

Dit tentamen duurt drie uur en telt 24 meerkeuzevragen. Bij elke meerkeuzevraag is steeds precies één antwoord het juiste. Wel kunnen andere antwoorden “bijna juist” of “deels juist” zijn. Mochten er meerdere goede antwoorden zijn, dan geldt het beste antwoord. Omdat er verschillende versies van de opgaven bestaan, correspondeert de volgorde van de opgaven niet altijd met de volgorde van de stof zoals die behandeld is in de colleges. Per onderdeel kunnen twee punten worden verdient. $Cijfer = \min\{40, punten\}/4$. Met vier fouten is het dus nog mogelijk een 10 te halen.

Het is absoluut verboden literatuur, aantekeningen, een programmeerbare rekenmachine, of een telefoon te gebruiken. Het gebruik van een eenvoudige rekenmachine is toegestaan. Veel succes!

1. The Computational Beauty of Nature. Zowel op de site van het boek als in het boek zelf vermeldt Flake dat zijn betoog herhaaldelijk teruggrijpt op drie ideeën. (“*Basically, there are three key ideas that keep reappearing throughout the book.*”).

- Het geheel is groter dan de som der delen.
 - Het meest interessante spul zit in het midden.
 - Wetenschap is gedoemd tot onzekerheid—maar dat is goed.
- Complexe entiteiten kunnen altijd herleid worden tot fundamentele entiteiten.
 - De werkelijkheid kan uitsluitend door fysieke eigenschappen beschreven worden.
 - Wetenschap is gedoemd tot chaos—maar dat is goed.
- Eigenschappen horen niet wezenlijk tot de systemen zelf: ze zijn verzonnen door mensen.
 - Zelf-organiserende systemen vertonen emergent gedrag.
 - Wetenschap is nooit af—maar dat is goed.
- Het goede antwoord staat er niet bij.

2. Beschouw het kans-experiment waarin herhaaldelijk, zonder te stoppen, een munt wordt opgeworpen. Een realisatie van zo’n experiment is bijvoorbeeld

00100101110... (kop, kop, munt, kop, ...)

- De uitkomstenruimte is aftelbaar.
- Het is zeker dat, bij vaak genoeg werpen, ooit munt zal vallen.

Welke uitspraken zijn waar?

- i* en *ii*.
- Alleen *i*
- Alleen *ii*
- Geen enkele uitspraak is waar.

3. (Ant colony optimisation.) In mierenkolonie-optimalisatie worden in het algemeen drie parameters gebruikt, te weten α , β en ρ :

- $\alpha \in [0, 1]$: neiging om te exploreren, dat wil zeggen, de neiging van een individuele mier om, proportioneel naar aantrekkelijkheid van een weg, een willekeurige weg¹ in te slaan (0 niet, 1 altijd).
- $\beta \geq 0$: weging van weg-lengte t.o.v. feromoon in de bepaling van de aantrekkelijkheid van een weg (0 irrelevant, $\rightarrow \infty$ relevant).
- $\rho \in [0, 1]$: verdampings-snelheid van feromoon (0 niet, 1 instantaan). In feite is dit gewoon een leerfactor.

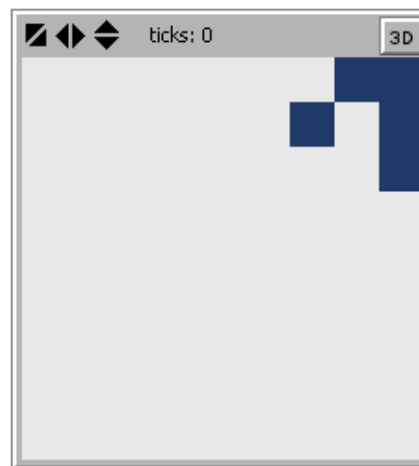
Beschrijf wat er gebeurd in de volgende situaties:

- A) α is laag. C) β is laag. E) ρ is laag.
 B) α is hoog. D) β is hoog. F) ρ is hoog.

