

Naam: Collegekaart-nummer:

- Legitimatie verplicht.
- Je mag tijdens de eerste 30 minuten de tentamenzaal niet verlaten.
- Op de tafel: legitimatie, tentamenvel, wetenschappelijke rekenmachine, schrijfgerei, A4tje met aantekeningen, eten, drinken.
- Niet op de tafel: al het overige. (Eigen kladpapier, etui, dictaat, slides, telefoon, programmeerbare rekenmachine.)
- Het gebruik van markeerstiften is niet toegestaan.
- Als je naar het toilet wilt, steek je je vinger op om een surveillant te waarschuwen. Hij of zij zal je toestemming geven om te gaan en met je meelopen naar het toilet. Toiletbezoek is niet toegestaan tijdens het eerste en het laatste halfuur van het tentamen. Redelijkerwijs gaat de surveillant er vanuit dat je hooguit éénmaal tijdens het tentamen het toilet bezoekt.
- Het is uitdrukkelijk verboden een telefoon of vergelijkbare elektronische apparatuur mee naar het toilet te nemen.
- Verplicht inleveren: alle antwoordbladen, ook als ze leeg zijn.
- Niet inleveren: de opgavenbladen.
- Nadat je de tentamenzaal hebt verlaten, is het niet toegestaan je op te houden in de gangen/hal direct buiten de tentamenzaal in verband met geluidsoverlast en toiletbezoek. Je volgt de instructies van de surveillant op.

Meerkeuze antwoorden

- Bij elke vraag is steeds precies één antwoord het juiste. In enkele gevallen kunnen andere antwoorden “bijna juist” of “deels juist” zijn. In dergelijke gevallen geldt het beste antwoord.
- Antwoord in de daarvoor bestemde vakjes door een kruisje te plaatsen. Heb je je vergist, kras dan het kruisje door, en zet een kruisje in een ander vakje.
- Het is mogelijk om aan de surveillant een nieuw antwoordvel te vragen. Onze voorraad vellen is eindig, first come first serve.
- Omdat er verschillende versies van de opgaven bestaan, correspondeert de volgorde van de meerkeuzevragen opgaven niet altijd met de volgorde van de stof zoals die behandeld is in de colleges.

Succes!

	A	B	C	D
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				

	A	B	C	D
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				

	A	B	C	D
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				

Kladpapier.

Meerkeuzevragen

1. Welke van de volgende beweringen zijn waar?

- i) Het rugzak-probleem en het handelsreiziger-probleem zijn even moeilijk.
- ii) Elk NP-volledig probleem is even moeilijk als het handelsreiziger-probleem

- (a) Geen.
- (b) Alleen i).
- (c) Alleen ii).
- ✓ Beiden.

2. Een lerend classificatie-systeem (LCS), als begrip, is:

- (a) Hiërarchisch clusteren (cluster-centrum is classifieer).
- (b) Partioneel clusteren (cluster-centrum is classifieer).
- ✓ Een aan evolutie onderhevige verzameling afleidingsregels.
- (d) Het leren van afleidingsregels waarbij de conclusie van de afleidingsregel onbepaald is.

3. Niet-evidente implementeerbaarheid en het mogelijk wegvallen van selectiedruk zijn twee nadelen van

- ✓ fitness-proportionele selectie.
- (b) toernooi selectie.
- (c) rang selectie.
- (d) stochastische selectie.

4. Wat wordt er in genetisch programmeren verstaan onder "bloat"?

- ✓ Survival of the fittest.
- (b) Het nadeel dat de fitness van de door evolutie gevonden programma's run-time getest moet worden.
- (c) Het verschijnsel dat elementen van inhomogene term-verzamelingen niet zo maar onderling mogen worden gekruist.
- (d) Het verschijnsel dat in de constructie van de initiële populatie syntaxbomen moeten worden geconstrueerd, wat tijdrovend is.

