

# Tentamen IN2205/IN2420 Kennissystemen

vrijdag 02 februari 2007  
14.00 – 17.00

Dit tentamen heeft als doel je kennis en begrip van Michael Negnevitsky, *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems* te testen. Het bevat 24 vragen. In totaal zijn 62 punten te behalen. Het cijfer wordt zó berekend dat als je de multiple-choicevragen slechts willekeurig invult het verwachte cijfer 1 is.

Het is niet toegestaan het boek te gebruiken tijdens het tentamen. Schrijf voor de **multiple-choice**vragen de letter met het beste antwoord op een apart blad papier. Je mag op de **open** vragen antwoorden in het Nederlands of het Engels. Motiveer je antwoorden, maar geef geen irrelevante informatie in je antwoorden; hiervoor worden namelijk punten afgetrokken.

Controleer voor het inleveren of op elk antwoordblad je naam, studienummer en de juiste vakcode (IN2205 of IN2420) staan vermeld.

Succes!

## Multiple-choicevragen

Opgave 1

1 punt

In de begintijd van de kunstmatige intelligentie ('jaren van de grote verwachtingen') trachtten wetenschappers complexe denkprocessen te simuleren door het ontwikkelen van algemene (zoek)methoden voor het oplossen van brede klassen van problemen. Vanwege hun prestaties bij realistische problemen worden deze algemene methoden in de engelse literatuur betiteld als:

- A. Strong methods.
- B. Weak methods.
- C. General-purpose methods.
- D. Crisp methods.

**Antwoord:** B.

Weak methods. Want er werd beperkte (weak) informatie over het probleem gebruikt. Zie pagina 7 van het boek.

Opgave 2

1 punt

Relevante bestanddelen van een rule-based expertsysteem vormen de knowledge base, de database en de inference engine. Als gevolg van inferentie kunnen wijzigingen optreden:

- A. in de inhoud van de knowledge base en in de inhoud van de database.
- B. in de inhoud van de knowledge base maar niet in de inhoud van de database.
- C. niet in de inhoud van de knowledge base maar wel in de inhoud van de database.
- D. niet in de inhoud van de knowledge base en niet in de inhoud van de database.

**Antwoord:** C.

Inferentie kan feiten toevoegen aan de database. De knowledge base blijft onveranderd.

Opgave 3

1 punt

We hebben twee hypothesen  $H_1$  en  $H_2$  en observeren achtereenvolgens bewijs  $E_1$  en  $E_2$ . De a priori kans van hypothese  $H_1$  is 0.8 en die van  $H_2$  is 0.2. Onderstaande tabel geeft de conditionele kansen van het bewijs gegeven de hypothesen:

	$E_1$	$E_2$
$H_1$	0.5	0.2
$H_2$	0.7	0.6

Wat is de kans (afgerond op drie cijfers achter de komma) dat hypothese  $H_2$  juist is gegeven het bewijs  $E_1$  en  $E_2$  als we gebruik maken van Bayesiaans redeneren?

- A. 0.488
- B. 0.512
- C. 0.084
- D. 0.140

**Antwoord:** B.

$$p(H_1|E_1, E_2) = \alpha P(H_1)P(E_1|H_1)P(E_2|H_1)$$

$$p(H_2|E_1, E_2) = \alpha P(H_2)P(E_1|H_2)P(E_2|H_2)$$

$$p(H_1|E_1, E_2) = \alpha 0.8 \times 0.5 \times 0.2 = \alpha 0.08$$

$$p(H_2|E_1, E_2) = \alpha 0.2 \times 0.7 \times 0.6 = \alpha 0.084$$

$$\alpha = 1/(0.08 + 0.084) = 1/0.164$$

$$p(H_1|E_1, E_2) = 0.488$$

$$p(H_2|E_1, E_2) = 0.512$$

Opgave 4

1 punt

Wat is een gebruikelijke manier om de vereniging van twee fuzzy sets te definiëren?