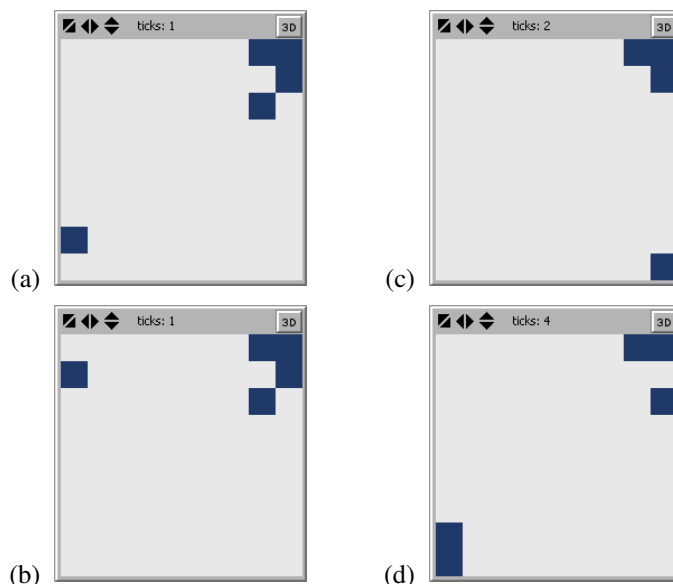
- Voorkeur voor globaal optimum (feromoon) i.p.v. lokaal optimum (kortste weg). Kleine variëteit aan routes.
- Voorkeur voor lokaal optimum (kortste weg) i.p.v. globaal optimum (feromoon). Grote variëteit aan routes, ook in latere generaties.
- Langzaam leren, maar uiteindelijk dicht bij optimum.
- Snel leren, maar uiteindelijk sterke fluctuatie rond optimum.
- Volatiliteit notie “optimale toer” is laag, i.e., de kwaliteit van toeren zal door de generaties heen langzaam veranderen.
- Volatiliteit notie “optimale toer” is hoog.

- $A \Rightarrow 1), B \Rightarrow 2), C \Rightarrow 3), D \Rightarrow 4), E \Rightarrow 5), F \Rightarrow 6)$
- $A \Rightarrow 3), B \Rightarrow 4), C \Rightarrow 1), D \Rightarrow 2), E \Rightarrow 5), F \Rightarrow 6)$
- $A \Rightarrow 3), B \Rightarrow 4), C \Rightarrow 5), D \Rightarrow 6), E \Rightarrow 1), F \Rightarrow 2)$
- $A \Rightarrow 5), B \Rightarrow 6), C \Rightarrow 3), D \Rightarrow 4), E \Rightarrow 1), F \Rightarrow 2)$

4. Beschouw een 8×8 cellulaire automaat met regels volgens Conway’s game of life. De randen van het rooster in deze cellulaire automaat zijn met elkaar geïdentificeerd volgens de fles van Klein, waarbij in dit geval de linker- en rechterrands van het rooster tegengesteld zijn georiënteerd.



Geef de configuratie van deze automaat na één iteratie. (Zowel aan de voor- als achterkant zijn cellen blauw gekleurd.)



5. We werken met Common Lisp. Evalueer de volgende s-expressies. Bij een foutmelding volstaat het “Error.” op te schrijven.

- `' (+ 1 (* 2 3))`

¹ Onder een weg wordt een (bestaande) lijn van punt tot punt verstaan. Normaal wordt dit in grafentheorie een *kant* (Eng.: *edge*) genoemd.

- $(+ 1' (* 2 3))$
- $(+ 1 (* 2 3))$
- $(+ 1' (* 2 3))$

- (a) Eerst $(+ 1 (* 2 3))$, dan 7, dan $(+ 1' (* 2 3))$, dan Error.
- (b) Eerst $(+ 1 (* 2 3))$, dan 7, dan Error, dan $(+ 1' (* 2 3))$.
- (c) Eerst $(+ 1 (* 2 3))$, dan $(+ 1' (* 2 3))$, dan 7, dan Error.
- (d) Eerst $(+ 1 (* 2 3))$, dan $(+ 1' (* 2 3))$, dan Error, dan 7.