5. Watson en Pollack kiezen er in hun experiment voor om genotypen te representeren door middel van bitstrings. Wat is, wat hen betreft, hiervoor het meest belangrijke motief?

(a) Op deze manier laten bitstrings zich op een voor de hand liggende manier kruisen.

(b) Op deze manier laten bitstrings zich op een voor de hand liggende manier muteren.

(c) Op deze manier zijn mutaties evenredig verdeeld over bitstrings.

✓ Op deze manier is bij een fit individu de kans op verslechtering bij muteren groter dan de kans op verbetering.

Antwoord. Het goede antwoord is in overeenstemming met de genetica, meer i.h.b. met wat de gezaghebbende evolutiebioloog R.A. Fischer heeft gezegd, namelijk dat in latere stadia van de evolutie mutaties bijna altijd een nadelig effect hebben (R.A. Fischer, *The genetical theory of natural selection*, 1930).

6. In Lovelock's Daisy world komen bij een relatief lage temperatuur alleen nog maar witte daisies voor. De temperatuur stijgt. Wat zal er gebeuren?

(a) Het aantal witte daisies zal toenemen totdat een temperatuur-evenwicht is bereikt. Vanaf dan is er een globaal evenwicht.

(b) Het aantal witte daisies zal afnemen totdat een temperatuur-evenwicht is bereikt. Vanaf dan is er een globaal evenwicht.

✓ Het aantal witte daisies zal toenemen totdat een temperatuur-evenwicht is bereikt. Dit evenwicht is tijdelijk. Bij een te hoge temperatuur zullen de witte daisies uiteindelijk verdwijnen.

(d) Het aantal witte daisies zal afnemen totdat een temperatuur-evenwicht is bereikt. Dit evenwicht is tijdelijk. Bij een te hoge temperatuur zullen de witte daisies helemaal verdwijnen.

Antwoord. De witte daisies floreren bij een hoge temperatuur waardoor er meer witte daisies ontstaan. Door het albedo (reflectievermogen) van witte daisies zal de temperatuurstijging aanvankelijk getemperd worden totdat de witte daisypopulatie het niet meer aan kan. Vanaf dat moment zullen de witte daisies geleidelijk aan verdwijnen. Dit kun je proefondervindelijk controleren met het Daisy world model uit de programmabibliotheek van Netlogo.

2018: afgekeurd, vraagstelling te onduidelijk.

7. Wat doet een deeltje in het Physarummodel van Jones en Adamatzky als het staat op een patch p_1 en naar een patch p_2 wil dat al bezet is door een ander deeltje?

- Het blijft staan op p_1 en scheidt geen feromoon af.
- (b) Het blijft staan op p_1 en scheidt feromoon af.
- (c) Het gaat naar p_2 en scheidt geen feromoon af.
- (d) Het gaat naar p_2 en scheidt daar feromoon af.

Antwoord. Cf. bronartikel J. Jones & A. Adamatzky (2011). "Influences on the formation and evolution of Physarum Polycephalum inspired emergent transport networks". In: *Natural Computing* **10**, pp. 1345-1369.

8. Een symptoom van ongevarieerde tegenstand in co-evolutie is

- Het regelmatig wegvallen van selectiedruk.
- (b) Over-specialisatie.
- (c) Relativisme.
- (d) Evolutie in de verkeerde richting (negative pull).

9. Welk algoritme kan alleen in batch modus werken?

- K -means
- (b) Competitief leren.
- (c) Ongesuperviseerd competitief leren.
- (d) Kohonen netwerken.

10. (Co-evo.) Geef de verwachte score van een genotype met attribuutwaarden (21, 78), als dit genotype volgens de Min- d maat wordt vergeleken met een steekproef ter grootte twee uit een populatie van vijf genotypen met attribuutwaarden (12, 50), (43, 61), (91, 15), (88, 11), en (57, 41).

- (a) 6/5.
- 7/5.
- 8/5.
- (d) Het goede antwoord staat er niet bij.