- A.  $\mu_{A \cup B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$ .
- B.  $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) - \mu_B(x) + \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$ .
- C. Geen van beide.
- D. Allebei.

**Antwoord:** C.

De vereniging wordt meestal gedefinieerd als  $\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$ . Een alternatief is de *probor*  $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$ .

Opgave 5

1 punt

Stel we hebben de fuzzy sets *koud* met  $\mu_{koud}(x) = (1/0, 0.8/5, 0.6/10, 0.4/15, 0.2/20, 0/25)$  en *warm* met  $\mu_{warm}(x) = (0/0, 0.1/5, 0.2/10, 0.4/15, 0.7/20, 1/25)$  wat is de membershipfunctie van de fuzzy set *niet koud en niet warm* als we gebruik maken van de standaardoperatoren?

- A.  $\mu(x) = (0/0, 0.2/5, 0.4/10, 0.6/15, 0.8/20, 1/25)$ .
- B.  $\mu(x) = (1/0, 0.9/5, 0.8/10, 0.6/15, 0.8/20, 1/25)$ .
- C.  $\mu(x) = (0/0, 0.2/5, 0.4/10, 0.6/15, 0.3/20, 0/25)$ .
- D.  $\mu(x) = (0/0, 0.1/5, 0.2/10, 0.4/15, 0.2/20, 0/25)$ .

**Antwoord:** C.

$$\mu_{nietkoud} = 1 - \mu_{koud} = (0/0, 0.2/5, 0.4/10, 0.6/15, 0.8/20, 1/25)$$

$$\mu_{nietwarm} = 1 - \mu_{warm} = (1/0, 0.9/5, 0.8/10, 0.6/15, 0.3/20, 0/25)$$

$$\mu_{nietkoudennietwarm} = \mu_{nietkoud} \cap \mu_{nietwarm}$$

$$= \min(\mu_{nietkoud}, \mu_{nietwarm}) = (0/0, 0.2/5, 0.4/10, 0.6/15, 0.3/20, 0/25)$$

Opgave 6

1 punt

Wat geeft de functie  $\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$  voor een fuzzy set  $A$  op domein  $X$  aan?

- A. De mate waarin een element  $x$  onderdeel uitmaakt van de verzameling  $A$ .
- B. De onzekerheid dat element  $x$  onderdeel uitmaakt van de verzameling  $A$ .
- C. De onzekerheid dat er een verzameling  $A$  bestaat waarvan element  $x$  deel uitmaakt.
- D. De onnauwkeurigheid waarmee de verzameling  $A$  gedefinieerd is.

**Antwoord:** A.

De mate waarin een element  $x$  onderdeel uitmaakt van de verzameling  $A$ .

Opgave 7

1 punt

Bijwoorden als erg, extreem, min of meer, enigszins enz. kunnen linguïstische waarden afzwakken of versterken. Indien de linguïstische waarde *groot* een fuzzy set is met membership functie  $\mu(x)$ , dan kan de fuzzy set *min of meer groot* worden gekarakteriseerd door de membership functie  $[\mu(x)]^p$ . Voor  $p$  geldt:

- A.  $p = 0.5$
- B.  $p = 2$
- C.  $p = 0.3$
- D.  $p = 3$

**Antwoord:** A.

$p = 0.5$  zie boek bladzijde 97.

Opgave 8

1 punt

Gegeven zijn 3 class frames,  $A$ ,  $B$  en  $C$ . Tussen  $A$  en  $B$  bestaat een belong-to relatie en tussen  $B$  en  $C$  bestaat een is-a-kind-of relatie. Welke soorten relaties zijn hier respectievelijk aan de orde:

- A. een associatie tussen  $A$  en  $B$  en een aggregatie tussen  $B$  en  $C$ .
- B. een associatie tussen  $A$  en  $B$  en een generalisatie tussen  $B$  en  $C$ .
- C. een aggregatie tussen  $A$  en  $B$  en een associatie tussen  $B$  en  $C$ .
- D. een generalisatie tussen  $A$  en  $B$  en een associatie tussen  $B$  en  $C$ .

