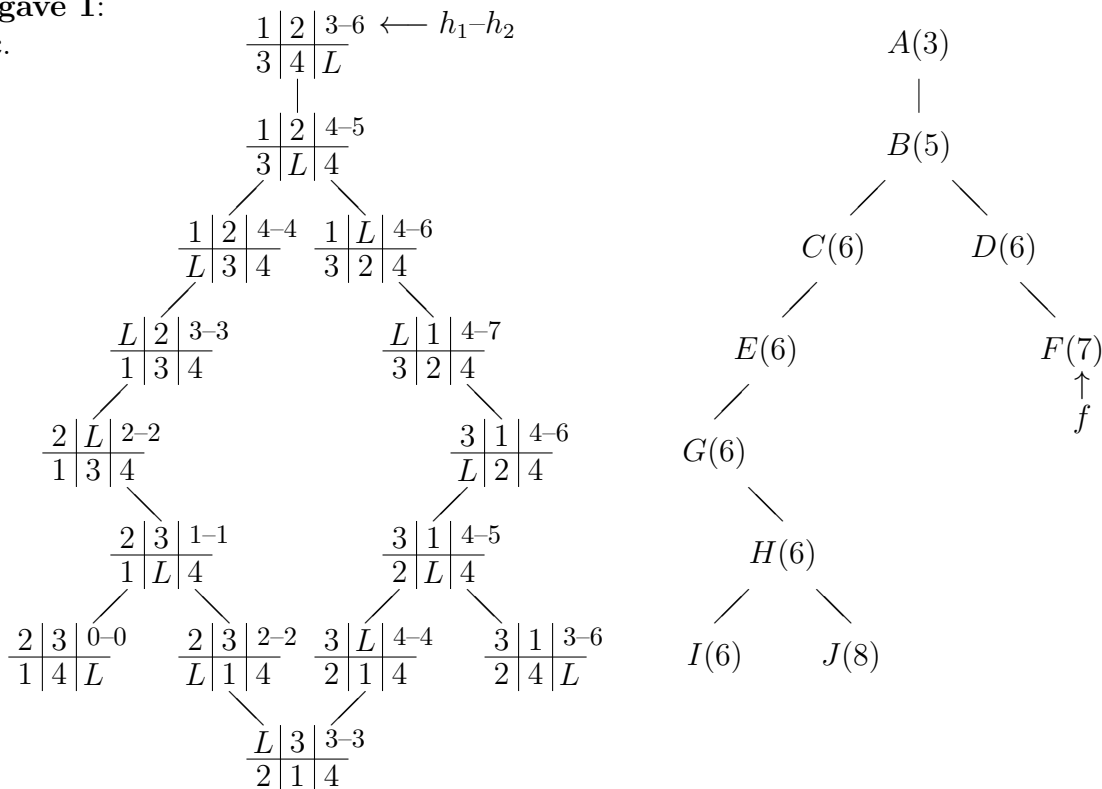


# Uitwerking tentamen Kunstmatige intelligentie 7.6.2023

## Opgave 1:

b/c.



d. Er is continu keuze uit de knopen in de frontier met  $f$ -waarde 6; deze kunnen in “willekeurige” volgorde geopend = geëxpandeerd worden.

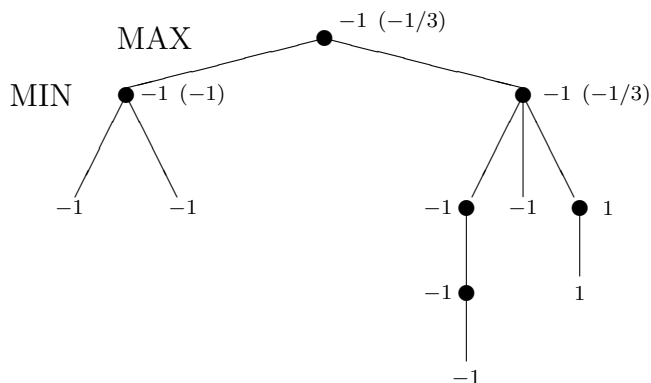
De frontier wordt  $\langle A \rangle$ , dan  $\langle B \rangle$ , dan  $\langle C, D \rangle$ , dan  $\langle D, E \rangle$  of  $\langle C, F \rangle$ , ... We lopen in feite door de boom rechtsboven. Kortste pad wordt  $ABCEGHI$ .

e. Geef toestand  $B$  een  $h_1$ -waarde 0. Dan geldt niet dat  $h_1(A) \leq 1 + h_1(B)$ , want  $3 \not\leq 1 + 0$ .

f. Met  $h_1$  doet IDA\* 3 DFS-rondes, met respectievelijk  $f_{\text{limiet}}$  gelijk aan 3, 5 en 6. Met  $h_2$  is er slechts één ronde nodig, met  $f_{\text{limiet}} = 6$ , waarin je meteen naar het doel loopt.