Antwoord.

- (a) (21, 78) verschilt 't minst van (12, 50) op de eerste coördinaat, dus (21, 78) wint van (12, 50).
- (b) (43, 61) wint van (12, 50).
- (c) (21, 78) wint van (91, 15).
- (d) (21, 78) en (88, 31) verschillen op beide coördinaten evenveel. In dat geval wordt volgens de Min- d maat voor het verschil in de tweede coördinaat gekozen, en wint (21, 78).
- (e) (21, 78) verliest van (57, 41).

$1 \times$ kiezen uit $\{1, 1, 1, 1, 0\}$ geeft gemiddeld $4/5$, dus $2 \times$ kiezen uit $\{1, 1, 1, 1, 0\}$ geeft gemiddeld $2 \times 4/5 = 8/5$. Dit is Probleem 1 uit Inleveropgave 6. Zie daar voor een uitgebreidere uitwerking.

Opmerking. Bij de non-deterministische versie van de Min- d maat (bij gelijke kortste afstand a-select kiezen) is het antwoord $7/5$. Daar de uitwerking van de inleveropgave deze maat hanteerde, wordt $7/5$ niet fout gerekend.

11. G is een populatie genotypen g_1, \dots, g_n met fitness resp. $f_1 < \dots < f_n$. Dus $|G| = n$.

Geef de kans dat f_i wordt geselecteerd bij rang-gebaseerde selectie.

- (a) i/n .
- (b) $i/(1 + \dots + n)$.
- $2i/n(n-1)$.
- (d) Kan niet worden gegeven.

Antwoord. Rang i gedeeld door som van de rangen $(n-1)n/2$.

12. Daisy world wordt op een standaard manier geïnitieerd. Na verloop van tijd ontstaat er een

- (a) Schlenk evenwicht.
- (b) Gepunteerd evenwicht.
- Homeostatisch evenwicht.
- (d) Nash evenwicht.

Antwoord. Gepunteerd: evolutionaire biologie. Schlenk: chemie. Nash: speltheorie.

13. In veel massieve multi-agent modellen wordt gewerkt met feromoon op patches. Dit feromoon verdampt en verspreid (Eng.: evaporates and diffuses). In welke volgorde dient dit te gebeuren?

- (a) Simultaan.
- (b) Eerst verdampen dan verspreiden.
- (c) Eerst verspreiden dan verdampen.
- ✓ Maakt niet uit.

Antwoord. Eerst $0 \leq p \leq 1$ overall af halen en dan $0 \leq q \leq 1$ weggeven aan acht burens, of eerst q weggeven aan acht burens en dan p feromoon overall weghalen komt op hetzelfde neer. Ook het vervlechten van deze processen per infinitesimale tijdseenheid (= simultaan verdampen dan verspreiden) komt op hetzelfde neer.

14. (ZCS, bucket brigade.) Gegeven:

- De leer-parameters zijn gelijk aan

Leerfactor	β	0.1
Discount factor	γ	0.8
Tax	τ	0.1
Kans op een GA operatie	ρ	0.2
Covering trigger	ϕ	0.5

- De winnende classifier wordt deterministisch geselecteerd uit A als zijnde de eerste sterkste regel.

Gegeven is de populatie P van regels:

```
SR...R:U:34 | .R.S.R:D:04
.RS#.S:D:51 | R.R...:R:28
..#.S.:R:27 | #.S...:U:31
..RS...D:19 | .SS##R:L:20
..#. #:U:14 | #...R.:L:41
.S.#.R:L:18 | #.#.S#:R:33
..#.S#:R:15 | S..RR.:D:28
```

De situatie $..R.S.$ wordt gedetecteerd. Nadat hiervoor een actie is geselecteerd en uitgevoerd, wordt een reward 30 ontvangen. Bereken de inhoud van de bucket B .

- ✓ 7.5.
- (b) 8.5.
- (c) 9.5.
- (d) 10.5.