**Antwoord:** B.

een associatie tussen  $A$  en  $B$  en een generalisatie tussen  $B$  en  $C$ . Zie bladzijde 138 van het boek.

Opgave 9

1 punt

Een neuron met threshold  $\theta$  kan altijd vervangen worden door een neuron met een threshold 0 door een extra input  $X$  (de zogenaamde bias-input) met een hieraan geassocieerd gewicht  $W$  toe te voegen. voor  $X$  en  $W$  geldt:

- A.  $X = 1, W = -\theta$
- B.  $X = 1, W = \theta$
- C.  $X = -1, W = -\theta$
- D. geen van de in A,B of C genoemde mogelijkheden.

**Antwoord:** A.

Er moet gelden  $X = \sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta$ , dit kunnen we bewerkstelligen door  $X = 1$  en  $W = -\theta$  te stellen.

Opgave 10

1 punt

Als activatiefunctie in een neuron kunnen onder andere de step-functie, de sign-functie, de sigmoid functie en de lineaire functie gebruikt worden. Welke van deze functies kunnen negatieve waarden aannemen?

- A. Alle vier functies.
- B. Alleen de Sigmoid-functie.
- C. De step-functie en de sign-functie.
- D. De sign-functie en de lineaire functie.

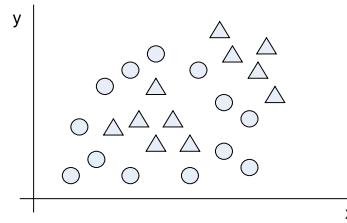
**Antwoord:** D.

De sign-functie en de lineaire functie. Zie boek bladzijde 169.

## Opgave 11

1 punt

We willen een neuraal netwerk trainen voor het classificeren van objecten als cirkels of driehoeken aan hand van de  $x$  en  $y$  waarden behorende bij deze objecten. Onderstaand figuur geeft de verzameling van training data:



Welk type neuraal netwerk is het meest geschikt voor het oplossen van dit probleem?

- A. Perceptron.
- B. Feedforward multilayer netwerk.
- C. Hopfield netwerk.
- D. Kohonen netwerk.

**Antwoord:** B.

We moeten onderscheid maken tussen twee klassen (driehoeken en cirkels) aan hand van twee waarden. Er zijn voorbeelden gegeven, dus een supervised learning methode ligt voor de hand. Een perceptron is niet in staat de gegeven klassen te scheiden, een feedforward multilayer netwerk wel.

Een Kohonen netwerk is unsupervised, het maakt alleen gebruik van de  $x$  en  $y$  waarden, op grond hiervan zou het bijvoorbeeld geen verband kunnen leggen tussen de twee groepjes van driehoeken.

Voor een Hopfield netwerk zouden we de voorbeelden of een aantal daarvan als fundamental memories kunnen leren, dit geeft ons echter geen classificatie in twee klassen.

Voor deze vraag leveren antwoorden C. en D. een half punt op.

## Opgave 12

1 punt

Gegeven twee logische relaties  $y = F(x_1, x_2)$  met volgende waarheidstabellen:

$x_1$	$x_2$	$y$	$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1

Er geldt:

- A. Een perceptron kan relatie A wel representeren, maar relatie B niet.
- B. Een perceptron kan relatie B wel representeren, maar relatie A niet.
- C. Een perceptron kan zowel relatie A als relatie B representeren.
- D. Een perceptron kan noch relatie A noch relatie B representeren.

**Antwoord:** D.

Voor deze opgave is het handig de waarheidstabellen te tekenen in een assenstelsel met  $x_1$  en  $x_2$  als assen. Dan is te zien dat het in geen van beide gevallen mogelijk is lijn te trekken tussen de punten met  $y = 1$  en de punten met  $y = 0$ .

