl;
    return 0;
} //main
```

Met &: 3 4 1 96

Zonder &: 3 4 3(!) 96

In C, dat alleen call by value heeft, moet je wissel als volgt schrijven (zie later):

```
void wissel (int *a, int *b) {  
    int hulp = *a; // *a is de int waar a naar wijst  
    *a = *b;  
    *b = hulp;  
} // wissel
```

Voorbeeldaanroep, waarbij &a het adres van a betekent:

```
a = 8; k = 2; wissel (&a, &k);
```

NB De functie mag weer `wissel` heten, omdat de types van de parameters anders zijn; dit fenomeen heet **overloading**.

Merk op dat `a = b; b = a;` niet werkt! Blijkbaar heb je een hulpvariabele nodig.

Of toch niet:

```
void wisseltruc (int & a, int & b) {  
    a = a + b; // a = a_oud + b_oud  
    b = a - b; // b = a_oud  
    a = a - b; // a = b_oud  
} // wisseltruc
```

De aanroep `wisseltruc (x,x)` maakt helaas `x` gelijk aan 0. En werkt niet voor bijvoorbeeld strings. En deze getrukte functie mag overigens geen `wissel` heten.

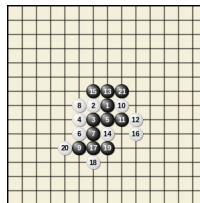


Programmeermethoden 2023
Vierde programmeeropgave: Gomoku

De vierde programmeeropgave van het vak Programmeermethoden in het najaar van 2023 heet Gomoku; zie ook het [elfde werkcollege](#), en lees geregeld deze pagina op WWW.

De opgave

Voor deze programmeeropgave gaan we het spel Gomoku programmeren, dat verdacht veel lijkt op het bekende Vier-op-een-rij. Het is de bedoeling een klasse gobord te maken, die onder meer memberfuncties heeft als drukaf, menzset en randomzet. Uiteraard heeft deze klasse ook een constructor en een destructor. Verder moeten gedane menselijke zetten met behulp van een stapel ongedaan gemaakt kunnen worden, kan het aantal vervolgpactijen worden uitgerekend, en kunnen wat statistieken worden gegenereerd.



De mogelijkheid bestaat om gebruik te maken van een aantal voorbeeldfiles, van waaruit de opgave stap voor stap kan worden gedaan. Je kunt ook je eigen files met andere functies maken, maar gesplitst moet er worden; niet-gebruik van onderstaand viertal heeft geen invloed op het cijfer. De files zijn allereerst (zie verderop voor gebruik met Code::Blocks, op eigen risico):

- File met main: `hoofd.cc`.
- Headerfile met klassen: `gobord.h`.
- Bijbehorende C++-file: `gobord.cc`.
- En de bijpassende `makefile` (let op de TABs).

Het wellicht meer bekende spel Vier-op-een-rij gaat als volgt. Op een 6 bij 7 bord wordt gespeeld met witte en zwarte schijfjes. Om de beurt leggen de spelers —wit W en zwart Z geheten— een schijfje met hun eigen kleur op een nog leeg vakje, en wel op het *onderste* lege veld uit een kolom naar keuze. Als een kolom vol is, kan hierin niet meer een schijfje gelegd worden. Zwart mag altijd beginnen. Het spel is afgelopen als het bord vol is, of als één der spelers gewonnen heeft. Een speler wint als er minstens vier stenen van diens kleur direct horizontaal naast elkaar staan, of verticaal, of diagonaal. Bij Gomoku mag de speler die aan de beurt is diens schijf steeds op een *willekeurige* lege plaats neerleggen, dus niet noodzakelijk onderin een kolom. En *vijf* (of meer) naast elkaar, in plaats van vier, is winnend.

We spelen het spel als volgt. Allereerst mag gekozen worden of de eerste speler een mens of computer is, en idem voor de tweede speler. De "computer" zet volledig willekeurig (gebruik `rand ()` uit `<cstdlib>`; denk aan `srand ()`). (Liefhebbers mogen hier natuurlijk hun eigen creativiteit inzetten, door bijvoorbeeld in de buurt van eerdere stenen te zetten, of door (dreigen) te winnen als dat kan.) Daarna mag de grootte van het bord gekozen worden: het aantal rijen m en het aantal kolommen n , en met hoeveel h op een rij er gewonnen wordt. Boter-kaas-en-eieren heeft $m = n = h = 3$. En tot slot moet er gekozen worden hoeveel spelletjes er gespeeld worden als de computer tegen zichzelf speelt. In dat geval moet er een eenvoudige statistiek worden afgedrukt, bijvoorbeeld hoe vaak de beide spelers gewonnen hebben of remise behaalden, en hoeveel spelletjes er $0, 1, 2, \dots$ zetten duurden.

Als een speler aan zet is, en er precies één spelletje gespeeld moet worden, wordt de stand, oftewel de bordpositie, —in eenvoudig formaat— op het scherm getoond, en kan de menselijke speler zijn/haar zet doen (eventueel met schaakbordnotatie), of juist de laatste eigen zet (en meteen de tussenliggende zet van de tegenstander) terugnemen, of het aantal mogelijke vervolgpactijen voor de huidige stand laten uitrekenen. Als er een reeds bezette plek wordt geselecteerd, moet de speler natuurlijk opnieuw kiezen. Computerzetten worden steeds direct gedaan. En er is uiteraard een functie die bepaalt of het spel is afgelopen, en of er dan iemand (wie?) gewonnen heeft. Het aantal gedane zetten wordt ook steeds getoond. Houd dit, na ieder spel, in

een array bij, zodat na afloop eenvoudig kan worden geprint hoeveel spelletjes z zetten duurden ($z = 0, 1, \dots, m*n$), zie onder.

Schrijf een constructor voor de klasse `gobord` die een *pointerstructuur* aanlegt, waarbij ieder vakje, naast bijvoorbeeld een char als inhoud, tevens een array met 8 pointers naar de onmiddellijke burens heeft: middenboven (0), rechtsboven (1), rechts (2), rechtsonder (3), middenonder (4), links (5), linksboven (6) en linksbeneden (7). De vakjes aan de randen bevatten uiteraard diverse null-pointer pointers. Het bord is dus *niet* een m bij n array, maar een zeer ingewikkelde pointerstructuur.

Alle zetten moeten op een *stapel* worden bijgehouden, en menselijke zetten kunnen daarmee teruggenomen worden. Zodra een speler zet, wordt de zet, bestaande uit een tweetal gehele getallen, opgeslagen. Verder dient er een *recursieve* memberfunctie `vervolg` geschreven te worden die gegeven een zekere stand (bordpositie) het totale aantal mogelijke *vervolgpactijen*, dat overigens erg groot kan zijn, uitrekent. Hiervoor moeten *alle* mogelijke zetten van beide spelers doorgerekend worden. Ook dit onderdeel is zeker niet eenvoudig; mocht het ontbreken, dan kost dat een halve punt. Tip: controleer het antwoord door het te vergelijken met Boter-kaas-en-eieren, vanuit de beginpositie: 255168. Als je hier 5-op-een-rij speelt, is het antwoord $9! = 362880$. Algemeen: als er nog v plekken over zijn, zijn er maximaal $v!$ vervolgpactijen.

Het is de bedoeling om een vijftal files te produceren: de eerste bevat `main` en het menuutje, de tweede (zeg `gobord.h`, zie boven) bevat de klasse-definitie voor `gobord`, en de derde (zeg `gobord.cc`, zie boven) bevat de functies uit die klasse. Evenzo zijn er files `stapel.h` en `stapel.cc`. Maak ook een `makefile`. Code::Blocks-gebruikers: doe deze opgave liever op een Linux-machine. Maar het kan wel: open een nieuw project via "File -- New project -- Empty project", vul wat in, en voeg de drie files toe via "Project -- Add files", en daarna het project compileren op de gebruikelijke manier. Of, op eigen risico, lees [over projecten](#).

Opmerkingen

Gebruik geschikte (member)functies. Bij deze opgave mogen wederom bij elke functie (zelfs `main`) tussen begin- en eind- *hooguit circa 30* niet al te volle regels staan! Elke functie dient van commentaar voorzien te zijn. Let op goed parametergebruik: alle parameters, met uitzondering van membervariabelen, in de heading doorgeven, en de variabele-declaraties zowel bij `main` als bij de andere functies aan het begin. De enige te gebruiken headerfiles zijn in principe `iostream` en `cstdlib`. Zeer ruwe indicatie voor de lengte van de gezamenlijke C++-files: 500 tot 600 regels. Denk aan het infoblokje.

Uiterste inleverdatum: **maandag 11 december 2023, 18:00 uur.**

Manier van inleveren:

1. Digitaal de C++-code inleveren via Brightspace > Course Tools > Assignments. Stuur geen executable's, LaTeX-files of PDF-files, lever alleen de C++-files en de `makefile` digitaal in!
2. En ook een papieren versie van het verslag (inclusief de C++-code en de `makefile`) deponeren in de speciaal daarvoor bestemde doos "Programmeermethoden" bij kamer 159 van het Snellius-gebouw. Overal duidelijk datum en namen van de (maximaal twee) makers vermelden, in het bijzonder als commentaar in de eerste regels van de C++-code.

Het *verslag* (uiteraard weer in LaTeX, zie de eerdere opgaven) moet het volgende bevatten: een zeer korte beschrijving van het programma, een beschrijving van punten waarop het programma faalt (indien van toepassing), en een tabel met gewerkte uren, uitgesplitst per week en per persoon. En een referentie betreffende Gomoku. En een grafiek (zie het [bijbehorende werkcollege](#) voor tips) waarin staat hoe lang het duurt voor de random speler, spelend tegen zichzelf, wint — op bord en op verschillende grootte. Te gebruiken compiler: als hij maar C++ vertaalt; het programma moet in principe zowel op een Linux-machine (met `g++`) als onder Visual C++ of Code::Blocks draaien. Test dus in principe op beide systemen! Het programma wordt doorgaans nagekeken met behulp van de compiler die (uiteraard) in het commentaar bovenin het programma vermeld staat. Normering: layout 1; experiment 1; verslag 1; commentaar 1; modulariteit (OOP, functies) 2; werking 4. Eventuele aanvullingen en verbeteringen: lees deze WWW-bladzijde: www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterwa/pm/op4pm.php.

Gomoku programmeren we als volgt:

- week 1 (“10”): pointerpracticum, opgave lezen
- week 2 (“11”): klassen, pointerbord, meerdere files, ruw spelen
- week 3 (“12”): spel helemaal in orde maken, stapel
- week 4 (“13”): (vervolgpartijen), experiment (gnuplot), verslag

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op4pm.php

- lees de vierde programmeeropgave, denk na over de klassen; de deadline is op **maandag 11 december 2023**
- lees Savitch Hoofdstuk 10
- lees dictaat Hoofdstuk 3.12
- maak opgaven 44/46, 52/56 uit het opgavendictaat
- doe het pointerpracticum: [werkcollege 10](#) !
- www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/

Programmeermethoden

Recurisie

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 11: 20–24 november 2023

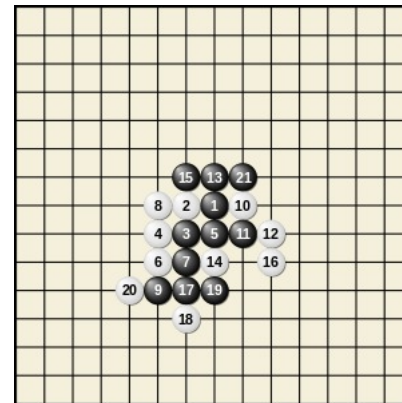
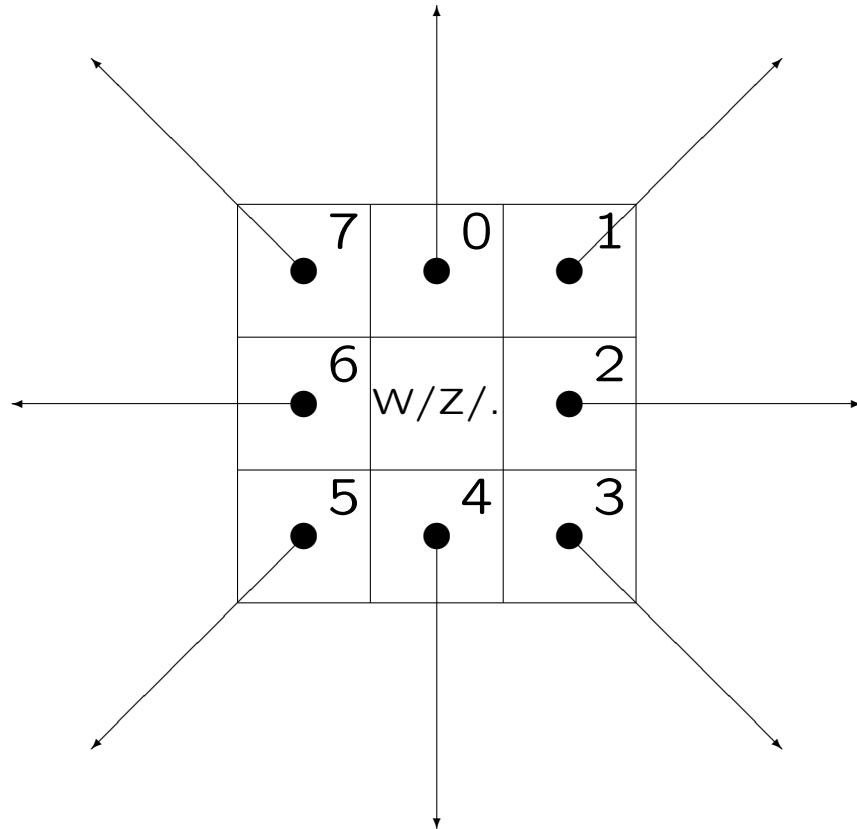
www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/



Gomoku programmeren we als volgt:

- week 1 (“10”): pointerpracticum, opgave lezen
- week 2 (“11”): klassen, pointerbord, meerdere files, ruw spelen
- week 3 (“12”): spel helemaal in orde maken, stapel
- week 4 (“13”): (vervolgpartijen), experiment (gnuplot), verslag

www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op4pm.php



Als je C++-code over meerdere files verdeelt, helpt een **makefile** bij het compileren (aanroep: make). Stel je hebt:

file gobord.h