Antwoord. De match set M is gelijk aan alle regels waarvan de antecedent past op de situatie.

$$M = \left\{ \begin{array}{l} ..#.S.:R:27 \\ ..#.S#:R:15 \\ ..#. #:U:14 \\ #.#.S#:R:33 \end{array} \right\}.$$

De winnaar w is het sterkste element uit de match set M , dat is $..#.S#:R:33$. De action set A bestaat uit alle regels met een consequent die gelijk is aan de consequent van de winnaar:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} ..#.S.:R:27 \\ ..#.S#:R:15 \\ #.#.S#:R:33 \end{array} \right\}.$$

Vervolgens wordt een deel β , uniform geschaapt van $s(A)$, en gestopt in de bucket B :

$$\begin{aligned} B &= \beta s(A) = \beta(27 + 15 + 33) \\ &= 0.1(27 + 15 + 33) = 7.5. \end{aligned}$$

15. In de context van ongesuperviseerd leren hebben het bereik van een cluster-centra in K -means en competitief leren de volgende naam.

- (a) Radiaal-gebieden.
- ✓ Voronoi-gebieden.
- (c) Graviteits-gebieden.
- (d) Aantrekkings-gebieden (Eng.: basins of attraction).

Antwoord. De notie aantrekkingsgebied bestaat, maar wordt gebruikt in processen waar de data-punten zelf bewegen. Dat is bij K -means en competitief leren niet het geval, daar bewegen juist de cluster-centra.

16. Ramped half-and-half wordt toegepast in het volgende domein. Kies een zo specifiek mogelijk antwoord.

- (a) Evolutionaire algoritmen.
- (b) Co-evolutionaire algoritmen.
- (c) Genetische algoritmen.
- ✓ Genetisch programmeren.

Antwoord. Genetisch programmeren werkt met syntax-bomen die bij de initialisatie probabilistisch danwel volledig worden uitontwikkeld.

17. G is een populatie genotypen g_1, \dots, g_n met fitness resp. f_1, \dots, f_n . Dus $|G| = n$. Geef de verwachte fitness van een genotype dat fitness-proportioneel wordt geselecteerd uit G .

- (a) $(\sum_{i=1}^n f_i)/F$, waarbij $F = f_1 + \dots + f_n$.
 $(\sum_{i=1}^n f_i^2)/F$.
 (c) $(\sum_{i=1}^n f_i)/F^2$.
 (d) $(f_1 \times \dots \times f_n)/F^2$.

Antwoord. $P\{X = f_i\} = f_i/F$, waarbij $F = f_1 + \dots + f_n$. Immers: fitness-proportioneel.

$$\begin{aligned} E[X] &= \sum_{x \in X} xP\{X = x\} \\ &= \sum_{i=1}^n f_i P\{X = f_i\} \\ &= \sum_{i=1}^n f_i \left(\frac{f_i}{F} \right) \\ &= \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n f_i^2. \end{aligned}$$

Dit is Probleem 1 uit Inleveropgave 5.

18. De two-cup collection task (Whitehead & Lin) kan worden opgelost door een ZCS met een één-bits register. Wat is er bijzonder aan de two-cup collection task?

- (a) De robot kan niet zien wat onder hem staat.
 De ZCS moet zelf betekenis geven aan input, output en registerinhoud.
 (c) Het is opmerkelijk dat de robot dit probleem kan oplossen met slechts één bit geheugen (i.p.v. twee, drie, ...).
 (d) Kunnen omgaan met indirecte rewards. De robot ontvangt pas feedback (in de vorm van een reward) als het laatste kopje is opgepakt.