## Opgave 13

1 punt

Welke maat gebruiken we bij het backpropagation algoritme voor het trainen van feedforward neurale netwerken om de performance van het netwerk te meten?

- A. De learning rate.
- B. Het product van de fout gradiënten.
- C. De som van kwadraten van de fouten.
- D. De som van de fouten gewogen met de gradiënten.

**Antwoord:** C.

Mean squared error. Zie boek bladzijde 182.

## Opgave 14

1 punt

Welke soort training is bij het Kohonen netwerk aan de orde?

- A. Unsupervised learning.
- B. Supervised learning.
- C. Reinforcement learning.
- D. Hebb learning.

**Antwoord:** A.

Unsupervised learning.

## Opgave 15

1 punt

Waarin verschillen Evolution Strategies van Genetische Algoritmen? Welke van de onderstaande antwoorden is juist en het meest compleet? In tegenstelling tot Genetische Algoritmen . . .

- A. maken Evolution Strategies geen gebruik van mutatie en is hier geen codering in chromosomen nodig.
- B. maken Evolution Strategies geen gebruik van crossover en is hier geen codering in chromosomen nodig.
- C. maken Evolution Strategies geen gebruik van mutatie en van populaties.
- D. maken Evolution Strategies geen gebruik van crossover en van populaties.

**Antwoord:** B.

In tegenstelling tot Genetische Algoritmen maken Evolution Strategies geen gebruik van crossover en is hier geen codering in chromosomen nodig.

## Opgave 16

1 punt

In een Genetic Programming systeem wordt mutatie toegepast op de LISP S-expressie  $(-( *AB)C)$ . Een mogelijk resultaat van deze mutatie kan zijn:

- A.  $(*( *AB)C)$ .
- B.  $(-( *BB)C)$ .
- C.  $(-( *AB)A)$ .
- D. Ieder bovenstaande S-expressie.

**Antwoord:** D.

Bij mutatie mogen operatoren door operatoren vervangen worden en variabelen door variabelen, dus alle bovenstaande S-expressie zijn correct.

## Opgave 17

1 punt

Om bij Genetische Algoritmen meer zekerheid te verkrijgen dat het globale maximum gevonden is en geen lokaal maximum, kunnen we kijken hoe stabiel het resultaat blijft als we een aantal parameters variëren. Welke parameters zijn dit?

- A. De crossoverkans  $p_c$  en de mutatiekans  $p_m$ .
- B. De fitnessfunctie en de populatiegrootte.
- C. De crossoverkans  $p_c$  en de fitnessfunctie.
- D. De mutatiekans  $p_m$  en de populatiegrootte.

**Antwoord:** D.De mutatiekans  $p_m$  en de populatiegrootte.

## Opgave 18

1 punt

In Genetische Algoritmen spelen de crossover-operator en de mutatie-operator een belangrijke rol. Stel, de waarschijnlijkheid voor crossover is  $p_c$  en de waarschijnlijkheid voor mutatie is  $p_m$ . Typische waarden voor deze kansen zijn:

- A.  $p_m \approx 0.001$ ,  $p_c \approx 0.7$
- B.  $p_m \approx p_c \approx 0.7$
- C.  $p_m \approx p_c \approx 0.001$
- D.  $p_m \approx 0.7$ ,  $p_c \approx 0.001$

**Antwoord:** A. $p_m \approx 0.001$ ,  $p_c \approx 0.7$ 

## Opgave 19

1 punt

We willen een systeem ontwikkelen voor een domein met de volgende eigenschappen: Het domein is nauwelijks aan verandering onderhevig. We hebben geen collectie voorbeelden tot onze beschikking, maar wel een aantal domeinexperts. Deze experts zijn het echter niet altijd eens en daarnaast hebben we te maken met onnauwkeurige meetapparatuur. Welke techniek kunnen we het beste gebruiken?

- A. Expert systeem.
- B. Fuzzy systeem.
- C. Neuraal netwerk.
- D. Genetische algoritmen.