```
class gobord {
    ...
    void print ( );
}; //gobord
```

file gobord.cc

```
#include <iostream>
#include "gobord.h"
// implementatie van
// prototypes uit
// gobord.h
void gobord::print ( ) {
    ...
} //gobord::print
```

file hoofd.cc

```
#include <iostream>
#include "gobord.h"
...
int main ( ) {
    gobord X;
    X.print ( );
    ...
} //main
```

De makefile ziet er dan bijvoorbeeld uit als (let op tabs!):

```
all: gobord.o hoofd.o
```

```
←TAB→g++ -Wall -Wextra -o gomokuspelen gobord.o hoofd.o
```

```
gobord.o: gobord.cc gobord.h
```

```
←TAB→g++ -Wall -Wextra -c gobord.cc
```

```
hoofd.o: hoofd.cc gobord.h
```

```
←TAB→g++ -Wall -Wextra -c hoofd.cc
```

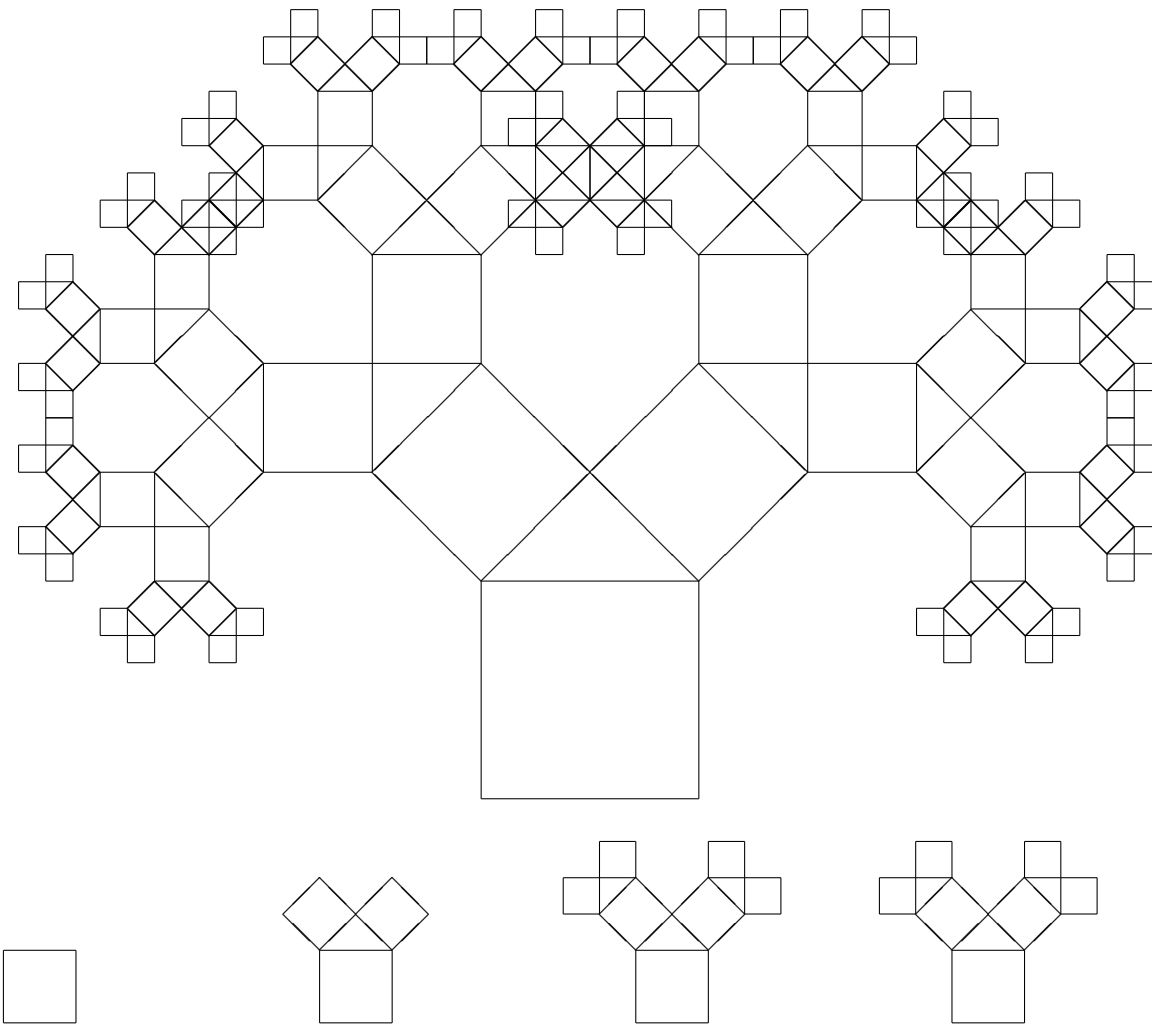
in Code::Blocks via
projecten, zie [video](#)


```
// file gobord.h
class bordvakje {
    public:  bordvakje* buren[8];
            char info; // ... TODO
}; //bordvakje
```

```
class gobord {
    private: bordvakje* ingang;
    public:  void print ( );
            // ... TODO
}; //gobord
```

```
// file gobord.cc
void gobord::print ( ) { ... }
```





Boom van Pythagoras

Basisidee:

proces is **recursief** als het naar zichzelf verwijst

functie is **recursief** als deze zichzelf (in)direct aanroept

Voorbeeld (“inductie”), met $S[1] = 1$ (of $S[0] = 0$):

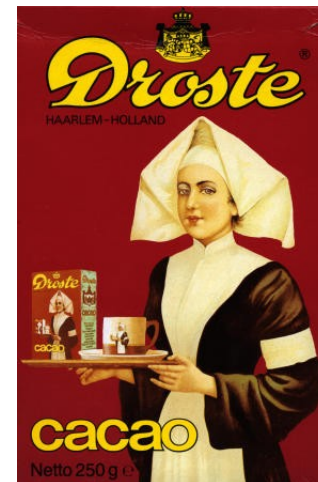
$$S(n) = \sum_{i=1}^n i^{42} = \sum_{i=1}^{n-1} i^{42} + n^{42} = S(n - 1) + n^{42}$$

Woordenboek:

Recursie: zie Recursie

Fiets: zie Rijwiel

Rijwiel: zie Fiets



Een **recursief/ve** proces/procedure/functie bestaat in het algemeen uit twee delen:

1. één of meer **klein(st)e** (eenvoudig(st)e) gevallen die **direct oplosbaar** zijn: de **basisgevallen**
2. een algemene methode die een bepaald geval **reduceert** tot één of meer **kleinere** (eenvoudiger) gevallen, waarbij men uiteindelijk op een basisgeval uitkomt

Algemene gedaante van een recursieve functie:

if **basisgeval** **then**

 los op zonder recursie; // makkelijk

else

 één of meer **recursieve** eenvoudigere **aanroepen**;

fi

Let op de symbolische notatie in **pseudo-code**.

Probleem:

Betaal(X) = Betaal het bedrag X

Oplossing:

Betaal(0) = Doe niets

Betaal(X) = Geef de grootste munt $Y \leq X$

Betaal daarna(?) de rest Betaal($X - Y$)

Vraag:

Wat kan er nog fout gaan? betaal 30 met 25/10 (vóór 2002)

Recursieve definitie van n -faculteit ($n!$):

$$\text{fac}(n) = \begin{cases} 1 & \text{als } n = 0 \\ n \times \text{fac}(n - 1) & \text{als } n > 0 \end{cases}$$

Recursieve C++-functie ($n \geq 0$):

```
long faculteit (int n) {  
    if ( n == 0 ) // basisgeval  
        return 1;  
    else  
        return n * faculteit (n-1); // recursie  
} // faculteit
```

Een functie mag zichzelf (in)direct aanroepen: **recurisie**.

```
int som (int n) { // berekent 1 + 2 + ... + n    versie 1
    int i, res = 0;
    for ( i = 1; i <= n; i++ ) res += i;
    return res;
} //som
```

```
int somrecursief (int n) { // idem, recursief    versie 2
    if ( n == 0 ) return 0;
    else return n + somrecursief (n-1);
} //somrecursief
```

```
int somslimGauss (int n) { // en nog eens ...    versie 3
    return ( n * ( n + 1 ) ) / 2;
} //somslim
```


De ggd kan ook recursief berekend worden:

```
int ggdrecursief (int x, int y) {  
    if ( y == 0 ) return x;  
    else return ggdrecursief (y,x % y);  
}//ggdrecursief
```

Je gebruikt eigenlijk:

$$\text{ggd}(x, y) = \begin{cases} x & \text{als } y = 0 \\ \text{ggd}(y, x \bmod y) & \text{als } y \neq 0 \end{cases}$$

Definitie **Fibonacci-getallen**:

$$\text{fib}(n) = \begin{cases} 1 & \text{als } n = 0 \text{ of } n = 1 \\ \text{fib}(n - 1) + \text{fib}(n - 2) & \text{als } n > 1 \end{cases}$$

Alternatief: $\text{fib}(1) = \text{fib}(2) = 1$.

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610,
987, 1597, 2584, 4181, 6765, 10946, ...



Recursieve C++-functie:

```
long fib1 (int n) {  
    if ( ( n == 0 ) || ( n == 1 ) )  
        return 1;  
    else  
        return ( fib1 (n-1) + fib1 (n-2) );  
} //fib1
```

Er is hier sprake van een **watervaleffect**:
de aanroep `fib1 (5)` veroorzaakt
14 andere (dubbele) aanroepen.



```
const int MAX = 100;
long memo[MAX]; // globaal, initialiseer met 0-en!
// recursie met array
long fib2 (int n) {
    if ( n >= MAX ) // helaas
        return fib2 (n-1) + fib2 (n-2);
    else
        if ( memo[n] > 0 ) // al eerder berekend
            return memo[n];
        else {
            if ( ( n == 0 ) || ( n == 1 ) )
                memo[n] = 1;
            else
                memo[n] = fib2 (n-1) + fib2 (n-2);
            return memo[n];
        } //else
} //fib2
```

Iteratief: opsommen tot je bij $\text{fib}(n)$ bent:

```
long fib3 (int n) {
    long eerste = 1, tweede = 1, hulp;
    int teller;
    for ( teller = 2; teller <= n; teller++ ) {
        // nu geldt: eerste == fib (teller-2) en
        // tweede == fib (teller-1) ("invariant")
        hulp = tweede;
        tweede = eerste + tweede;
        eerste = hulp;
    }//for
    return tweede;
}//fib3
```

Deze versie is erg geschikt voor “grote getallen”.

Gesloten formule (nauwelijks te berekenen!):

$$\text{fib}(n) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\left(\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} \right)$$



klein in absolute waarde

Met matrices:

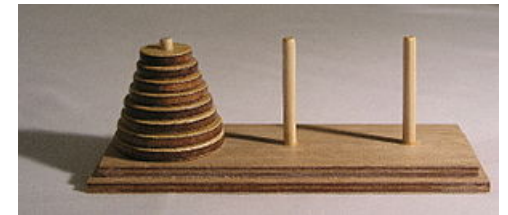
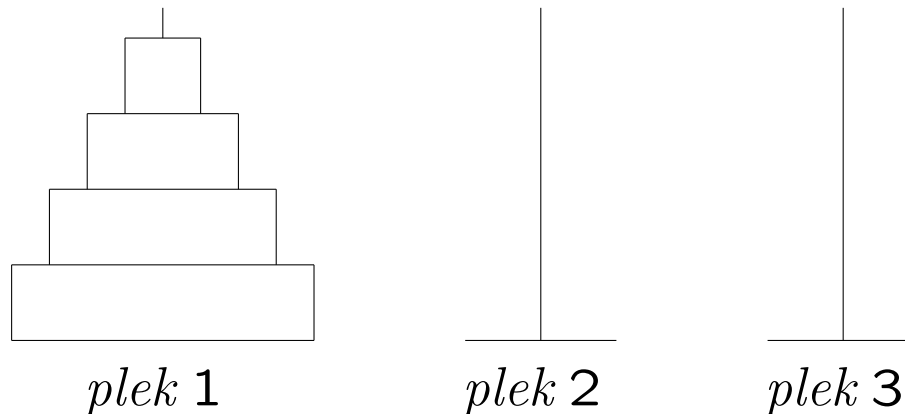
$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^n = \begin{pmatrix} \text{fib}(n) & \text{fib}(n-1) \\ \text{fib}(n-1) & \text{fib}(n-2) \end{pmatrix}$$

Gegeven: n ($n \geq 1$) schijven met gat in het midden, alle verschillend in grootte, en 3 palen = plekken

Beginsituatie: alle schijven liggen boven op elkaar om één paal, en de andere 2 palen zijn leeg

Restrictie: een grotere schijf ligt nooit op een kleinere

Voorbeeld: beginsituatie voor $n = 4$

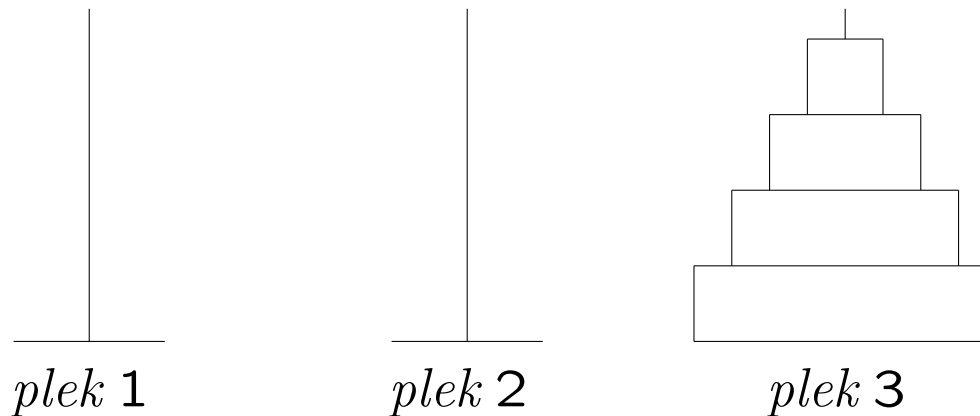


Doel: breng de hele toren naar een van de lege palen

Acties: per keer mag je één schijf verplaatsen (de bovenste van een stapel), en deze bovenop een andere stapel leggen

Restrictie: er mogen alleen kleinere schijven op grotere worden gelegd

Voorbeeld: eindsituatie voor $n = 4$



Oplossing:

n schijven zo efficiënt mogelijk van start naar doel verplaatsen (via hulp) =

eerst de bovenste $n - 1$ schijven zo efficiënt mogelijk van start naar hulp verplaatsen (via doel),

dan de grote schijf van start naar doel,

en tenslotte de $n - 1$ schijven zo efficiënt mogelijk van hulp naar doel verplaatsen (via start)

Dat is recursie! Wat is het basisgeval?

Algoritme:

```
// Torens van Hanoi: recursief
// zet toren van n stuks (optimaal) van a naar b via c
// print de zetten
void zet (int n, int a, int b, int c) {
    if ( n > 0 ) {
        zet (n-1,a,c,b);
        cout << "Zet van " << a << " naar " << b << endl;
        zet (n-1,c,b,a);
    }//if
}//zet
```

Het aantal zetten is in totaal $2^n - 1$.

Aanroep: `zet (aantal,1,3,2);`, waarbij `aantal` het gewenste aantal schijven is. Basisgeval: “niets doen”.

Probleem: Zoek een waarde in een *oplopend gesorteerd* array A met n elementen

Oplossing: **binair zoeken** $\overbrace{13 \ \underline{\underline{22}} \ \underline{\underline{37}} \ 42} \quad \overbrace{58 \ 69 \ 71}$

- Kijk of het middelste (\dagger) element het gezochte is.
- Stop indien het element gevonden is, of als het te onderzoeken array leeg is.
- Anders: bepaal op grond van vergelijken met dat middelste element of verder (recursie!) gezocht moet worden in de linker helft óf in de rechter helft van het array en herhaal dit.

(\dagger) Als het aantal elementen even is: kies één van de twee middelste.