6. Hoeveel kruisingen zijn er mogelijk tussen

$$(if (< x 3) (if (< y 5) (rand) 3) z)$$

en zichzelf? Top-expressies mogen ook kruisen, en er mag ook op dezelfde plek gekruist worden. Verder mag worden aangenomen dat alle niet-Boolse termen hetzelfde type hebben.

- (a) 29
- (b) 54
- (c) 85
- (d) Het goede antwoord staat er niet bij.

7. Beschouw een GA met populatiegrootte $n \geq 1$. De eerste generatie bestaat uit genotypen

$$G = \{g_1, \dots, g_n\}$$

met fitness respectievelijk $f_1 < f_2 < \dots < f_{n-1} < f_n$, waarbij $f_i \in [0, \infty)$. (Dus de fitness van g_1 is f_1 , de fitness van g_2 is f_2 , enz.) Een mating pool ter grootte n wordt gevuld door n keer toernooi-selectie op G toe te passen, telkens met toernooi-grootte $k \geq 1$.

Hoe groot is de kans dat bij het vullen van de mating pool g_i tenminste één keer in de mating pool wordt geplaatst?

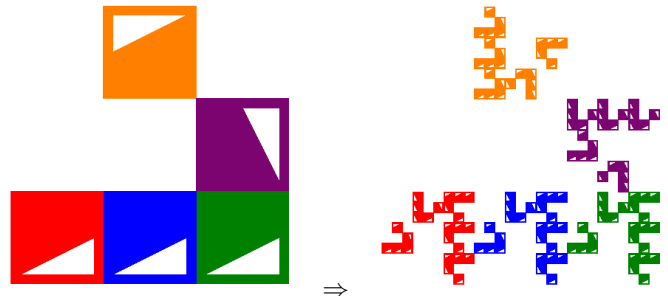
(a)
$$\begin{cases} \left(1 - \frac{\binom{i-1}{k-1}}{\binom{n}{k}}\right)^n & \text{als } i \geq k, \\ 0 & \text{anders.} \end{cases}$$

(b)
$$\begin{cases} 1 - \left(1 - \frac{\binom{i-1}{k-1}}{\binom{n}{k}}\right)^n & \text{als } i \geq k, \\ 1 & \text{anders.} \end{cases}$$

(c)
$$\begin{cases} \left(1 - \frac{\binom{i-1}{k-1}}{\binom{n}{k}}\right)^n & \text{als } i \geq k, \\ 1 & \text{anders.} \end{cases}$$

(d)
$$\begin{cases} 1 - \left(1 - \frac{\binom{i-1}{k-1}}{\binom{n}{k}}\right)^n & \text{als } i \geq k, \\ 0 & \text{anders.} \end{cases}$$

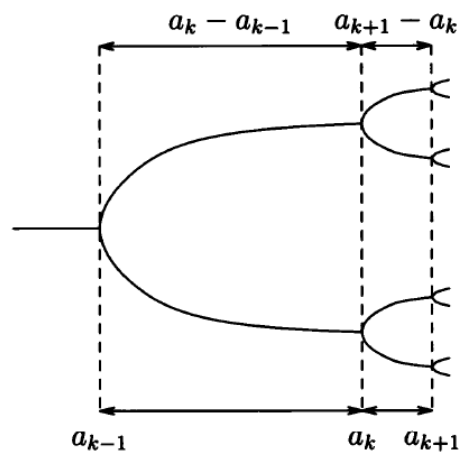
8. Nieuwe inzichten ontstaan door schijnbaar ongerelateerde zaken met elkaar te verbinden. Laten we een fractal maken van een glider in Conway's life:



Deze fractal is gegenereerd door een IFS bestaande uit de volgende operaties.