**Antwoord:** B.

Fuzzy systeem.

## Opgave 20

1 punt

We willen een systeem ontwikkelen voor een domein met de volgende eigenschappen: We hebben geen volledige kennis van het domein en geen collectie voorbeelden. We weten wel dat er voor een gegeven input meerdere oplossingen te vinden zijn en zijn in staat te beoordelen dat de ene oplossing beter is dan de andere. Welke techniek kunnen we het beste gebruiken?

- A. Expert systeem.
- B. Fuzzy systeem.
- C. Neuraal netwerk.
- D. Genetische algoritmen.

**Antwoord:** D.  
Genetische algoritmen.



## Open vragen

Opgave 21

11 punt

Stel, we hebben een knowledge base met de volgende regels:

1. IF p AND h THEN m
2. IF d AND b THEN c
3. IF s THEN q
4. IF r THEN t
5. IF c AND a THEN v AND f
6. IF g OR f THEN u
7. if a THEN b
8. IF t THEN d
9. IF v THEN h
10. IF d AND q THEN a

In de database komen de volgende feiten voor: r, s.

- (a) (3 punten) Laat zien hoe de inference engine alle feiten afleidt die kunnen worden afgeleid. Geef per *cycle* aan welke regels vuren en hoe de database verandert.

**Antwoord:**

Regel vuurt	database
3	<b>q</b> , r, s
4	q, r, s, <b>t</b>
8	<b>d</b> , q, r, s, t
10	<b>a</b> , d, q, r, s, t
7	a, <b>b</b> , d, q, r, s, t
2	a, b, <b>c</b> , d, q, r, s, t
5	a, b, c, d, <b>f</b> , q, r, s, t, <b>v</b>
6	a, b, c, d, f, q, r, s, t, <b>u</b> , v
9	a, b, c, d, f, <b>h</b> , q, r, s, t, u, v

Meer regels kunnen niet vuren.

- (b) (3 punten) Laat zien hoe de inference engine aantooft of doel *C* waar is. Geef aan welke feiten op de stack worden geplaatst en hoe de database verandert.

**Antwoord:**

Database: r, s.

Doelen: c.

Stack: 2. Doelen c, b, d.

(We proberen doel d te vervullen. We zouden ook eerst doel b kunnen bekijken).

Stack: 2, 8. Doelen: c, b, d, t.

Stack: 2, 8, 4. Doelen: c, b, d, t, r.

Regel 4 vuurt, database: r, s, **t**.

Stack: 2, 8. Doelen c, b d.

Regel 8 vuurt, database: **d**, r, s, t.

Stack: 2. Doelen: c, b.

Stack: 2, 7. Doelen: c, b, a.

Stack: 2, 7, 10. Doelen: c, b, a, q. (d staat al in de database)

Stack: 2, 7, 10, 3. Doelen: c, b, a, q, s.

Regel 3 vuurt, database: d, r, **q**, s, t.

Stack: 2, 7, 10. Doelen: c, b, a.

Regel 10 vuurt, database: **a**, d, r, q, s, t. Stack: 2, 7. Doelen: c, b.

Regel 7 vuurt, database: a, **b**, d, r, q, s, t. Stack: 2. Doelen: c.

Regel 2 vuurt, database: a, b, **c**, d, r, q, s, t. Doel vervuld.

- (c) (2 punten) Benoem de methoden die je in (a) en (b) hebt gebruikt. Waarom heb je in (b) deze en niet een andere methode gebruikt?

**Antwoord:** Bij (a) forward chaining (of data-driven reasoning) en bij (b) backward chaining (of goal-driven reasoning). Backward chaining is efficiënter omdat het alleen de feiten bekijkt die nodig zijn om het doel te bewijzen. Forward chaining kan ook allerlei regels vuren die niet relevant zijn voor het doel.

Let op: Het antwoord: 'Ik heb backward chaining gebruikt omdat een doel gegeven is.', is niet juist. Dit is slechts het herhalen van vraag (b). De vraag is waarom backward chaining handig is als een doel gegeven is.