```
// Geeft index met A[index] = getal, als getal voorkomt;
// zo niet: resultaat wordt -1.

int binairzoeken (int A[ ], int n, int getal) {
    int links = 0, rechts = n-1; // zoek tussen links en rechts
    int midden;

    while ( links <= rechts ) {
        midden = ( links + rechts ) / 2;
        // beter(!): midden = links + ( rechts - links ) / 2;
        if ( getal == A[midden] )
            return midden; // of gevonden = true etc.
        else if ( getal > A[midden] )
            links = midden + 1;
        else
            rechts = midden - 1;
    }//while

    return -1;
}//binairzoeken
```

Binair zoeken: recursief

```
int binairzoeken (int A[ ], int n, int links, int rechts, int getal) {
    int midden;
    if ( links > rechts )           // basisgeval: leeg interval
        return -1;                 // dus stop; niet aanwezig
    else {                          // nu echt zoeken
        midden = ( links + rechts ) / 2;
        if ( getal == A[midden] )   // gevonden!
            return midden;
        else                        // verder zoeken: recursieve aanroepen
            if ( getal > A[midden] ) // rechts hetzelfde doen
                return binairzoeken (A,n,midden+1,rechts,getal);
            else                    // links hetzelfde doen
                return binairzoeken (A,n,links,midden-1,getal);
    } //else echt zoeken
} //binairzoeken
```

Aanroep: iets = binairzoeken (A,n,0,n-1,getal);

```
sorteer (rij) =  
  if ( rij heeft meer dan 1 element ) then  
    verdeel rij in linkerrij en rechterrij;  
    sorteer (linkerrij);  
    sorteer (rechterrij);  
    combineer (linkerrij, rechterrij);  
fi
```

↓ (zie elders)

Mergesort: $O(n \lg n)$

Quicksort: $O(n \lg n)$

Insertion sort: $O(n^2)$

n = aantal elementen van de rij; $\lg n = {}^2\log n = \log_2 n$

```
void print1 (int a) { // call by value
    if ( a > 0 ) {
        a--;
        print1 (a);
        cout << a << ", ";

    }//if
} //print1
```

geen tentamenstof



Nu doen we:

```
getal = 3; print1 (getal); cout << getal << endl;
```

Dat levert: 0, 1, 2, 3

```
void print2 (int & a) { // call by reference
    if ( a > 0 ) {
        a--;
        print2 (a);
        cout << a << ", ";
    } //if
} //print2
```

Nu doen we:

```
getal = 3; print2 (getal); cout << getal << endl;
```

Dat levert: 0, 0, 0, 0


```
void print3 (int & a) { // call by reference
    if ( a > 0 ) {
        a--;
        print3 (a);
        cout << a << ", ";
        a++; // en a weer terugzetten
    } //if
} //print3
```

Nu doen we:

```
getal = 3; print3 (getal); cout << getal << endl;
```

Dat levert: 0, 1, 2, 3

Recursie wordt ook vaak gebruikt bij het programmeren van spellen als Schaken, Go en Boter, kaas en eieren.

We willen het **aantal vervolgpactijen** $S.Aantal ()$ weten vanuit een gegeven stand (= positie) S :

```
S.Aantal ( ) ::  
  Teller ← 0;  
  if  $S$  is eindstand then  
    return 1;  
  fi  
  for alle mogelijke zetten  $z$  do  
    S.DoeZet (z);  
    Teller ← Teller + S.Aantal ( );  
    S.OntDoeZet (z);  
  od  
  return Teller;
```

Bij deze oplossing is ervoor gekozen de Stand S niet “kapot” te maken, vandaar de aanroep $OntDoeZet(z)$. Gebruik makend van de eigenschap dat recursieve aanroepen S niet verstoren, doet de buitenste aanroep dat nu ook niet.

Je kunt ook, voor iedere z opnieuw, de zet doen in een kopie van S , zodat je S nooit vernielt.

Overigens: er zijn 255.168 verschillende *partijen* Boter, kaas en eieren. En je hebt dan meteen het hele spel doorgerekend (zie later).

Opgave 1 van het tentamen van 6 januari 2020:

In het array `int A[n]` staan n (een `const int` ≥ 3) verschillende gehele getallen.

- a.** (6) Schrijf een Booleaanse C++-functie `gem (A,n)` die `true` geeft als er precies één array-element in `A` is (niet eerste of laatste) dat *exact* het gemiddelde is van zijn beide directe burens, en anders `false`. Dus `true` voor array 10 8 6 1, en `false` voor 2 5 9.
- b.** (7) Schrijf een C++-functie `int stijg (A,b,n)` die de lengte van een langste stijgende aaneengesloten deelrij van `A` geeft, en diens begin-index in `b` oplevert. Als er meerdere deelrijen het langste zijn: de kleinste `b`. Dus array 2 7 4 5 6 1 3 8 geeft 3, met `b = 2` (deelrij 4 5 6, even lang als 1 3 8).
- c.** (4) We nemen in dit onderdeel aan dat `A` uit precies twee stijgende aaneengesloten deelrijen bestaat. Schrijf een C++-functie `int k1 (A,n)` die het kleinste element van `A` oplevert, door de functie van **b** te gebruiken, en dan de twee kandidaten te vergelijken.
- d.** (4) Schrijf een C++-functie `bu (A,n)` die `A` *aflopend* sorteert met *bubblesort*. De functie moet stoppen als er tijdens een doorgang/ronde geen verwisselingen waren.
- e.** (4) Hoeveel vergelijkingen tussen array-elementen doet de functie van **d** minimaal en maximaal, uitgedrukt in n ? En wanneer gebeurt dat?

- ```

a. bool gem (int A[], int n) {
 int i, tel = 0;
 for (i = 1; i < n-1; i++)
 if (A[i-1] + A[i+1] == 2 * A[i]) tel++;
 return (tel == 1);
} //gem

b. int stijg (int A[], int & b, int n) {
 int i, langste = 1, lang = 1, begin = 0; b = 0;
 for (i = 1; i < n; i++)
 if (A[i] > A[i-1]) {
 lang++; if (lang > langste) { langste = lang; b = begin; }
 } //if
 else { begin = i; lang = 1; } //else
 return langste;
} //stijg

c. int kl (int A[],int n) {
 int b, s; s = stijg (A,b,n); if (b == 0) b = s;
 if (A[0] < A[b]) return A[0]; else return A[b];
} //kl

d. void bu (int A[], int n) {
 int i, j = 0, tmp; bool wissel = true;
 while (wissel) {
 wissel = false; j++;
 for (i = 0; i < n-j; i++) // of i < n-1 (*)
 if (A[i] < A[i+1]) { // aflopend sorteren
 tmp = A[i]; A[i] = A[i+1]; A[i+1] = tmp; wissel = true; } //if&while
 } //bu

e. Al aflopend gesorteerd: n-1 vergelijkingen; omgekeerd gesorteerd:
n-1 + n-2 + ... + 1 = n(n-1)/2 = O(n^2) (bij (*): n(n-1))

```

- maak de vierde programmeeropgave — de deadline is op **maandag 11 december 2023**
- lees Savitch Hoofdstuk 13
- lees dictaat Hoofdstuk 3.10, 4.2.2, 4.2.7
- maak opgaven 57/61 uit het opgavendictaat
- [www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/)

---

## Programmeermethoden

Datastructuren: stapels, rijen en binaire bomen

Walter Kosters en Jonathan Vis

week 12: 27 november–1 december 2023

[www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/)

Gomoku programmeren we als volgt:

- week 1 (“10”): pointerpracticum, opgave lezen
- week 2 (“11”): klassen, pointerbord, meerdere files, ruw spelen
- week 3 (“12”): spel helemaal in orde maken, stapel
- week 4 (“13”): (vervolgpartijen), experiment (gnuplot), verslag

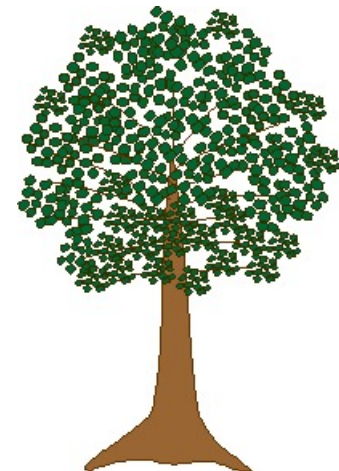
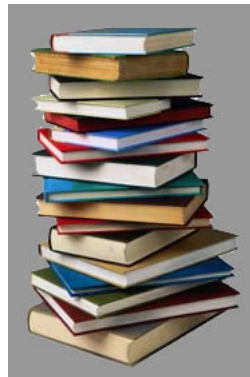
[www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op4pm.php](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op4pm.php)



In de informatica worden **Abstracte DataTypen (ADT's)** zoals stapels, rijen en bomen veelvuldig gebruikt.

Bij de afwikkeling van recursie komen bijvoorbeeld stapels goed van pas.

De OOP-filosofie sluit hier mooi op aan.



Een **DataType** bestaat uit een domein (een collectie “waarden”, al dan niet met structuur), in combinatie met een aantal basisoperaties die op dit domein gedefinieerd zijn.

We spreken van een **Abstract DataType** als de implementatie van de operaties is afgeschermd van de gebruiker.

Voorbeeld 1: De **gehele getallen** (`int` in C++), met basisoperaties zoals `+`, `-` en `*`.

De gebruiker kan deze operaties wel gebruiken, maar weet niet (en hoeft ook niet te weten) hoe deze precies in C++ zijn geïmplementeerd.

Voorbeeld 2: **Verzamelingen**, zoals verzamelingen gehele getallen tussen 0 en  $n$ :  $\{3, 6, 10\}$ .

Bekijk het datatype **Verzameling** (**Set**) waarvan het domein bestaat uit verzamelingen gehele getallen tussen 0 en  $n$ . Een verzameling is ongeordend en bevat allemaal verschillende elementen. Als basisoperaties op deze verzamelingen definiëren we:

- een lege verzameling aanmaken (of een bestaande leeg maken),
- kijken of de verzameling leeg is,
- testen of een gegeven getal erin zit,
- een getal eraan toevoegen,
- een getal eruit halen.



```
class verzameling {
 public:
 verzameling (); // constructor
 bool isleeg (); // is V leeg?
 bool ziterin (int i); // zit i in V ?
 void erbij (int i); // stop i in V
 void eruit (int i); // haal i uit V
 ...
 private: // de implementatie wordt afgeschermd
 bool inhoud[n]; // n een constante
}; //verzameling
```

We implementeren een verzameling  $V$  dus met behulp van een array `inhoud`, waarbij  $\text{inhoud}[i] == \text{true} \iff i \in V$ .

Met behulp van de basisoperaties kunnen we andere functies schrijven, zoals `void verzameling::doorsnede (A,B)`.

```
verzameling::verzameling () {
 for (int i = 0; i < n; i++) inhoud[i] = false;
} //verzameling::verzameling
bool verzameling::isleeg () {
 for (int i = 0; i < n; i++)
 if (inhoud[i]) return false;
 return true;
} //verzameling::isleeg
bool verzameling::ziterin (int i) {
 return inhoud[i];
} //verzameling::ziterin
void verzameling::erbij (int i) {
 inhoud[i] = true;
} //verzameling::erbij
void verzameling::eruit (int i) {
 inhoud[i] = false;
} //verzameling::eruit
```



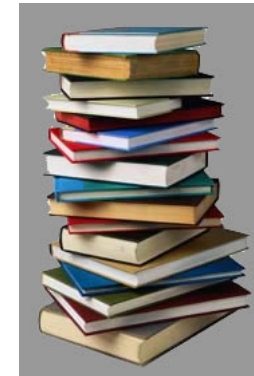
```
// de verzameling *this wordt gelijkgesteld aan A door B
void verzameling::doorsnede (verzameling & A,
 verzameling & B) {
 for (int i = 0; i < n; i++) {
 if (A.ziterin (i) && B.ziterin (i))
 erbij (i); // oftewel this->erbij (i);
 } //for
} //doorsnede
```

In main (“emuleert”  $\{6,10\} \cap \{3,6\} = \{6\}$ ):

```
verzameling een, twee, drie;
een.erbij (10); een.erbij (6); // vul een = {6,10}
twee.erbij (3); twee.erbij (6); // vul twee = {3,6}
drie.doorsnede (een, twee); // drie wordt de doorsnede
// van een en twee: {6}
```

Een **stapel** (**stack**; denk aan een stapel boeken) is een reeks elementen van hetzelfde type, bijvoorbeeld gehele getallen, met de volgende toegestane operaties:

- een lege stapel aanmaken,
- testen of de stapel leeg is,
- een element toevoegen (*push*),
- het laatst-toegevoegde element eruithalen (*pop*),
- soms: kijken of de stapel al vol is.



Een stapel heeft dus de *LIFO-eigenschap*: LIFO = **Last In First Out**. Toevoegen en verwijderen gebeurt derhalve aan dezelfde kant: de *bovenkant*.