- (a) Vijf verkleiningen met factor 3, waarvan drie verkleiningen gevolgd worden door rotaties van 90^0 , één gevolgd door een rotatie van 180^0 en één gevolgd door een rotatie van 270^0 . Tenslotte worden alle beelden getransleerd over vectoren resp. $(1/3, 0)$, $(2/3, 0)$, $(1, 2/3)$, $(1/3, 1)$, en $(1, 0)$.
- (b) Vijf verkleiningen met factor 3, waarvan drie verkleiningen gevolgd worden door rotaties van -90^0 , één gevolgd door een rotatie van -180^0 en één gevolgd door een rotatie van -270^0 . Tenslotte worden alle beelden getransleerd over vectoren resp. $(1/3, 0)$, $(2/3, 0)$, $(1, 2/3)$, $(1/3, 1)$, en $(1, 0)$.
- (c) Vijf verkleiningen met factor 3, waarvan drie verkleiningen gevolgd worden door rotaties van 90^0 , één gevolgd door een rotatie van 180^0 en één gevolgd door een rotatie van 270^0 . Tenslotte worden alle beelden getransleerd over vectoren resp. $(1/3, 0)$, $(2/3, 0)$, $(1, 0)$, $(1, 2/3)$, en $(1/3, 1)$.
- (d) Vijf verkleiningen met factor 3, waarvan drie verkleiningen gevolgd worden door rotaties van -90^0 , één gevolgd door een rotatie van -180^0 en één gevolgd door een rotatie van -270^0 . Tenslotte worden alle beelden getransleerd over vectoren resp. $(1/3, 0)$, $(2/3, 0)$, $(1, 0)$, $(1, 2/3)$, en $(1/3, 1)$.

9. Bekijk het bifurcatiediagram van de logistieke afbeelding:



De limiet van de rij $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots$ waarbij

$$d_k = \frac{a_k - a_{k-1}}{a_{k+1} - a_k}$$

heeft een naam.

- (a) De constante van Feigenbaum.
- (b) De constante van Langton.
- (c) De constante van Poincaré.
- (d) De constante van Turing.

10. Het beeld van de logistieke afbeelding $x \mapsto rx(1-x) \dots$

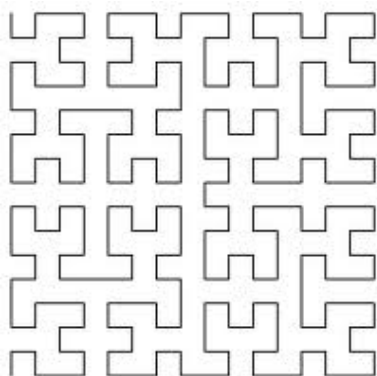
- i) ... ligt dicht in $[0, 1]$, voor een $r \in (0, 4]$.
- ii) ... ligt dicht in $[0, 1]$, voor elke $r \in (0, 4]$.

- iii) ... is chaotisch, voor een $r \in (0, 4]$.
 iv) ... is chaotisch, voor elke $r \in (0, 4]$.

Welke van deze uitspraken zijn waar?

- (a) *i* en *ii*.
 (b) *i* en *iii*.
 (c) *ii* en *iv*.
 (d) Geen enkele.

11. De Hausdorff-dimensie van de vlakvullende Hilbert-curve waarvan hier



een iteratie getoond wordt is gelijk aan

- (a) 1
 (b) $(1 + \sqrt{5})/2$
 (c) 2
 (d) Het goede antwoord staat er niet bij.

12. Iemand construeert op een rooster de volgende "cellulaire automaat":

- Een toestand van een cel is een element uit \mathbb{Z} .
- Cellen veranderen één voor één van toestand.
- Bij het bepalen van een nieuwe toestand van een cel wordt gekeken of er een cel met dezelfde x - of y -coördinaat bestaat, waarvan de toestand een gelijk is aan de toestand van de oorspronkelijke cel.
 - Als dat zo is zal de toestand van de oorspronkelijke cel met 1 afnemen.
 - Anders zal de toestand van de oorspronkelijke cel met 1 toenemen.

