

# Tentamen Kunstmatige Intelligentie

## Woensdag 7 juni 2023

### 9:00–12:00 uur

### Informatica



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

De te behalen punten (totaal 100) staan tussen haakjes bij de opgaven. Cijfers: te zijner tijd via Brightspace/uSis. Geef steeds een korte, duidelijke toelichting. Veel succes!

#### Opgave 1: A\*/IDA\* (25 punten)

a. (5) Leg het A\*-*algoritme* en het IDA\*-*algoritme* uit. Geef de verschillen duidelijk aan. Geef expliciet de formule voor  $f$  (wat stellen  $g$  en  $h$  voor?) en denk aan de stop-conditie.

b. (4) We bekijken een schuifpuzzel, waarin  $L$  het lege vakje voorstelt. Hiernaast staan begintoestand (boven) en eindtoestand (onder). De enige toegestane zet is het verwisselen van een getal met het direct horizontaal of verticaal aangrenzende lege vakje. Maak de toestand-actie graaf. Tip: 15 toestanden, waarvan 3 het lege vakje rechtsonder hebben.

1	2	
3	4	$L$

c. (3) We bekijken de heuristische functies  $h_1$  die telt hoeveel getallen er verkeerd liggen ten opzichte van het doel, en  $h_2$  die precies het kleinste aantal zetten tot het doel telt. Geef beide waarden naast de knopen in de graaf.

2	3	
1	4	$L$

d. (6) Voer het A\*-*algoritme* uit met heuristiek  $h_1$ .

e. (4) Wanneer is een heuristiek consistent? Heuristiek  $h_1$  heeft die eigenschap. Maak deze in één knoop inconsistent, zodanig dat je bij onderdeel **d** dit zo snel mogelijk zou merken.

f. (3) Hoeveel stappen/rondes heeft het IDA\*-*algoritme* nodig bij heuristiek  $h_1$  en hoeveel bij  $h_2$ ? Leg uit.

#### Opgave 2: $\alpha$ - $\beta$ -algoritme (20 punten)

Wit en Zwart spelen CLOBBER. Zwart begint, dan Wit, dan Zwart, enzovoorts. Als een speler niet kan, heeft deze verloren en de ander wint. In een zet moet een speler een direct horizontaal of verticaal aangrenzende steen van de andere kleur slaan, door deze weg te halen en de eigen steen daar neer te zetten. De beginpositie staat hiernaast. Een voorbeeldspel: Zwart  $C3 \rightarrow B3$ , Wit  $B2 \rightarrow A2$ ; Zwart kan niet en Wit wint ( $-1$ ).

3		○	●
2	●	○	
1		○	
	A	B	C

a. (5) Beschrijf in woorden het *expecti-minimax-algoritme*. Wat doet het algoritme in max-knopen, min-knopen, kansknopen, bladeren (twee soorten), ...?

b. (6) Maak de spelboom en bereken de minimax-waarde. Tip: er zijn 11 knopen, inclusief de wortel.

c. (3) Nu speelt Wit random (steeds alle mogelijkheden even waarschijnlijk), maar Zwart niet. Bereken de expecti-minimax-waarde.

d. (6) Nu stopt het spel na twee (gewone, niet-random) zetten. Als Wit dan niet normaal gewonnen heeft, gebruiken we als evaluatiewaarde 0.

Voer het  $\alpha$ - $\beta$ -*algoritme* uit voor deze versie. Zorg ervoor dat de ordening van de knopen zo is dat er zoveel mogelijk gesnoeid kan worden. Geef een korte rechtvaardiging voor het snoeien.

Geef ook een ordening waarin er helemaal niet gesnoeid wordt.

**Opgave 3: ID3 & Neurale netwerken** (20 punten)

Wanneer is eten goed? Op grond van zeven situaties uit het verleden kijken we naar  $sm(aak)$ ,  $geur$  en  $gez(ond)$ .

nr	sm	geur	gez	goed
1	+	+	+	+
2	-	+	-	-
3	-	-	-	-
4	$\approx$	+	+	+
5	$\approx$	?	$\pm$	-
6	+	-	-	+
7	+	?	$\pm$	-

a. (6) Leg het ID3-*algoritme* uit. Onderscheid hierbij vier gevallen voor de knopen: geen voorbeelden meer (wat gebeurt er dan?), ...

Geef de benodigde formules, zoals die voor de entropie  $H(p, n)$  bij  $p$  positieve en  $n$  negatieve gevallen; geef ook die voor de entropie na afloop van het splitsen op een attribuut met  $\nu$  waarden.

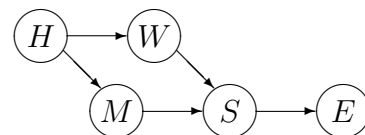
b. (7) Voer het ID3-*algoritme* uit voor bovenstaande database. Er is geen rekenmachine nodig!

c. (3) Wat is in dit geval de beste *decision stump*?

d. (4) Laat de kolom **sm** weg, evenals voorbeeld 3. Is het mogelijk om ? door - of + te vervangen, en evenzo  $\pm$ , zodanig dat een perceptron het resterende classificatie-probleem *niet* kan leren? Leg het antwoord uit met behulp van een eenvoudige tekening van een assenstelsel.

**Opgave 4: Bayesiaanse netwerken** (20 punten)

We hebben een *Bayesiaans netwerk* met vijf knopen, zie hiernaast.



a. (4) Welke kansen, en hoeveel, moeten hierbij gegeven zijn?

b. (6) Voor de *join-tree* methode voegen we knopen  $M$  en  $W$  samen.

Welke kansen (en hoeveel) moeten we nu geven, en hoe bereken je die uit de kansen van onderdeel **a**?

c. (4) Geef de vier soorten queries, en van elk een voorbeeld uit het originele netwerk. Eén van de voorbeelden moet de query van onderdeel **d** zijn.

d. (6) Druk de kans dat  $S$  “true” is, gegeven dat  $M$  en  $E$  “false” zijn, uit in de van onderdeel **a** “bekende” kansen, voor het originele netwerk. Gebruik de vertrouwde notatie: kleine letters staan voor het “true” zijn van de variabele met de bijbehorende hoofdletter.

**Opgave 5: Theorie (diversen)** (15 punten)

a. (5) We kijken naar een agent = student die een schriftelijk tentamen maakt. Leg uit a) waarom de omgeving als *semi-dynamisch* kan worden gezien, en b) op welk niveau de omgeving als *episodisch* kan worden gezien en op welk niveau als *sequentieel*.

b. (5) Waarvoor dienen *bias-knopen* in een *neuraal netwerk*, en hoeveel zijn er in een *feed-forward* netwerk met drie *verborgen lagen* (*hidden layers*)?

c. (5) We gaan een *SAT-solver* gebruiken om een  $9 \times 9$  *Sudoku* op te lossen. Daartoe maken we Booleaanse variabelen  $x_{ijk}$ , die precies **true** moeten zijn als op positie  $(i, j)$ , dus in rij  $i$  en kolom  $j$ , het getal  $k$  staat. Geef clausules die garanderen dat in iedere rij getallen hooguit één keer voorkomen.

En hoeveel van dergelijke clausules heb je nodig?