```
class stapel { // stapel die gehele getallen bevat
public:
 stapel ();
 bool isstapelleeg ();
 void zetopstapel (int); // push
 void haalvanstapel (int&); // pop, let op &
 ...
private:
 // implementatie met pointers of array
}; //stapel
```

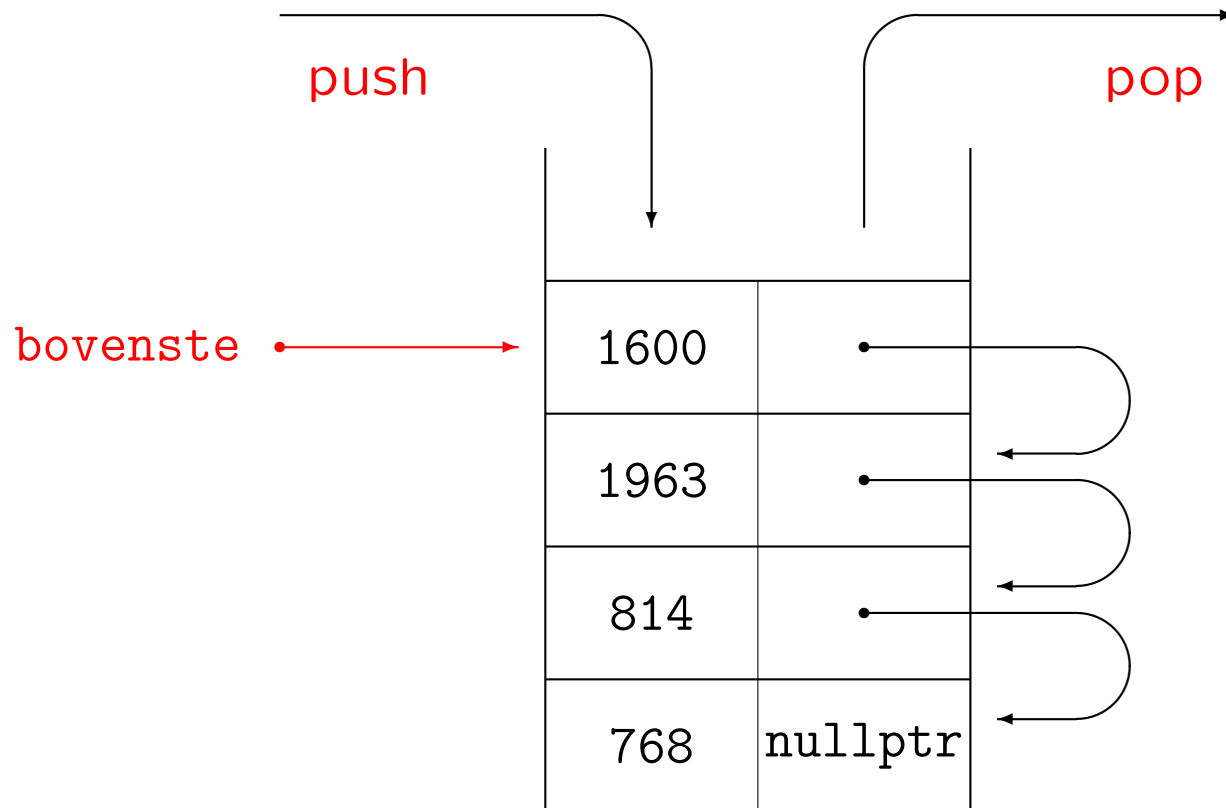
C++ aanroep:

```
S.zetopstapel (768);
S.haalvanstapel (jaartal);
```

abstracte notatie:

```
S \leftarrow 768;
jaartal \leftarrow S;
```





We hebben een extra type nodig voor de vakjes waaruit de pointerlijst bestaat. De vakjes zijn opgebouwd uit een veld `info` voor een geheel getal en een veld `volgende` voor de rest van de stapel.

```
class vakje { // een struct mag ook
 public:
 // constructor (een destructor hoeft misschien niet)
 vakje () { // beter niet "inline"
 info = 0; volgende = nullptr; } // constructor vakje
 int info;
 vakje* volgende;
}; //vakje
```

## De stapel als enkelverbonden lijst:

```
class stapel { // de stapel zelf
public:
 stapel () {
 bovenste = nullptr; } // maak lege stapel
 ~stapel (); // destructor
 void zetopstapel (int); // push
 void haalvanstapel (int&); // pop
 bool isstapelleeg () { // is stapel leeg?
 return ((bovenste == nullptr) ? true : false);
 // of: if (bovenste == nullptr) ...
 } // isstapelleeg
 ...
private: // het begin van de lijst is
 vakje* bovenste; // de bovenkant van de stapel
}; // stapel
```

```
void stapel::zetopstapel (int getal) { // push
 vakje* temp = new vakje;
 temp->info = getal;
 temp->volgende = bovenste;
 bovenste = temp;
} // stapel::zetopstapel
```

```
void stapel::haalvanstapel (int & getal) { // pop
 vakje* temp = bovenste;
 getal = bovenste->info;
 bovenste = bovenste->volgende;
 delete temp;
} // stapel::haalvanstapel
```

NB Bij deze `haalvanstapel` hoef je er niet op te letten of de stapel leeg is, dat moet de gebruiker via `isstapelleeg` zelf maar doen ...

En de destructor die de pointerlijst netjes afbreekt:

```
stapel::~~stapel () {
 int getal;
 while (! isstapelleeg ())
 haalvanstapel (getal);
} // stapel::~~stapel
```



Deze destructor wordt “vanzelf” aangeroepen als de betreffende variabele ophoudt te bestaan, dus aan het eind van de functie waarin de variabele gedeclareerd is.

Vaak wordt hiervan een aparte verwijder-functie gemaakt, met destructor: `stapel::~~stapel ( ) { verwijder ( ); }`

```
const int MAX = 100;
class stapel { // voor maximaal MAX integers
public:
 stapel () { bovenste = -1; } // constructor
 void zetopstapel (int);
 void haalvanstapel (int&);
 bool isstapelleeg () {
 return (bovenste == -1); }
 ...
private:
 int inhoud[MAX];
 int bovenste; // index bovenste waarde
}; // stapel
```

```
void stapel::zetopstapel (int getal) {
 bovenste++;
 inhoud[bovenste] = getal;
} //stapel::zetopstapel
```

```
void stapel::haalvanstapel (int & getal) {
 getal = inhoud[bovenste];
 bovenste--;
} //stapel::haalvanstapel
```

Er is eigenlijk ook een memberfunctie `vol` nodig, bijvoorbeeld in het `private`-gedeelte gedefinieerd. Deze functie wordt dan in `zetopstapel` aangeroepen.

```
bool stapel::vol () {
 return (bovenste == MAX - 1);
} //stapel::vol
```

```
void haalgrootstegetaluitstapel (stapel & S, int & grootste) {
 stapel hulp;
 int x;
 if (! S.isstapelleeg ()) {
 S.haalvanstapel (grootste);
 hulp.zetopstapel (grootste);
 while (! S.isstapelleeg ()) {
 S.haalvanstapel (x);
 if (x > grootste)
 grootste = x;
 hulp.zetopstapel (x);
 }//while
 while (! hulp.isstapelleeg ()) {
 hulp.haalvanstapel (x);
 if (x != grootste)
 S.zetopstapel (x);
 }//while
 }//if
}//haalgrootstegetaluitstapel
```

Merk op dat de precieze implementatie van de stapel er niet toe doet, evenmin als in het volgende voorbeeld.



```
int main () { // een main die de stapel gebruikt
 stapel S;
 int getal = 0;
 while (getal >= 0) { // zet getallen > 0 op stapel
 S.drukaf (); // nog te schrijven memberfunctie
 cout << "getal > 0: push; = 0: pop; < 0 stop" << endl;
 cin >> getal;
 if (getal > 0)
 S.zetopstapel (getal);
 else
 if ((getal == 0) && (! S.isstapelleeg ())) {
 S.haalvanstapel (getal);
 cout << getal << " van stapel gehaald " << endl;
 }//if
 }//while
 return 0;
}//main
```

In de **Standard Template Library (STL)** zitten ook al complete stapels (“stacks”):

```
#include <stack>

stack<int> S;
S.push (2002); S.push (2023);
while (! S.empty ()) {
 cout << S.top () << endl; S.pop (); }//while
```

Tussen < > staat het soort elementen dat op de stapel komt.

In de STL zitten overigens bijvoorbeeld ook vectoren, verzamelingen (“sets”) en rijen (“queues”).

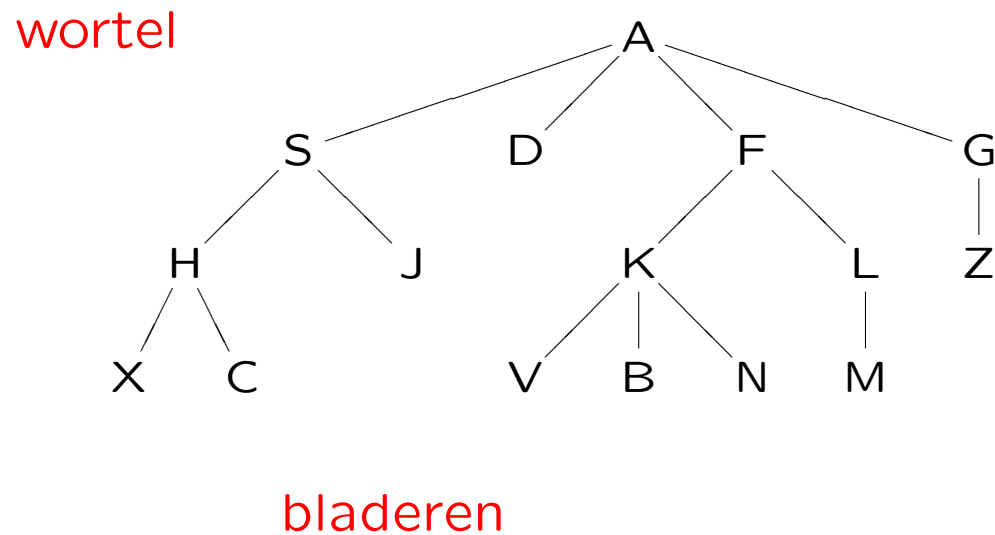
Een **rij** (**queue**; denk aan een rij voor een kassa) is een reeks elementen van hetzelfde type, bijvoorbeeld karakters, met de volgende toegestane operaties:

- een lege rij aanmaken,
- testen of de rij leeg is,
- een element toevoegen (*push*),
- het eerst-toegevoegde element eruithalen (*pop*),
- soms: kijken of de rij al vol is.



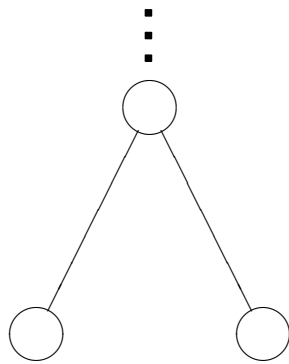
Een rij heeft dus de *FIFO-eigenschap*: FIFO = **First In First Out**. Toevoegen en verwijderen gebeuren dus aan verschillende kanten: *achteraan* respectievelijk *vooraan*.

Definitie: een **boom** is een “samenhangende ongerichte graaf zonder cykels”, met één speciale knoop: de *wortel*.

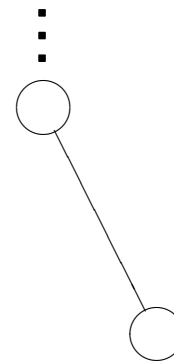


De **kinderen** van A zijn S, D, F en G; S is de **ouder** van J. Verder zijn K, L, V, B, N en M de **afstammelingen** van F. En H, S en A zijn de **voorouders** van X.

Een **binaire boom** is een boom waarin elke knoop ofwel nul, ofwel één, ofwel twee kinderen heeft: het *linkerkind* en het *rechterkind*. Als een knoop één kind heeft, dan is dit ofwel een linkerkind, ofwel een rechterkind.

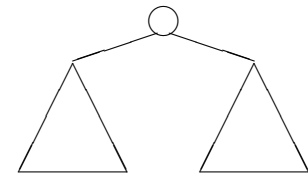


linkerkind rechterkind



één kind: rechterkind

Recursief gedefinieerd: een binaire boom is leeg, of bestaat uit een wortel, een linker- en een rechtersubboom.