Antwoord. Alle antwoorden behalve het laatste zijn op zichzelf waar. Echter, het kunnen omgaan met indirecte rewards is een eigenschap van de ZCS, en niet van het beschreven probleem. Dat de robot niet kan zien wat onder hem staat is een eigenschap van het beschreven probleem, maar is geïntroduceerd om een element van indirecte reward in te brengen, d.w.z. om er een, voor een ZCS, geschikt probleem van te maken. Het is gemakkelijk te begrijpen dat een één-bits register ruim voldoende moet zijn: de robot kan dit register dan bijvoorbeeld gebruiken om te registreren of het een kopje in de grijper heeft.

19. We werken met Common Lisp. De variable x is ongebonden. De s-exp $(\text{list } 'x (\text{list } 'x 3))$ evalueert naar

- $(x (x 3))$.
 (b) $(x (\text{list } x 3))$.
 (c) $(x (\text{list } 'x 3))$.
 (d) Error.

Antwoord. Desgewenst met een online Common Lisp interpreter te controleren.

20. Gegeven is de discrete replicator-vergelijking met relative score-matrix

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 0 & 1 \\ 3 & 4 & 0 \end{pmatrix}$$

en initiële proporties $P = (0.1, 0.2, 0.7)$. Bereken één iteratie met de hand.

- (a) $P = (0.626, 0.212, 0.163)$.
 (b) $P = (0.163, 0.212, 0.626)$.
 $P = (0.212, 0.163, 0.626)$.
 Het goede antwoord staat er niet bij.

Antwoord. Relatieve score matrix en initiële propertes:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 0 & 1 \\ 3 & 4 & 0 \end{pmatrix}, \quad P = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.7 \end{pmatrix}.$$

Score per soort:

$$R \cdot P = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 0 & 1 \\ 3 & 4 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.6 \\ 1.0 \\ 1.1 \end{pmatrix}.$$

Ongenormaliseerde nieuwe propertes:

$$Q = \begin{pmatrix} 0.1 \times 2.6 \\ 0.2 \times 1.0 \\ 0.7 \times 1.1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.26 \\ 0.20 \\ 0.77 \end{pmatrix}.$$

Genormaliseerde nieuwe proporties:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{\sum Q} Q \\
 &= \frac{1}{0.26 + 0.20 + 0.77} \begin{pmatrix} 0.26 \\ 0.20 \\ 0.77 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.212 \\ 0.163 \\ 0.626 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

Opmerking: achteraf werd ontdekt dat 2.1139 verkeerd werd afgerond tot 0.212. Daarom is antwoord (d) strict genomen het enige goede antwoord. Omdat 2.12 erg dicht bij 2.11 ligt, wordt (c) éénmalig ook goed gerekend. Niet fraai, maar gegeven de situatie lijkt deze oplossing mij het meest recht doen aan de situatie.

Antwoord. Zowel op de site van het boek als in het boek zelf vermeldt Flake dat zijn betoog herhaaldelijk teruggrijpt op drie ideeën.

- 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.

In de epiloog kijkt Flake hierop terug. Met betrekking tot de tabel schrijft Flake:

“As can be seen in the table, this interface between computability and incomputability is relevant to mathematical, fractal, chaotic, complex, and adaptive systems. In each case, the most interesting types of behavior fall somewhere between what is computable and what is incomputable.” (Sec. 24.2, p. 429)

De andere drie antwoorden zijn gefabriceerde nonsens en kunnen niet (ook niet door vrijelijk interpreteren) in verband worden gebracht met beweringen uit de epiloog.

21. Aan het eind van het college werd kort ingegaan op de epiloog uit Flake's TCBoN. I.h.b. werd de tabel "Novelty as a function of computability (drie kolommen) besproken. Deze tabel en de bespreking daarvan kan als volgt worden samengevat.

- (a) Elke berekenbaarheidseigenschap impliceert drie intrinsieke noviteiten.
- ✓ Het meest interessante gedrag van formele systemen ligt vaak op het grensvlak tussen berekenbaarheid en onberekenbaarheid
- (c) De emergentie van noviteiten is typisch het resultaat van drie eigenschappen van berekenbaarheid: taal, logica en executie.
- (d) Noviteiten van formele systemen zijn te herleiden tot berekenbaarheid, opsombaarheid en beslisbaarheid.