Waarom is dit geen cellulaire automaat?

- (a) Een cel kan hier oneindig veel toestanden aannemen.
 (b) Cellen veranderen hier één voor één van toestand.
 (c) Toestand-overgangen worden hier door oneindige omgevingen bepaald.
 (d) Het goede antwoord staat er niet bij.

13. Welke van de combinatorische optimalisatie-problemen is, als ja/nee-vraagstuk, **geen** NP-volledig probleem?

- (a) Job-shop scheduling.
 (b) Quadratic assignment problem.
 (c) Shortest path problem.
 (d) Travelling salesman problem.

14. Welke van de hieronder geformuleerde methoden is **geen** selectiemethode in evolutionaire algoritmen?

- (a) Rank-based selection.
 (b) Replacement selection.
 (c) Tournament selection.
 (d) Truncated selection.

15. Bekijk de volgende twee functies:

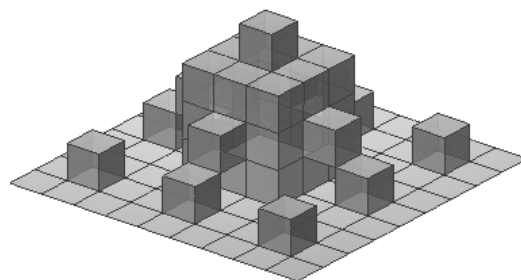
$$f : [0, 5) \rightarrow [0, 5) : x \rightarrow x + e \pmod{5}$$

$$g : [0, 2\pi) \rightarrow [0, 2\pi) : x \rightarrow 3x \pmod{2\pi}$$

Bekijk de volgende uitspraken over functies:

- (i) De functie is quasi-periodiek.
 (ii) De functie is voor sommige startwaarden quasi-periodiek, en voor andere niet.
 (iii) De functie is niet quasi-periodiek.
 (a) Voor één functie geldt (15i), en voor de andere functie geldt (15ii)
 (b) Voor één functie geldt (15i), en voor de andere functie geldt (15iii)
 (c) Voor één functie geldt (15ii), en voor de andere functie geldt (15iii)
 (d) Het goede antwoord staat er niet bij.

16. De Hausdorff dimensie van de (volledig massieve) fractal waarvan hier



de 2e iteratie getoond wordt is gelijk aan

- (a) $\log 13 / \log 3$
 (b) $\log 13 / \log 9$
 (c) $\log 40 / \log 3$
 (d) $\log 40 / \log 9$

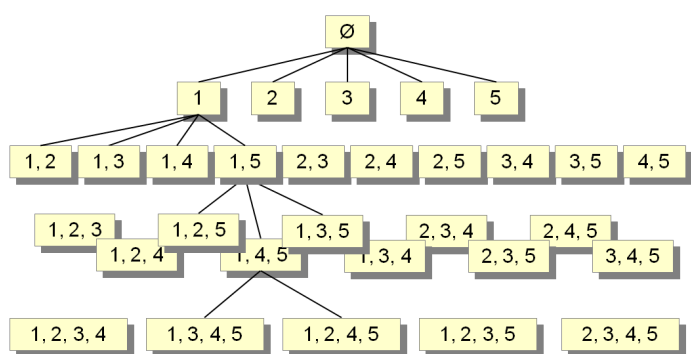
17. In het voorwoord en in Hoofdstuk 1 van *The Computational Beauty of Nature* legt Flake uit dat er drie manieren om te begrijpen "hoe dingen werken". Welke manieren zijn dat?