```
class knoop { // een struct mag ook
 public:
 knoop () { // constructor
 info = 0; links = nullptr; rechts = nullptr; } //constructor
 int info;
 knoop* links; knoop* rechts;
}; //knoop

class binaireboom {
 public:
 binaireboom () { wortel = nullptr; }
 void WLR () { preorde (wortel); }
 void LWR () { symmetrisch (wortel); }
 ...
 private:
 knoop* wortel;
 void preorde (knoop* root);
 void symmetrisch (knoop* root);
 ...
}; //binaireboom
```



```
void binaireboom::preorde (knoop* root) { // WLR
 if (root != nullptr) { // Wortel-Links-Rechts
 cout << root->info << endl;
 preorde (root->links);
 preorde (root->rechts);
 }//if
}//preorde
```

```
void binaireboom::symmetrisch (knoop* root) { // LWR
 if (root != nullptr) { // Links-Wortel-Rechts
 symmetrisch (root->links);
 cout << root->info << endl;
 symmetrisch (root->rechts);
 }//if
}//symmetrisch
```

We tellen *recursief* het aantal knopen van een binaire boom met ingang wortel.

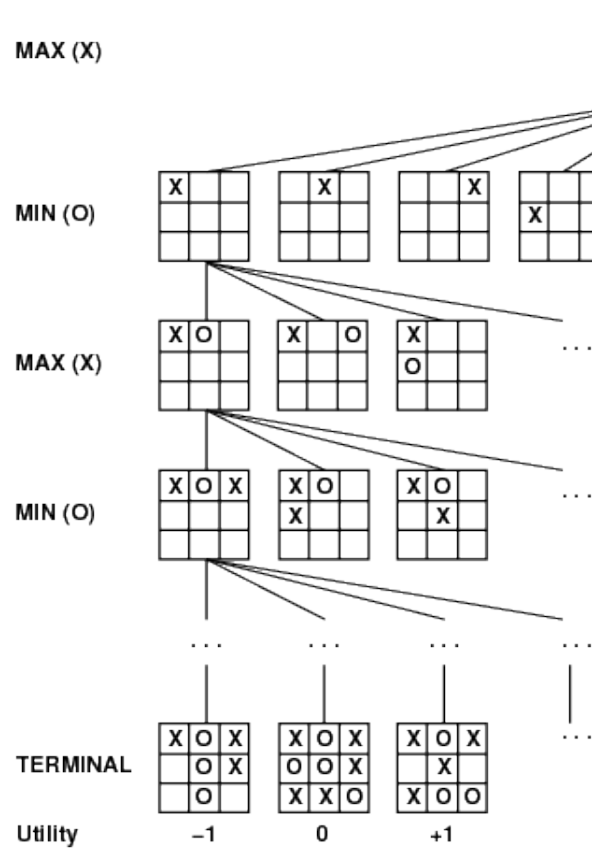
Aanroep: `int tellen = aantal (wortel);`

```
int aantal (knoop* root) {
 if (root == nullptr) // lege boom
 return 0;
 else
 return (1 + aantal (root->links)
 + aantal (root->rechts));
} //aantal
```

Hier wordt eigenlijk een preorde-wandeling gedaan.



Bomen, en niet alleen binaire, worden vaak gebruikt om spellen als schaken en go te analyseren (“ $\alpha$ - $\beta$ -algoritme”).



Boter, kaas en eieren

twee spelers:  
MAX (X) en MIN (O)

Het *aantal vervolgpactijen* vanuit een gegeven positie in de wortel is het aantal bladeren in deze boom. Het kan berekend worden zonder de boom “echt” te maken, zie het college over recursie!

Voor Boter, kaas en eieren is dit 255.168, waarvan overigens 131.184 gewonnen door de beginspeler, 77.904 door de ander en 46.080 remise.

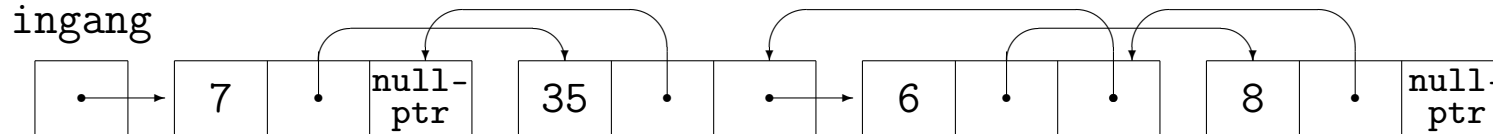
En voor zetten terugnemen kun je een **stapel** gebruiken: elke keer als je een zet doet, zet je de complete “oude” positie (oftewel stand) op de stapel! Soms hoef je alleen de zetten te onthouden.

Opgave 4 van het tentamen van 3 januari 2019:

Gegeven is het volgende type:

```
class object { public: int info; object* volg1; object* volg2; };
```

Met behulp hiervan kan een lijst van objecten worden opgebouwd, bestaande uit vakjes met een getal, en twee pointers. Precies een van deze twee wijst naar het volgende object, de andere naar het vorige — maar je weet niet welke. Een voorbeeld, met `ingang` van type `object*`:



**a.** (6) Schrijf een C++-functie `voegtoe (ingang, getal)` die een nieuw object met `getal` erin netjes vooraan de lijst met `ingang` toevoegt. Je mag zelf kiezen welke van de twee pointers in het nieuwe object naar vorige en volgende object wijst. Zet in het oude eerste object (als dat bestaat) de terugwijzende pointer goed.

Opgave 4 van het tentamen van 3 januari 2019, vervolg:

- b.** (6) Schrijf een C++-functie `verwijder` (`ingang`) die het eerste object uit de lijst met `ingang` netjes verwijdert, indien dit bestaat.
- c.** (4) Schrijf een C++-functie `hoogop` (`ingang`) die als er minstens twee objecten zijn en als het `info`-veld van het eerste object oneven is, dit ophoogt met het `info`-veld van het tweede object. In het voorbeeld: 7 wordt 42.
- d.** (3) In de functies bij **a**, **b** en **c** staat in de heading een pointer. Deze heb je call by value of call by reference doorgegeven (met een `&`). Maakt het voor de werking van deze functies verschil uit of die `&` erbij staat? Mag het, moet het? Leg duidelijk uit.
- e.** (6) Schrijf een C++-functie `repareer` (`ingang`) die ervoor zorgt dat na afloop alle `volg1`-pointers naar het volgende, en alle `volg2`-pointers naar het vorige object wijzen.

[www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/tentamens.php](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/tentamens.php)

Uitwerking Opgave 4a van 3 januari 2019:

```
void voegtoe (object* & ingang, int getal) {
 object* nieuw = new object;
 nieuw->info = getal;
 nieuw->volg1 = nullptr; // of
 nieuw->volg2 = ingang; // andersom

 if (ingang != nullptr)
 if (ingang->volg1 == nullptr)
 ingang->volg1 = nieuw;
 else
 ingang->volg2 = nieuw;
 ingang = nieuw;
} //voegtoe
```

- werk aan de vierde programmeeropgave — de deadline is op **maandag 11 december 2023**
- lees dictaat Hoofdstuk 5
- maak opgaven 47/51 uit het opgavendictaat
- nog twee colleges: **Algoritmen, talen als Python** en **Oude tentamens, ...**
- [www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/)

---

# Programmeermethoden

Algoritmen, talen, . . .

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 13: 4–8 december 2023

[www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/)

Gomoku programmeren we als volgt:

- week 1 (“10”): pointerpracticum, opgave lezen
- week 2 (“11”): klassen, pointerbord, meerdere files, ruw spelen
- week 3 (“12”): spel helemaal in orde maken, stapel
- week 4 (“13”): (vervolgpartijen), experiment (gnuplot), verslag

[www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op4pm.php](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/op4pm.php)



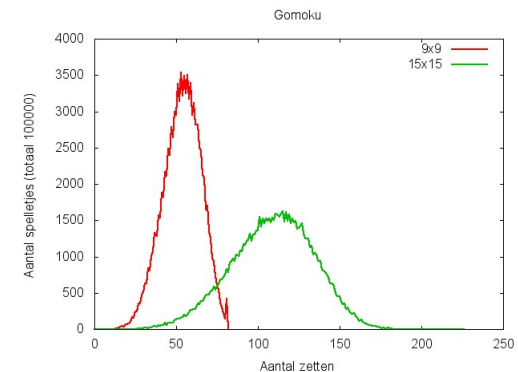
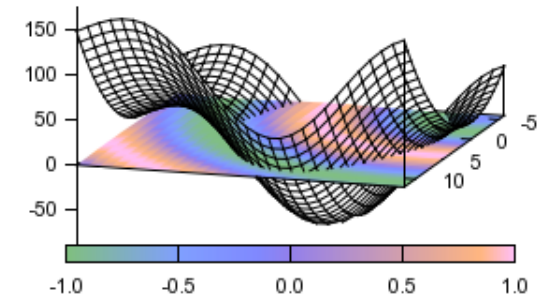
Gebruik **gnuplot** om een eenvoudige grafiek te maken, ook in Windows:

```
gnuplot> plot "stats.txt" with lines
```

Hierbij is de file stats.txt zoiets als:

```
1 7
2 12
3 14
```

Zie [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info).



Op allerlei colleges en in allerlei boeken en artikelen worden **algoritmen** behandeld, bijvoorbeeld bij de volgende Informatica-colleges in Leiden (semester tussen haakjes):

- Programmeermethoden (1), Algoritmiek (2)
- Datastructuren (3), Kunstmatige intelligentie (4)
- . . .



Je kunt algoritmen op allerlei manieren rubriceren, bijvoorbeeld met behulp van de volgende begrippen:

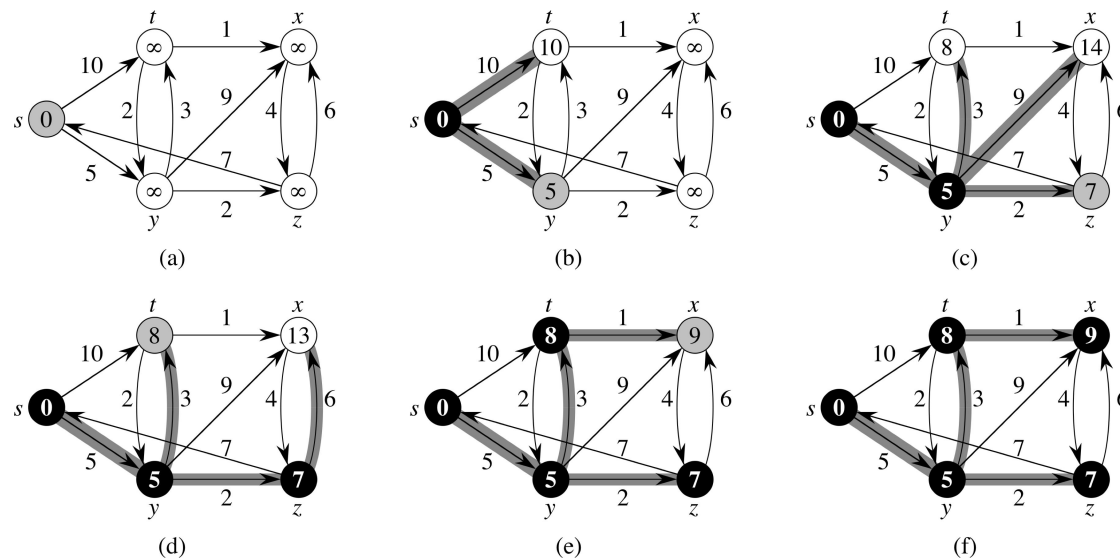
verdeel en heers, numerieke wiskunde, graafalgoritmen, dynamisch programmeren, patroonherkenning, adversary, data mining, geometrisch modelleren, backtracking, benaderende algoritmen, kunstmatige intelligentie, neurale netwerken, evolutionaire algoritmen,  $\mathcal{P} \leftrightarrow \mathcal{NP}$ , gretige algoritmen, snelle Fouriertransformatie,

...

We bekijken er een paar.

Gegeven een graaf  $G$ , met afstanden op de takken, en twee knopen  $a$  en  $b$ . Gevraagd: kortste pad van  $a$  naar  $b$ .

Oplossing: het algoritme van **Dijkstra**.



Als  $n$  een priemgetal is, geldt dat  $a^{n-1} - 1$  deelbaar is door  $n$  voor  $a = 1, 2, \dots, n - 1$ . Het omgekeerde is bijna waar.

Dit suggereert het volgende algoritme dat “bepaalt” of  $n$  een priemgetal is: Als  $2^{n-1} - 1$  niet deelbaar is door  $n$  is  $n$  zeker geen priemgetal, en anders (misschien) wel. Dit gaat fout bij 341, 561,  $\dots$ , maar dat is te verbeteren: probeer andere  $a$ ; echter, 561, een Carmichael-getal, blijft lastig. (Uiteindelijk: Miller-Rabin.)

Het algoritme is een **randomized** algoritme, en wel een **Monte Carlo** algoritme: het ene antwoord is altijd juist, het anders soms niet. Bij **Las Vegas** algoritmen zijn de antwoorden altijd juist — maar het duurt soms lang.

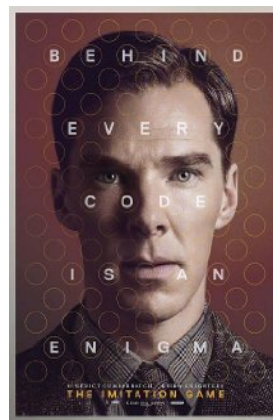
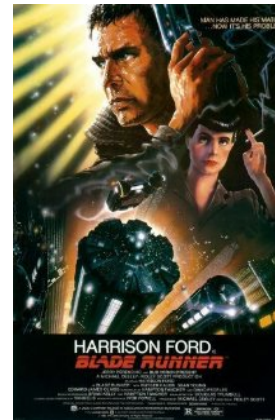
En hoe maak je een willekeurige **permutatie**, dat wil zeggen, een random volgorde van de getallen  $1, 2, \dots, n$ ?