## Opgave 2:

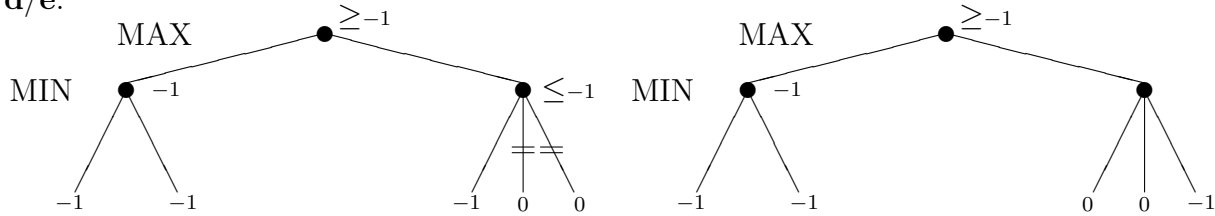
b/c.



De waarden van **c** staan tussen haakjes naast de waarden van **b**. De waarde in de wortel is  $\max(-1, -1/3) = -1/3$ .

In de knopen moeten eigenlijk CLOBBER-toestanden staan.

d/e.

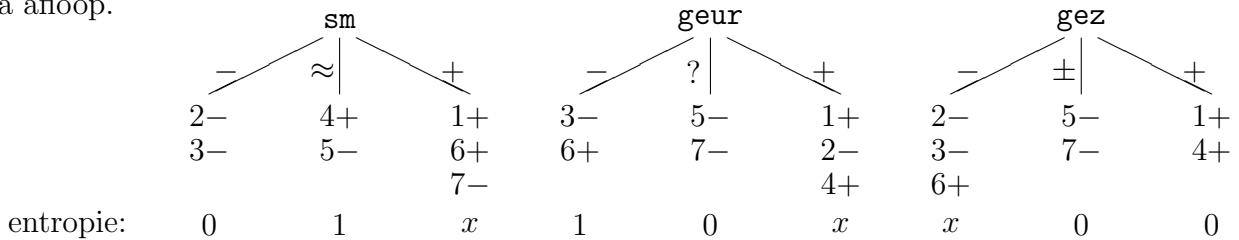


In de linker boom kunnen de twee bladeren rechtsonder gesnoeid worden: hun ouderknoop wordt hoogstens  $-1$ , en de wortel is al minstens  $-1$ . Daar veranderen die bladeren niets aan. Merk op dat het  $\alpha$ - $\beta$ -algoritme niet weet en ook niet gebruikt dat  $-1$  de allerlaagste waarde is die in het spel bereikt kan worden.

In de rechter boom kan niets gepruned worden.

### Opgave 3:

b. De entropie vooraf is  $-\frac{3}{7} \log \frac{3}{7} - \frac{4}{7} \log \frac{4}{7}$ , en na gebruik van **sm** wordt dat  $\frac{2}{7} \cdot 0 + \frac{2}{7} \cdot 1 + \frac{3}{7} \cdot x = \frac{2}{7} + \frac{3}{7} \cdot x$  (met  $x = -\frac{1}{3} \log \frac{1}{3} - \frac{2}{3} \log \frac{2}{3}$ ; geef een duidelijke berekening, zie boom linksonder), na gebruik van **geur** dat zelfde (zie middelste boom) en na gebruik van **gez**  $\frac{3}{7} \cdot x + \frac{2}{7} \cdot 0 + \frac{2}{7} \cdot 0 = \frac{3}{7} \cdot x$  (zie boom rechtsonder). Dus **gez** is het beste in de wortel, want dat geeft de laagste entropie na afloop.



Dan moet je de gevallen 2, 3 en 6 (**gez** =  $-$ ) nog aanpakken, en die kun je met **sm** uit elkaar houden (entropie 0 na afloop), en beter kan het niet; **geur** doet het slechter.