- (a) Systemen zien als één geheel (monisme); systemen zien als een stelsel van tegenwerkende krachten (dualisme); begrijpen van overgangen tussen monisme en dualisme.
 (b) Systemen begrijpen door ze te observeren (empirisme); systemen begrijpen door er over te redeneren (rationalisme); het combineren van deze twee: redeneren over observaties.
 (c) Begrijpen van de onderdelen (reductionisme); begrijpen van het geheel, zonder te letten op de onderdelen (holisme); begrijpen van interactiepatronen tussen onderdelen.
 (d) Het goede antwoord staat er niet bij.

18. Hoe termieten houtsnippers transporteren kan worden gesimuleerd met een n -vazen model.



In dit model bevatten n vazen aan het begin van een simulatie elk één knikker, waarna in het verloop van de simulatie knikkers uit vazen springen naar andere niet-lege vazen, totdat een eindtoestand bereikt wordt. Hieronder wordt een klassendiagramm getoond van dit proces met $n = 5$. We zeggen dat de simulatie stopt als ballen niet meer overspringen.



Bekijk de volgende uitspraken:

- Het proces zal uiteindelijk zeker stoppen.
- Het proces zal met kans 1 uiteindelijk stoppen.
- Het proces zal uiteindelijk zeker in een absorberende toestand terechtkomen.
- Het proces zal met kans 1 uiteindelijk in een absorberende toestand terechtkomen.

Welke van deze uitspraken zijn waar?

- Allemaal.
- Alleen uitspraken *i*) en *iii*).
- Alleen uitspraken *ii*) en *iv*).
- Het goede antwoord staat er niet bij.

19. Bekijk de volgende twee uitspraken.

- Chaos is een deterministisch proces.
 - Chaotisch gedrag is reproduceerbaar.
- Beide uitspraken zijn waar.
 - Alleen uitspraak (19i) is waar.
 - Alleen uitspraak (19ii) is waar.
 - Beide uitspraken zijn onwaar.

20. Flake spreekt over drie verschillende attributen die de interactie tussen agenten zo interessant maakt. Welke attributen zijn dat?

- Parallellisme, recursie, en adaptatie.

- Onafhankelijkheid, representatie, en herkenning.
- Inter-operabiliteit, representatie, en adaptatie.
- Het goede antwoord staat er niet bij.

21. In een computersimulatie is het mogelijk de volgende toestanden te bereiken.

- Stabiliteit en periodiciteit.
- Stabiliteit, periodiciteit en quasi-periodiciteit.
- Stabiliteit, periodiciteit en chaos.
- Stabiliteit, periodiciteit, quasi-periodiciteit en chaos.

22. Bekijk de verzameling van alle inputloze Java-programma's die niet stoppen.

- Deze verzameling is aftelbaar.
- Deze verzameling is opsombaar.

Welke uitspraken zijn waar?

- i*) en *ii*).
- Alleen *i*).
- Alleen *ii*).
- Het goede antwoord staat er niet bij.

23. Het shaduwlemma voor chaotische systemen kan informeel als volgt worden geformuleerd:

- Alle berekende trajecten worden geschaduwd door reële trajecten.
- Sommige berekende trajecten worden geschaduwd door reële trajecten.
- Alle reële trajecten worden geschaduwd door berekende trajecten.
- Sommige reële trajecten worden geschaduwd door berekende trajecten.

24. Beschouw de volgende grammatica voor het genereren van rekenkundige expressies:

```

<expr> ::= ( - <expr> )
          | ( <expr> <op> <expr> )
          | <atom>
<op>   ::= + | - | * | /
<atom> ::= <var> | <num>
<var>  ::= a | b | c | d
<num>  ::= 0 | 0.1 | 0.5 | 1

```

Als chromosomen nemen we bitstrings met lengte 12. Hoe groot moet de lengte van een codon minimaal zijn om alle grammaticaal geldige expressies te kunnen genereren?

- Twee.
- Drie.
- Vier.
- Het goede antwoord staat er niet bij.

Einde van alle opgaven. Heb je je antwoorden gecontroleerd? Collegekaart tonen tijdens inleveren. Opgaven mogen worden meegenomen.

Bedankt voor je deelname en een prettig weekeinde!