```
// stop random permutatie van 0,1,...,n-1 in array A
void maakpermutatie (int A[], int n) {
 int i; // array-index
 int r; // random array-index
 for (i = 0; i < n; i++) A[i] = i;
 for (i = n-1; i >= 0; i--) {
 r = rand () % (i+1); // 0 <= r <= i, random
 wissel (A[i],A[r]);
 }//for
}//maakpermutatie
```



rand ( ) geeft een random-getal; srand (42) zet het "seed".

# Kunstmatige intelligentie $\stackrel{?}{=}$ algorithmen



| 1965<br>POP<br>CULTURE | 10' CANNA | KNOW<br>YOUR<br>BORDERS | WHAT'S<br>YOUR<br>SCORE | FLY LIKE<br>AN EAGLE | NATIONAL<br>PASTRIES |
|------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| \$100                  | \$100     | \$100                   | \$100                   | \$100                | \$100                |
| \$200                  | \$200     | \$200                   | \$200                   | \$200                | \$200                |
| \$300                  | \$300     | \$300                   | \$300                   | \$300                | \$300                |
| \$400                  | \$400     | \$400                   | \$400                   | \$400                | \$400                |
| \$500                  | \$500     | \$500                   | \$500                   | \$500                | \$500                |

IN 2013 ROB FORD,  
MAYOR OF THIS 4th-  
LARGEST CITY IN N.  
AMERICA, FIRST SAID  
HE SMOKED WEED,  
NOT CRACK...THEN  
YES, OK, CRACK, TOO

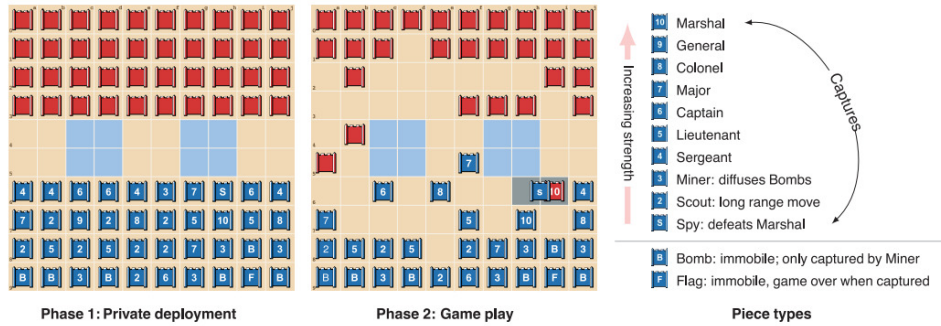


2011

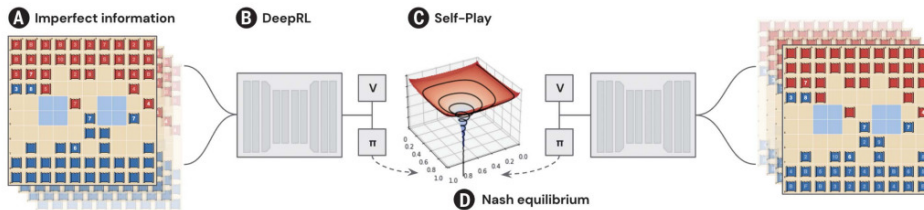
What is  
Toronto????







**Fig. 1.** Stratego is a two-player board game in which players try to capture the opponent's flag. Initially, the players secretly deploy 40 pieces of diverse strengths on the board. Then, they take turns moving pieces, possibly encountering an opponent piece that reveals both piece identities, and then the weaker piece is removed. Two lakes (indicated in blue) cannot be crossed by any piece. The complete rules are defined by the International Stratego Federation.



$$\text{Replicator dynamics: } \frac{d}{dt} \pi_r^i(a^i) = \pi_r^i(a^i) [Q_{\pi_r}^i(a^i) - \sum_{b^i} \pi_r^i(b^i) Q_{\pi_r}^i(b^i)]$$

$$\text{Reward transformation: } r^i(\pi^i, \pi^{-i}, a^i, a^{-i}) = r^i(a^i, a^{-i}) - \eta \log \left( \frac{\pi^i(a^i)}{\pi_{\text{reg}}^i(a^i)} \right) + \eta \log \left( \frac{\pi^{-i}(a^{-i})}{\pi_{\text{reg}}^{-i}(a^{-i})} \right)$$

breaking news



RESEARCH

MACHINE LEARNING

## Mastering the game of Stratego with model-free multiagent reinforcement learning

Julien Perolat<sup>\*†</sup>, Bart De Vylder<sup>\*†</sup>, Daniel Hennes, Eugene Tarassov, Florian Strub, Vincent de Boer<sup>‡</sup>, Paul Muller, Jerome T. Connor, Neil Burch, Thomas Anthony, Stephen McAleer, Romuald Elie, Sarah H. Cen, Zhe Wang, Audrunas Gruslys, Aleksandra Malysheva, Mina Khan, Sherjil Ozair, Finbarr Timbers, Toby Pohlen, Tom Eccles, Mark Rowland, Marc Lanctot, Jean-Baptiste Lespiau, Bilal Piot, Shayegan Omidshafiei, Edward Lockhart, Laurent Sifre, Nathalie Beauguerlange, Remi Munos, David Silver, Satinder Singh, Demis Hassabis, Karl Tuyls<sup>\*†</sup>

We introduce DeepNash, an autonomous agent that plays the imperfect information game Stratego at a human expert level. Stratego is one of the few iconic board games that artificial intelligence (AI) has not yet mastered. It is a game characterized by a twin challenge: It requires long-term strategic thinking as in chess, but it also requires dealing with imperfect information as in poker. The technique underpinning DeepNash uses a game-theoretic, model-free deep reinforcement learning method, without search, that learns to master Stratego through self-play from scratch. DeepNash beat existing state-of-the-art AI methods in Stratego and achieved a year-to-date (2022) and all-time top-three ranking on the Graven games platform, competing with human expert players.



Perolat et al., Science 378 (2022) 990–996: Mastering the game of Stratego . . .

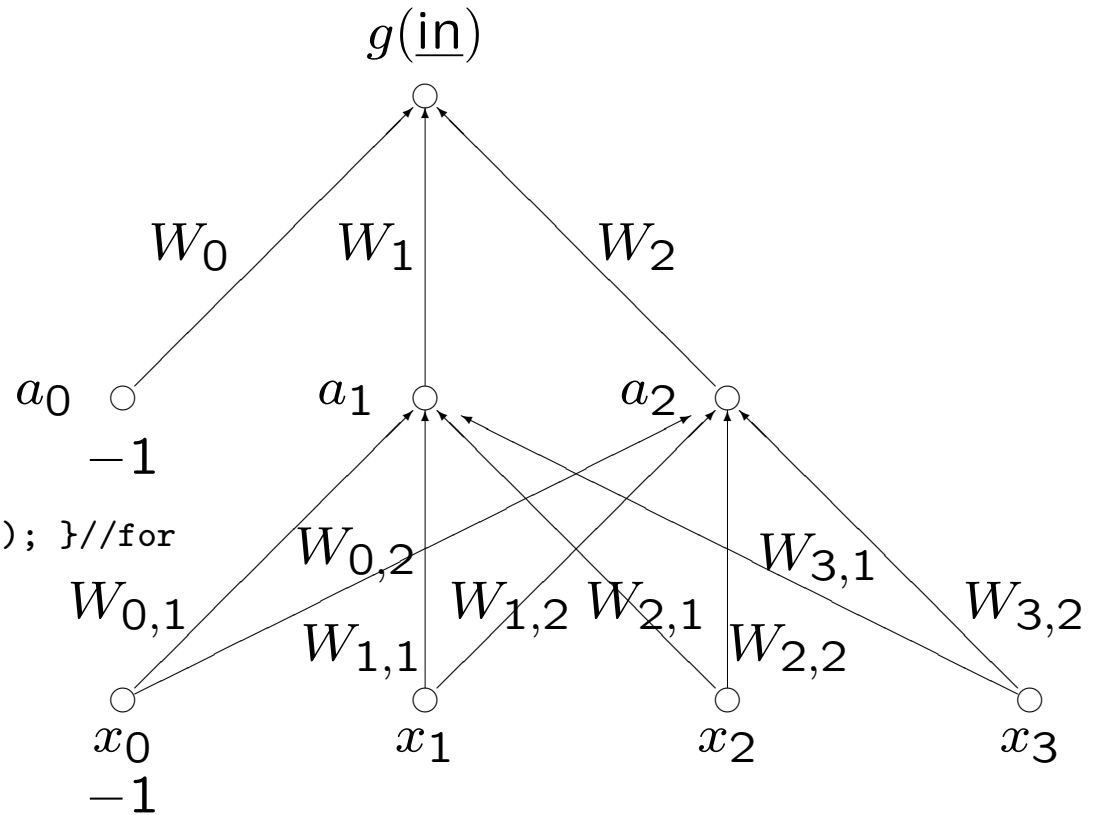
Deep neural nets, reinforcement learning, selfplay.

Kunnen computers denken? Diplomacy! ChatGPT! [link](#)

```

for (j = 1; j <= hs; j++) {
 s[j] = -ItH[0][j];
 for (k = 1; k <= ip; k++)
 s[j] += ItH[k][j] * I[k];
 HtA[j] = g (s[j]); }//for
for (i = 0; i < os; i++) {
 s0 = -Ht0[0][i];
 for (j = 1; j <= hs; j++)
 s0 += Ht0[j][i] * HtA[j];
 0[i] = g (s0);
 d0[i] = gp (s0) * (T[i] - 0[i]); }//for
for (j = 1; j <= hs; j++) {
 d[j] = 0;
 for (i = 0; i < os; i++)
 d[j] += Ht0[j][i] * d0[i];
 d[j] *= gp (sum[j]); }//for
for (j = 0; j <= hs; j++)
 for (i = 0; i < os; i++)
 Ht0[j][i] += a * HtA[j] * d0[i];
for (k = 0; k <= ip; k++)
 for (j = 1; j <= hs; j++)
 ItH[k][j] += a * I[k] * d[j];

```



matrix-vermenigvuldiging, GPU's

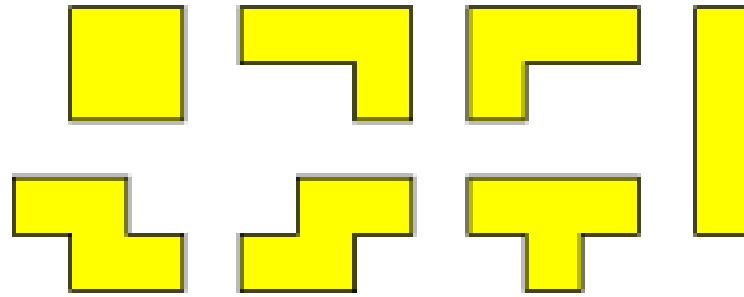
Aan een spel als **Tetris** kleven allerlei vragen:

- Hoe speel je het zo goed mogelijk?  
(AI = Kunstmatige intelligentie)
- Hoe moeilijk is het? (complexiteit)
- Wat kan er allemaal gebeuren?



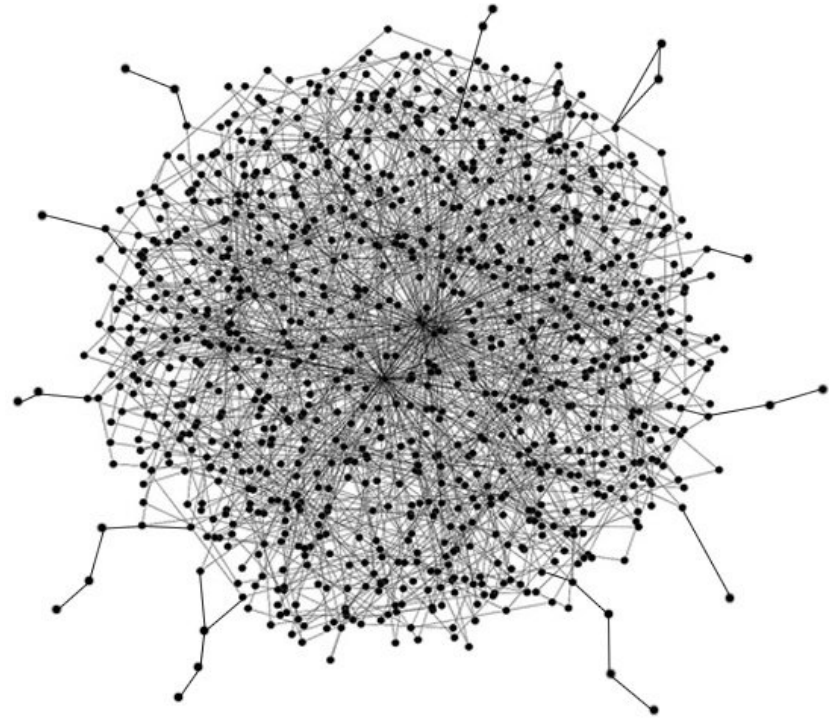
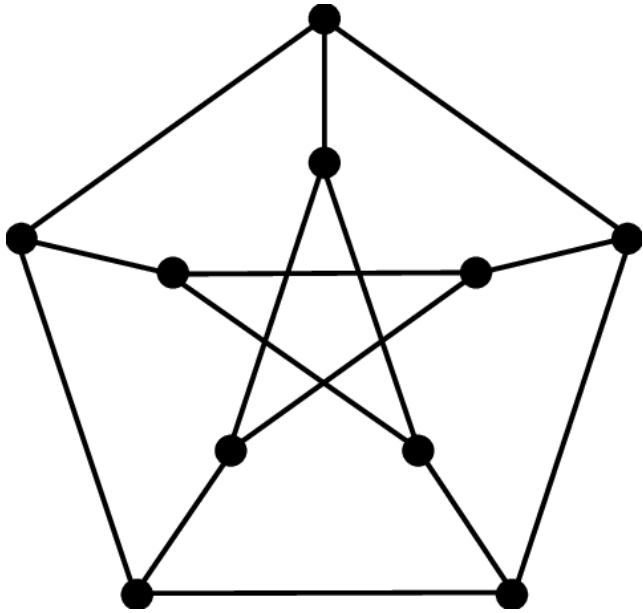
Zo is bijvoorbeeld bewezen dat sommige Tetris-vragen  **$\mathcal{NP}$ -volledig** zijn (gezamenlijk werk met mensen van MIT), dat je bijna alle configuraties kunt bereiken, maar dat niet alle problemen “beslisbaar” zijn.

De 7 Tetris-stukken:



De vraag “Kun je met een gegeven serie (inclusief volgorde) van deze stukken een deels al gevuld bord helemaal leeg spelen?” is  $\mathcal{NP}$ -volledig.

Als iemand het bord leeg speelt kun je dat eenvoudig controleren. Als het *niet* kan, kan men (tot nu toe) niks beters verzinnen dan alle mogelijkheden één voor één na te gaan. En dat zijn er veel!



Is de graaf samenhangend? ( $\mathcal{P}$ )

Heeft de graaf een Hamilton-circuit? ( $\mathcal{NP}$ )

$123456789 \times 987654321 = 121932631112635269$ ? ( $\mathcal{P}$ )

$\mathcal{P}$  en  $\mathcal{NP}$  zijn “klassen” van **beslissingsproblemen** oftewel **ja-nee-problemen**. Het probleem of een graaf samenhangend is, zit in  $\mathcal{P}$ . Idem voor het probleem of de som van getallen  $x$  en  $y$  gelijk is aan getal  $z$ . Het probleem of een graaf een Hamilton-circuit heeft, zit in  $\mathcal{NP}$ , en is zelfs “ $\mathcal{NP}$ -volledig”; je kunt het “eenvoudig”, maar niet efficiënt, oplossen met brute-force technieken. En een “ja” is met een juiste oplossing eenvoudig te controleren.

$\mathcal{P}$  is de klasse van beslissingsproblemen die door een “deterministische Turing-machine” in “polynomiale tijd” (in de grootte van de invoer) kunnen worden opgelost.

$\mathcal{NP}$  is de klasse van beslissingsproblemen die door een “niet-deterministische Turing-machine” in “polynomiale tijd” kunnen worden opgelost: je mag “gokken”.

Open probleem: geldt  $\mathcal{P} = \mathcal{NP}$ ?

Naast C++ (C: Brian Kernighan, Dennis Ritchie, Ken Thompson,  $\pm$  1970; C++: Bjarne Stroustrup,  $\pm$  1985, nu C++20), wordt ook veel **MATLAB** gebruikt, en **R**, en **Java**. En **Qt** voor interfaces. En ... **Python**.



Ritchie en Thompson in 1972

De programmeertaal **Java** lijkt veel op C++.  
Enkele belangrijke verschillen:

- Java is (nog) meer object-georiënteerd
- Java heeft automatische **garbage collection**
- Java heeft (bijna) geen pointers
- Java is platform-onafhankelijk
- Java kent **applets**: WWW-applicaties, met GUI's
- Java-code wordt *gecompileerd* naar bytecode, en daarna *geïnterpreteerd* door de **Java Virtual Machine (JVM)**



**Python**, ook zeer geschikt voor **scripting** en “prototyping”, is ontwikkeld door Guido van Rossum uit Nederland. Er zit veel overlap in met de andere genoemde talen.

Voor meer informatie (zelfstudie), zie:

[www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pythonextra.php](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/pythonextra.php)



- **interpreteren**, niet compileren: `python hello.py`

```
def hello():
 print("Hello world!")

hello()
```

- interactieve mode
- type van variabele kan eenvoudig wijzigen
- indentatie
- NumPy, Matplotlib, ...