Je krijgt een boompje met wortel **gez**, met kinderen **gez**  $\overset{+}{\rightarrow}$   $+$ , **gez**  $\overset{\pm}{\rightarrow}$   $-$  en **gez**  $\overset{-}{\rightarrow}$  **sm**. En **sm** krijgt kinderen **sm**  $\overset{-}{\rightarrow}$   $-$ , **sm**  $\overset{+}{\rightarrow}$   $+$  en (!)  $\overset{\approx}{\rightarrow}$   $-$  (geen voorbeelden: “majority-waarde” van de ouderknoop).

c. De decision stump is een knoop met **gez** met drie kinderen: **gez**  $\overset{+}{\rightarrow}$   $+$ , **gez**  $\overset{\pm}{\rightarrow}$   $-$  en (!) **gez**  $\overset{-}{\rightarrow}$   $-$  (meerderheid van de voorbeelden).

d. Als we in **geur**  $? \rightarrow -$  en in **gez**  $\pm \rightarrow +$ , zijn de voorbeelden niet meer lineair te scheiden, en kan een perceptron het dus niet leren. Maak maar een eenvoudige tekening met assen **gez** en **geur**.

### Opgave 4:

b. Merk onder meer op dat de 4 kansen  $\mathbb{P}(w + m | h)$  ( $= \mathbb{P}(w | h) \cdot \mathbb{P}(m | h)$ ),  $\mathbb{P}(\neg w + m | h)$ ,  $\mathbb{P}(w + \neg m | h)$  en  $\mathbb{P}(\neg w + \neg m | h)$  naar 1 sommeren, dus één ervan is overbodig. Analoog voor de 4 kansen  $\mathbb{P}(w + m | \neg h)$ , ... Hierbij staat  $w + m$  voor het waar zijn van  $W$  en  $M$  in de samengevoegde knoop  $W + M$ .

d.  $\mathbb{P}(s | \neg m, \neg e) = \mathbb{P}(\neg e | s, \neg m) \mathbb{P}(s | \neg m) / \mathbb{P}(\neg e | \neg m)$  (Bayes). Het is overigens een “mixed” query.

Merk op dat  $\mathbb{P}(\neg e \mid s, \neg m) = \mathbb{P}(\neg e \mid s)$  (voorwaardelijke onafhankelijkheid).

Verder  $\mathbb{P}(s \mid \neg m) = \mathbb{P}(s \mid w, \neg m) \mathbb{P}(w) + \mathbb{P}(s \mid \neg w, \neg m) \mathbb{P}(\neg w)$ , waarbij  $\mathbb{P}(w) = \dots$

Tot slot:  $\mathbb{P}(\neg e \mid \neg m) = \mathbb{P}(\neg e \mid s) \mathbb{P}(s \mid \neg m) + \mathbb{P}(\neg e \mid \neg s) \mathbb{P}(\neg s \mid \neg m)$ .

**Opgave 5:** (De uitwerking is vrij compact.)

**a.** 1) Als er een tijdsaspect bij komt kijken, vergelijk een schaakklok bij schaken, waarbij de prestatie afhangt van de tijd, wordt het semi-dynamisch.

2) Als je een serie tentamens hebt, bijvoorbeeld in een tentamenweek, kun je het zien als episodisch. Een los tentamen is sequentieel. Vergelijk wederom een schaaktoernooi met een enkele wedstrijd.

**b.** Bias-knopen verzorgen de drempelwaardes in de neuronen waar ze mee verbonden zijn. Het genoemde netwerk heeft  $3 + 1 = 4$  biasknopen, één voor elke verborgen laag en één voor de uitvoerlaag. (Of als je anders telt: één voor de invoerlaag.)

**c.** Je moet afdwingen dat getal  $k$  in rij  $i$  niet tegelijk op verschillende plekken  $j$  en  $j'$  mag staan, dus  $\neg x_{ijk} \vee \neg x_{ij'k}$  voor  $1 \leq i \leq 9$ ,  $1 \leq j < j' \leq 9$  en  $1 \leq k \leq 9$ . In totaal  $9 \cdot \binom{9}{2} \cdot 9 = 2916$  clausules.

Let op: antwoorden die je op de sheets kunt vinden, zoals **1a**, de definitie van “consistent” bij **1e**, **2a**, **3a**, **4a**, een deel van **4b**, en **4c**, staan niet vermeld.