22. De optimalisatie-versie van het handelsreizigerprobleem kan worden benaderd met mierenkolonie-optimalisatie.

- ✓ Deze bewering is waar. De kans is groot dat het system convergeert naar een optimale toer.
- (b) Deze bewering is waar. Hoe langer het system loopt, hoe groter de kans dat de gevonden toer optimaal is.
- (c) Deze bewering is onwaar. Het is mogelijk dat het systeem niet convergeert naar een kortste toer.
- (d) Deze bewering is onwaar. Het systeem kan zelf niet detecteren dat een kortste toer is gevonden.

Antwoord. De optimalisatie-versie van het handelsreizigerprobleem is de opdracht “Vind een zo kort mogelijke toer”.

De kans is groot dat het system convergeert naar een optimale toer. Preciezer: Stützle en Dorigo (2004) bewezen dat voor elke $\epsilon > 0$ een redelijke ACO met kans $1 - \epsilon$ convergeert. (Redelijk = voldoet aan bepaalde redelijke aannamen.)

Een grote kans op convergentie betekent geen zekerheid op convergentie. De reden bij antwoord 22b is dus niet goed.

23. Mierenkolonie-optimalisatie. Een mier kan kiezen uit vijf steden waarvan er al twee zijn bezocht. De paden p_1 , p_2 , en p_3 naar de niet bezochte steden zijn respectievelijk 9, 6, en 8 eenheden lang, met een hoeveelheid feromoon van respectievelijk 20, 30, en 15 eenheden. De constante β is gelijk aan 2. Hoe groot is de kans dat wordt p_1 gekozen bij exploratie?
- (a) 0
 - (b) 0.16
 - ✓ (c) 0.19
 - (d) 1

Antwoord.

$$a_1 = m(p_1)v(p_1)^\beta = 20 \left(\frac{1}{9}\right)^2 = \frac{20}{81},$$

$$a_2 = m(p_1)v(p_1)^\beta = 30 \left(\frac{1}{6}\right)^2 = \frac{30}{36},$$

$$a_3 = m(p_1)v(p_1)^\beta = 15 \left(\frac{1}{8}\right)^2 = \frac{15}{64}.$$

Dus:

$$\begin{aligned} P\{p_1\} &= \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3} \\ &= \frac{20/81}{20/81 + 30/36 + 15/64} \\ &= 256/1366 \approx 0.19. \end{aligned}$$

24. Welke van de volgende beweringen zijn waar in de context van de replicator-dynamiek met mutatie? (Ook wel: replicator-dynamiek met ruis.)

- i)* Als een soort afwezig is, zal deze nooit intreden.
- ii)* Als een soort aanwezig is, zal deze nooit uitsterven.
- ✓ Geen.

- (b) Alleen *i*).
- (c) Alleen *ii*).
- (d) Beiden.

Antwoord. Beide beweringen zijn waar in de context van de replicator-dynamiek zonder mutatie. (Deze vermenigvuldigt proporties alleen maar met een positieve factor. Positief maal positief blijft positief, positief maal nul blijft nul.) Echter, een mutatie kan bij toeval een nieuwe soort introduceren, en bij toeval een minimaal aanwezig soort wegnemen.

N.B. de discrete replicator-dynamiek gegenereerd door 2-persoons spelen met ruis (zoals in Programmeeropdracht 3) is zelf zonder ruis. Immers, als de score-tabel is opgesteld is deze definitief, en kan gelijk eender welke dynamiek daar op worden losgelaten, i.h.b. de discrete replicator-vergelijking zonder ruis (zoals in Programmeeropdracht 3).

Einde.

Je wordt van harte uitgenodigd de cursusevaluatie in te vullen. Dit kan in Caracal van 10-4-2018 10:00:00 tot en met 30-4-2018 23:59.

Kladpapier.