```
Dit is een regel met commentaar
import math # voor "pi"
print("Geef straal, en Enter .. ",end="")
straal = float(input())
if straal > 0:
 print("Oppervlakte: ",end="")
 print(math.pi * straal * straal)
else:
 print("Niet zo negatief ...")
print("Einde van dit programma.")
exit(0)
```

Geen accolades, geen punt-komma's. Dit is overigens **Python3**; er zijn subtiele verschillen met oudere versies.

Interactieve mode, via python3:

```
>>> a, b, c = 1, 7.1234, "een string" # gebruik " of '
>>> print(type(a),type(b),type(c))
<class 'int'> <class 'float'> <class 'str'>
>>> a = "wat anders"
>>> print(type(a),a)
<type 'str'> 'wat anders'
>>> 42**97 # machtsverheffen
285220783529230204153175149217567486191944489082385819
736594041463066207736137806080365924000128470355797067
70974141007921386304842702540555973307346454577152L
>>> a+d # gaat fout:
Traceback (most recent call last):
 File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: name 'd' is not defined
>>> Ctrl-D
```

Let op de indentatie, oftewel het inspringen:

```
if y >= 3 and (x == 4 or x == 5): # and voor && ...
 pass # doe niets
elif z == 12: # in plaats van else if uit C++
 x = 0
 y = 678
else:
 print("Hoe verzijn je het!")

for karakter in ['a', 'e', 'i', 'o', 'u']:
 print(karakter, end="")
som = 0
for i in range(6): # i = 0,1,2,3,4,5
 som = som + i*i
```

```
def telop(a,b):
 c = a + b
 return c

q = telop(12345,6789)

f = open("mijnfile.txt","r")
for regel in f:
 print(regel,end="")
f.close()
```



Parameter-overdracht in Python is **call-by-object-reference**:

```
def vergroot(lijst):
 lijst += [10,20,30,40]

def vernieuw(lijst):
 lijst = [1000,1001]

lijst = [7,8] # een "mutable" object
vergroot(lijst)
nu is lijst [7,8,10,20,30,40]
vernieuw(lijst)
en nu is lijst nog steeds [7,8,10,20,30,40]
```

En integers zijn “immutable”.

```
def simpelsort(A):
 for i in range(len(A)):
 # Zoek kleinste element in ongesorteerde stuk [i:]
 kl = i
 for j, el in enumerate(A[i:]):
 if el < A[kl]:
 kl = i + j
 # Wissel om
 if i != kl:
 A[i], A[kl] = A[kl], A[i]

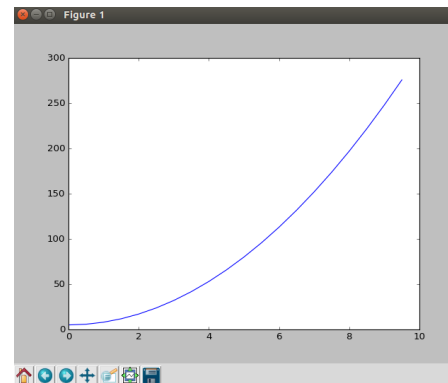
Test
B = [47, 10, 7, 3, 31, 75, 18, 21, 48, 79]
simpelsort(B)
print(B)
```



```
import numpy as np # hier zitten ook arrays in!
import matplotlib.pyplot as plt

Bepaal de x-coördinaten waarvoor we willen plotten
x = np.arange(0, 10, 0.5)
Bereken nu voor elk x-coördinaat de y-waarde
Functie: $y = 3x^2 + 5$
y = 3 * x * x + 5

Geef de x- en y-arrays als parameters aan de plot-functie
plt.plot(x, y)
Zet de plot op het scherm
plt.show()
exit(0)
```



- werk aan de vierde programmeeropgave — de deadline is op **maandag 11 december 2023** (vragenuur!)
- volgende week laatste college en werkcollege: donderdag 14 december 2023: Oude tentamens
- **tentamen:**  
woensdag 17 januari 2024, 13:00–16:00 uur,  
Universitair Sportcentrum; **aanmelden!**  
**hertentamen:**  
donderdag 28 maart 2024, 13:00–16:00 uur
- [www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/)

---

## Programmeermethoden

Oude tentamens

Walter Kusters en Jonathan Vis

week 14: 11-15 december 2023

[www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kusterswa/pm/)

## Opgave 1 van het tentamen van 6 januari 2014:

In een array `int A[n]` staan `n` (een `const > 0`) gehele getallen.

**a.** Schrijf een C++-functie `hoevaak (A,X,n)` die teruggeeft hoe vaak het gehele getal `X` in het array `A` voorkomt.

**b.** Schrijf een Booleaanse C++-functie `uniek (A,n)` die precies dan `true` teruggeeft als geen enkel getal twee maal (of vaker) voorkomt in `A`, en anders `false`. Hierbij moet de functie van **a** *zinnig* gebruikt worden (hoe vaak komt `A[i]` voor?).

**c.** Schrijf een C++-functie `meest (A,n)` die het meest voorkomende getal uit `A` teruggeeft. Als er verschillende kandidaten zijn (bijvoorbeeld voor het array `17 12 30 12 42 30`) moet het kleinste getal dat het meest voorkomt worden geretourneerd. In het voorbeeld is dit `12` (dat even vaak voorkomt als `30`). Maak opnieuw gebruik van de functie van **a**.

**d.** Schrijf een C++-functie `sorteer (A,n)` die de getallen in `A` zodanig ordent dat voor alle getallen (behalve het laatste) geldt dat ze hooguit even vaak voorkomen als hun rechter buurman. Tip: pas de C++-code voor *bubblesort* eenvoudig aan; gebruik **a**.

**e.** Hoe vaak wordt de functie `hoevaak` aangeroepen in **d**?

soms dus ook iets over "complexiteit":  $O(n^2)$  ...

- ```
a. int hoevaak (int A[ ], int X, int n) {
    int i, teller = 0;
    for ( i = 0; i < n; i++ ) if ( X == A[i] ) teller++;
    return teller;
}//hoevaak
```
- ```
b. bool uniek (int A[], int n) {
 int i;
 for (i = 0; i < n; i++)
 if (hoevaak (A,A[i],n) > 1) return false;
 return true;
}//uniek
```
- ```
c. int meest (int A[ ], int n) {
    int i, tel, vaak = A[0], aantal = hoevaak (A,A[0],n);
    for ( i = 1; i < n; i++ ) {
        tel = hoevaak (A,A[i],n);
        if ( tel > aantal || ( tel == aantal && A[i] < vaak ) ) {
            vaak = A[i]; aantal = tel; }//if
    }//for
    return vaak;
}//meest
```
- ```
d. void sorteer (int A[], int n) {
 int i, j, temp;
 for (i = 1; i < n; i++)
 for (j = 0; j < n-i; j++)
 if (hoevaak (A,A[j],n) > hoevaak (A,A[j+1],n)) {
 temp = A[j]; A[j] = A[j+1]; A[j+1] = temp; }//if
 }//sorteer
```
- e.  $2 ( 1+2+\dots+n-1) = n (n-1)$  keer

## Opgave 2 van het tentamen van 6 januari 2015:

**a.** Bij een functie kun je te maken hebben met *call by value* en *call by reference*, en ook met *locale* en *globale* variabelen. Verder onderscheiden we ook nog *formele* en *actuele* parameters. Leg deze zes begrippen duidelijk uit.

**b.** Gegeven een C++-programma met daarin de volgende twee functies:

```
int ludo (int a, int b, int n) {
 int i = 42; for (i = 0; i < n; i += 2) { b += a; i--; }//for
 return b; }//ludo
int jeanine (int a, int b) {
 a = ludo (a,b,a); cout << a << "," << b << endl;
 a = ludo (a,b,a); cout << a << "," << b << endl;
 return a; }//jeanine
```

Verder zijn de globale variabelen *x* en *y* gegeven (van type *int*). Wat is dan de uitvoer van het volgende stukje programma (leg je antwoord duidelijk uit):

```
x = 2; y = 2; y = jeanine (x,y); cout << x << "," << y << endl;
```

**c.** Als **b**, maar nu met een *&* ("ampersand") bij de vijf parameters van de functies.

**d.** Geef een eenvoudige uitdrukking voor de return-waarde van een aanroep `ludo (a,b,n)`, uitgedrukt in diens parameters. Het maakt niet uit of er *&*'s bij de parameters staan.

**e.** Als **d**, maar nu voor `jeanine (a,b)`. Neem aan dat er bij alle vijf parameters een *&* staat, net als bij **c**.

**f.** Als in de functie `ludo` ergens `a = jeanine (a,2*n)`; staat, compileert het programma dan nog? Onderscheid gevallen met en zonder *&*.

| "main" |    | "jeanine" |   | "ludo" |   |   |    |                                              |
|--------|----|-----------|---|--------|---|---|----|----------------------------------------------|
| x      | y  | a         | b | a      | b | n | i  |                                              |
| 2      | 2  | 2         | 2 | 2      | 2 | 2 | 42 | aanroep jeanine<br>eerste aanroep ludo       |
|        |    |           |   |        | 4 |   | 1  |                                              |
|        |    | 6         |   | 6      |   |   | 2  | geeft 6 terug<br>cout: 6,2                   |
|        |    |           |   | 6      | 2 | 6 | 42 | tweede aanroep ludo                          |
|        |    |           |   |        |   |   | 0  |                                              |
|        |    |           |   |        | 8 |   | 1  |                                              |
|        |    |           |   |        | ⋮ |   | ⋮  |                                              |
|        |    |           |   | 38     |   |   | 6  | geeft 38 terug<br>cout: 38,2; geeft 38 terug |
|        | 38 | 38        |   |        |   |   |    | cout: 2,38                                   |

tijd ↓



| "main"                                          |                                 | "ludo" | tijd ↓                      |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|--------|-----------------------------|
| x                                               | y                               | i      |                             |
| = a uit jeanine<br>= a uit ludo<br>= n uit ludo | = b uit jeanine<br>= b uit ludo |        |                             |
| 2                                               | 2                               |        |                             |
|                                                 |                                 | 42     | aanroep jeanine             |
|                                                 |                                 | 0      | eerste aanroep ludo         |
|                                                 | 4                               | 1      |                             |
|                                                 | 6                               | 2      | geeft 6 terug               |
| 6                                               |                                 |        | cout: 6,6                   |
|                                                 |                                 | 42     | tweede aanroep ludo         |
|                                                 |                                 | 0      |                             |
|                                                 | 12                              | 1      |                             |
|                                                 | ⋮                               | ⋮      |                             |
|                                                 | 42                              | 6      | geeft 42 terug              |
| 42                                              |                                 |        | cout: 42,42; geeft 42 terug |
|                                                 | 42                              |        | cout: 42,42                 |

**d.**  $n \cdot a + b$  (als  $n \geq 0$ )      **e.**  $(a^2 + b)^2 + a^2 + b$

**f.** Dan moet de tweede parameter van `jeanine` call by value zijn, en een prototype van `jeanine` moet boven `ludo` staan.



## Opgave 3 van het tentamen van 16 maart 2017:

Gegeven is het twee-dimensionale array `int afstand[n][n]`;, met  $0 \leq i, j < n$  en  $0 \leq k < n$ , met zekere `const int n`  $\geq 2$ . Er geldt dat `afstand[i][j] > 0` de afstand is tussen de plaatsen `i` en `j` met  $i \neq j$ , waarbij `afstand[i][i]` 0 is, en de afstand tussen `i` en `j` even groot is als die tussen `j` en `i`. Een voorbeeld met `n = 4` staat hiernaast.

|   |    |   |    |
|---|----|---|----|
| 0 | 3  | 7 | 9  |
| 3 | 0  | 4 | 14 |
| 7 | 4  | 0 | 8  |
| 9 | 14 | 8 | 0  |

**a.** Schrijf een C++-functie `bool reis (afstand, km)` die kijkt of er een rondreis van `i` naar `j` naar `k` naar `i` is (voor willekeurige onderling verschillende plaatsen `i`, `j` en `k`) die in totaal precies afstand `km` heeft. In het voorbeeld zou voor 26 het antwoord `true` zijn: van 0 naar 1 naar 3 naar 0 (dat is  $3 + 14 + 9 = 26$ ).

**b.** Schrijf een C++-functie `int verste (afstand, i)` die het nummer van de verst van `i` afgelegen plaats oplevert. In het voorbeeld, met `i = 3`, is dat 1 (wegens afstand 14). Als er meerdere plaatsen voldoen: die met de grootste index. Neem aan dat  $0 \leq i < n$ .

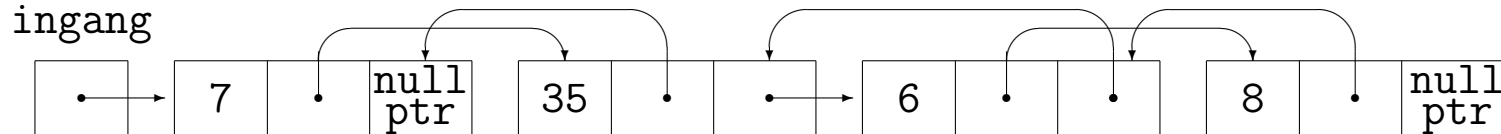
**c.** Schrijf een C++-functie `int hoever (afstand, i)` die bepaalt hoeveel je in totaal reist als je begint in `i`, dan steeds naar de verst gelegen plaats gaat, en stopt zodra je ergens komt waar je al eerder geweest was. In het voorbeeld, met `i = 0`, is het antwoord  $9 + 14 + 14 = 37$  (van 0 naar 3 naar 1 naar 3). Neem aan dat  $0 \leq i < n$ . Hint: gebruik een Booleaans hulparray.

Opgave 4 van het tentamen van 3 januari 2019:

Gegeven is het volgende type:

```
class object { public: int info; object* volg1; object* volg2; };
```

Met behulp hiervan kan een lijst van objecten worden opgebouwd, bestaande uit vakjes met een getal, en twee pointers. Precies een van deze twee wijst naar het volgende object, de andere naar het vorige — maar je weet niet welke. Een voorbeeld, met `ingang` van type `object*`:



**a.** (6(\*)) Schrijf een C++-functie `voegtoe (ingang, getal)` die een nieuw object met `getal` erin netjes vooraan de lijst met `ingang` toevoegt. Je mag zelf kiezen welke van de twee pointers in het nieuwe object naar vorige en volgende object wijst. Zet in het oude eerste object (als dat bestaat) de terugwijzende pointer goed.

(\* ) maximaal aantal punten voor dit onderdeel; per som 25; tentamen  $4 \cdot 25 = 100$

Opgave 4 van het tentamen van 3 januari 2019, vervolg:

- b.** (6) Schrijf een C++-functie `verwijder` (`ingang`) die het eerste object uit de lijst met `ingang` netjes verwijdert, indien dit bestaat.
- c.** (4) Schrijf een C++-functie `hoogop` (`ingang`) die als er minstens twee objecten zijn en als het `info`-veld van het eerste object oneven is, dit ophoogt met het `info`-veld van het tweede object. In het voorbeeld: 7 wordt 42.
- d.** (3) In de functies bij **a**, **b** en **c** staat in de heading een pointer. Deze heb je call by value of call by reference doorgegeven (met een `&`). Maakt het voor de werking van deze functies verschil uit of die `&` erbij staat? Mag het, moet het? Leg duidelijk uit.
- e.** (6) Schrijf een C++-functie `repareer` (`ingang`) die ervoor zorgt dat na afloop alle `volg1`-pointers naar het volgende, en alle `volg2`-pointers naar het vorige object wijzen.

[www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/tentamens.php](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/tentamens.php)

En: [video's](#)

## Werkcollege Programmeermethoden 14 december 2023

Tentamen 5 januari 2016

1. In een array `int A[n]` staan  $n$  (een `const ≥ 1`) gehele getallen  $> 0$ .

a. (5) Schrijf een Booleaanse C++-functie `hoe (A,X,n)` die bepaalt of er een getal dat *hooguit* 1 van het gehele getal  $X$  verschilt in het array  $A$  voorkomt. Gebruik geen `(f)abs`.

b. (8) Schrijf een C++-functie `int langste (A,n,gem)` die de lengte uitrekent van een langste stijgende (of beter: niet-dalende) aaneengesloten deelrij in het array  $A$ . Hierbij moet `gem` het op de gebruikelijke manier naar een geheel getal afgeronde gemiddelde zijn van de getallen in de betreffende deelrij. Voor het array `1 7 1 1 2 7 6 3` zou het antwoord 4 zijn, namelijk de lengte van de deelrij `1 1 2 7`. En `gem` moet 3 worden (via  $11/4$ ). Als er meer deelrijen dezelfde maximale lengte realiseren: het gemiddelde van de lengtes.

c. (8) Schrijf een C++-functie `busort (A,n)` die het array  $A$  met de volgende variant van *bubblesort* oplopend sorteert. In de eerste ronde wordt het gehele array van links naar rechts doorlopen, in de tweede ronde van rechts naar links, in de derde van links naar rechts, etcetera. Stop als er tijdens een ronde geen verwisselingen waren.

d. (4) Hoeveel vergelijkingen tussen array-elementen worden minimaal/maximaal uitgevoerd in de functie van c? Geef voor beide situaties een voorbeeld.

2. (25) a. (6) Bij een functie kun je te maken hebben met *call by value* en *call by reference*, en ook met *locale* en *globale* variabelen. Verder onderscheiden we ook nog *formele* en *actuele* parameters. Leg deze zes begrippen duidelijk uit.

b. (6) Gegeven een C++-programma met daarin de volgende twee functies:

```
int hillary (int n, int m) {
 n--; return n+m-1; }//hillary
int donald (int n, int m) {
 int a = 6; m--; n += 2; a++;
 m = n + hillary (n,m) + hillary (m,n) + a;
 cout << a << ", " << m << ", " << n << endl; return a+m; }//donald
```

Verder zijn de globale variabelen `a` en `m` gegeven, beide van type `int`. Wat staat de inhoud van het volgende stukje programma (leg je antwoord duidelijk uit):

```
a = 1; m = 4; cout << donald (m,a) << endl;
cout << a << ", " << m << endl;
```

c. (5) We voegen nu vier maal een `& toe` bij de parameters in de heading van `hillary` en `donald`. Beantwoord opnieuw vraag b; leg uit waarom verschillende uitkomsten mogelijk zijn, en geef deze.

d. (4) Als in de functie `hillary` ergens `a = donald (42,a-a)`; staat, compileert het programma dan nog? Onderscheid gevallen met en zonder `&`.

e. (4) Geef een eenvoudige uitdrukking voor de functiewaarde van `donald (r,s)`, uitgedrukt in `r` en `s`, voor de situatie zonder `&`'s (net zoals bij b).

3. (25) Gegeven is een `m` bij `n` (beide `const > 0`) array  $M$  met gehele getallen  $≥ 0$ . Hierbij geeft `M[i][j] ≥ 0` het aantal mensen ter plaatse  $(i,j)$  aan (met  $0 ≤ i < m$  en  $0 ≤ j < n$ ). Zie hiernaast voor een voorbeeld met  $m = 4$  en  $n = 5$ . De constanten  $m$  en  $n$  hoeven bij deze opgave niet doorgegeven te worden als parameter.

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 0 | 4 | 2 | 0 |
| 7 | 2 | 4 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 0 | 4 | 1 |
| 6 | 9 | 3 | 1 | 0 |

a. (7) Schrijf een C++-functie `int druk (M,som)` die de index van de drukste kolom, dat wil zeggen de kolom met de grootste som, geeft. In `som` moet de desbetreffende som komen. In het voorbeeld kolom 0, met `som` gelijk aan 17. Als er meerdere kolommen dit maximum realiseren, geef degene met de hoogste kolomindex.

b. (8) Schrijf een C++-functie `int duos (M)` die het aantal horizontaal of verticaal direct aan elkaar grenzende (eventueel overlappende) paren geeft, waarbij de een precies het dubbele van de ander is. In het voorbeeld: 4-2, 2-4, 4-2, 1-2, 2-4, 2-1; 6 stuks.

c. (10) We lopen als volgt door het array  $M$ . Start bij  $(i,j)$ . De waarde van dit array-element geeft aan hoeveel plaatsen naar rechts je gaat; de waarde van de nieuwe plek bepaalt hoeveel plaatsen je omlaag gaat, enzovoorts. Als je rechts het array uitloopt kom je in dezelfde rij links weer binnen, en analoog voor de verticale richting. De wandeling stopt als je ergens komt waar je al eerder bent geweest (in het bijzonder bij een verplaatsing van  $(i,j)$ ).

d. (5) Schrijf een C++-functie `int aantal (M,i,j)` die het aantal stappen uitrekent; in  $i$  en  $j$  moeten de coördinaten van het laatst bezochte punt komen. In het voorbeeld, beginnend bij  $(0,0)$  eerst 3 naar rechts, dan 2 omlaag, dan 4 naar rechts, dan 0 omlaag en klaar: antwoord 4, en  $(i,j) = (2,2)$ . Hint: gebruik een Booleaans hulpparray.

4. (25) Gegeven is het volgende C++-programma met daarin de volgende twee functies: `int nr; char naam; kamer* volg; };` Hiermee wordt een lijst van kamers gemaakt (`naam` is een kleine letter of hoofdletter). Het veld `volg` bevat een pointer naar het volgende `kamer`-object, en `vorig` naar het vorige of voor-vorige, of `nullptr` als die er beide niet zijn. Een voorbeeld (eerste van type `kamer*`):



a. (5) Schrijf een C++-functie `voegtoe (eerste,kamernr,kamernm)` die een nieuw `kamer`-object `k` met `kamernr` en `kamernm` erin vooraan in de lijst met ingang `eerste` toevoegt. Zet de `vorig`-pointer van het oude voorste object (als dat bestond) ook goed.

b. (5) Schrijf een C++-functie `verwijder (eerste)` die het voorste `kamer`-object uit de structuur die door `eerste` wordt aangewezen, netjes verwijdert — mits het bestaat. Zet eventuele `vorig`-pointers die er naar wijzen goed.

c. (5) Schrijf een C++-functie `wissel (eerste)` die de `kamer`-nummers van de twee voorste kamers omwisselt, mits de ene letter de hoofdletter van de andere is (zoals in het voorbeeld; 4 en 5 worden verwisseld). Controleer of de lijst minstens twee objecten heeft.

d. (4) In de functies bij a, b en c staat in de heading een pointer. Deze heb je call by value of call by reference doorgegeven (met een `&`). Maakt het voor de werking van deze functies verschil uit of die `&` erbij staat? Mag het, moet het? Leg duidelijk uit.

e. (6) Schrijf een C++-functie `herstel (eerste)` die alle `vorig`-pointers, behalve die van de voorste twee objecten (zo die al bestaan), naar het voor-vorige object laat wijzen. In het voorbeeld zou de pointer bij het object met `P` erin naar het object met `G` erin moeten gaan wijzen, verder verandert er niets.

Zie [ww.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/tentamens.php](http://ww.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/tentamens.php) voor meer vragen en antwoorden!

## Opgave 2 van het tentamen van 4 januari 2013:

**b.** Gegeven een C++-programma met daarin de volgende twee functies:

```
bool mark (int a, int b) {
 int z;
 a = a + b; b = a - b; a = a - b; cout << "M" << a << ", " << b << endl;
 z += 10; return (a < b);
} //mark
int diederik (int b, int a) {
 bool temp; if (mark (b,a)) a += 2;
 while (a > 0) { temp = mark (a,b); a--; cout << a << ", " << b << endl; }
 z += 10; return (a + b + 2);
} //diederik
```

Verder zijn de globale variabelen `x`, `y` en `z` gegeven (van type `int`). Wat is dan de uitvoer van het volgende stukje programma (leg je antwoord duidelijk uit; tip: 9 komma's):

```
x = 1; y = 3; z = 1; x = diederik (y,z); cout << x << ", " << y << ", " << z;
```

**c.** Als **b**, maar nu met een `&` ("ampersand") bij de vier parameters van de functies.

**d.** Als **c**, dus met vier `&`'s erbij, voor:

```
x = 1; y = 3; z = 1; y = diederik (y,y); cout << x << ", " << y << ", " << z;
```

**e.** Als in `mark` ergens `a = diederik (static_cast<int>(mark (a,b)),y)`; staat, compileert het programma dan nog? Onderscheid gevallen met en zonder `&`.

| "main" |   |    | "diederik" |   |       | "mark" |   | tijd ↓                                   |
|--------|---|----|------------|---|-------|--------|---|------------------------------------------|
| x      | y | z  | a          | b | temp  | a      | b |                                          |
| 1      | 3 | 1  | 1          | 3 | ?     |        |   | aanroep diederik                         |
|        |   |    |            |   |       | 3      | 1 | eerste aanroep mark (z doet er niet toe) |
|        |   |    |            |   |       | 1      | 3 | cout: M1,3; geeft true terug             |
|        |   |    | 3          |   |       |        |   | "a += 2;" uit diederik                   |
|        |   |    |            |   |       | 3      | 3 | tweede aanroep mark                      |
|        |   |    |            |   |       | 3      | 3 | cout: M3,3; geeft false terug            |
|        |   |    | 2          |   | false |        |   | cout: 2,3                                |
|        |   |    |            |   |       | 2      | 3 | derde aanroep mark                       |
|        |   |    |            |   |       | 3      | 2 | cout: M3,2; geeft false terug            |
|        |   |    | 1          |   | false |        |   | cout: 1,3                                |
|        |   |    |            |   |       | 1      | 3 | vierde aanroep mark                      |
|        |   |    |            |   |       | 3      | 1 | cout: M3,1; geeft false terug            |
|        |   |    | 0          |   | false |        |   | cout: 0,3                                |
|        |   | 11 |            |   |       |        |   | geeft 5 terug aan x                      |
| 5      |   |    |            |   |       |        |   | cout: 5,3,11                             |

| "main" |                  |                  | "mark" | tijd ↓                       |
|--------|------------------|------------------|--------|------------------------------|
| x      | y                | z                | z      |                              |
|        | = b uit diederik | = a uit diederik |        |                              |
| 1      | 3                | 1                |        |                              |
|        | = a uit mark     | = b uit mark     | ?      | aanroep diederik             |
|        | 1                | 3                | 10     | eerste aanroep mark          |
|        |                  | 5                |        | cout: M1,3; geeft true terug |
|        | = b uit mark     | = a uit mark     | ?      | "a += 2;" uit diederik       |
|        | 5                | 1                | 10     | tweede aanroep mark          |
|        |                  | 0                |        | cout: M1,5; geeft true terug |
|        |                  | 10               |        | cout: 0,5                    |
| 17     |                  |                  |        | geeft 17 terug aan x         |
|        |                  |                  |        | cout: 17,5,10                |



| "main" |                                      |    | "mark" |                                                      |
|--------|--------------------------------------|----|--------|------------------------------------------------------|
| x      | y                                    | z  | z      | tijd ↓                                               |
|        | = a uit diederik<br>= b uit diederik |    |        |                                                      |
| 1      | 3                                    | 1  |        | aanroep diederik<br>aanroep mark                     |
|        | = a uit mark<br>= b uit mark         |    | ?      |                                                      |
|        | 0                                    |    | 10     | cout: M0,0; geeft false terug<br>geeft 2 terug aan y |
|        | 2                                    | 11 |        | cout: 1,2,11                                         |

e. Dit mag alleen als er geen & staat voor de eerste parameter van diederik, en er boven mark een prototype van diederik wordt gezet.



# Tentamen

---

- laatste werkcollege: donderdag 14 december 2023, 13:15 uur, Snellius 174: oude tentamens
- **tentamen:**  
woensdag 17 januari 2024, 13:00–16:00 uur,  
Universitair Sportcentrum; **aanmelden!**  
**hertentamen:**  
donderdag 28 maart 2024, 13:00–16:00 uur
- [www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/](http://www.liacs.leidenuniv.nl/~kosterswa/pm/)