- (d) (3 punten) Wanneer maken expertsystemen gebruik van conflict resolution? Beschrijf twee methoden voor conflict resolution.

**Antwoord:** Conflict resolution wordt gebruikt om te bepalen welke regel mag vuren als er in een cycle meerdere regels zijn die kunnen vuren. Methoden voor conflict resolution:

- stoppen als het doel bereikt is. Regels met dezelfde antecedent maar een andere conclusie vuren niet.
- prioriteiten aan de regels toevoegen, de regel met de hoogste prioriteit mag vuren.
- Longest matching strategy. Specifiekere regels, d.w.z. regels met een langere antecedent mogen vuren.
- Data most recently entered. Voor ieder feit in de database wordt aangegeven wanneer dit is toegevoegd aan de database. De regel die de meest recent toegevoegde data gebruikt vuurt.

#### Opgave 22

12 punt

Beschrijf hoe we inferentie kunnen doen met behulp van de Mamdani methode. Behandel achtereenvolgens de volgende onderwerpen, laat waar mogelijk plaatjes of formules zien.

**Antwoord:** Bij deze opgave wil ik plaatjes als op bladzijde 108 van het boek zien, voorzien van de nodige uitleg.

- (a) (3 punten) Fuzzificatie.

**Antwoord:** Fuzzificatie bepaald voor crisp inputs in welke mate deze behoren tot de juiste fuzzy sets. Een input heeft meestal een membership in meerdere sets. Voor drie fuzzy

sets, *klein*, *gemiddeld* en *lang* zou een lengte van 182cm bijvoorbeeld de volgende waarden kunnen hebben:  $\mu_{klein} = 0.1$ ,  $\mu_{gemiddeld} = 0.6$ ,  $\mu_{lang} = 0.4$ . Geef dit weer in een plaatje of geef formules.

- (b) (3 punten) Regel evaluatie.

**Antwoord:** Voor alle regels worden de inputmembership waarden verkregen in (a) worden toegepast op de antecedenten. Als er meerdere antecedenten zijn worden deze gecombineerd met fuzzy operatoren, zoals max voor *OR* en min voor *AND* (alternatieven zijn *probor* en het product voor *AND*). De antecedenten worden toegepast op de consequenten doormiddel van clipping of scaling. Je hoeft alleen clipping uit te leggen. Het noemen van scaling geeft extra punten. Laat plaatjes of formules zien.

- (c) (3 punten) Aggregatie.

**Antwoord:** De consequenten van de regels verkregen in de vorige stap worden gecombineerd doormiddel van 'sommatie'. Over het algemeen wordt hiervoor de max operator gebruikt. Het resultaat is 1 fuzzy set. Geef hiervan een plaatje.

- (d) (3 punten) Defuzzificatie.

**Antwoord:** Defuzzificatie levert een crisp output uit de fuzzy set verkregen bij (c). Hiervoor berekenen we in de Mamdani methode het zwaartepunt (Centre of Gravity). Geef de formule van bladzijde 111 in het boek. Deze formule bevat integralen, in de praktijk benaderen we deze door sommatie te gebruiken en een aantal waarden in te vullen.

### Opgave 23

7 punt

- (a) (4 punten) Beschrijf de werking van een Hopfield neuraal netwerk.

**Antwoord:** Een Hopfield netwerk is een recurrent netwerk. De outputs worden weer teruggevoerd naar de inputs. Preciezer, de outputs van alle andere neuronen dienen als input van een neuron (geef dit eventueel weer in een plaatje). Dit gaat net zo lang door totdat het netwerk een stabiele toestand bereikt, input en output zijn dan aan elkaar gelijk (maar niet per se aan de oorspronkelijke input).

Deze stabiele toestanden worden wel fundamental memories genoemd. We kunnen het netwerk een aantal van zulke memories laten leren. Hier is een maximum aan (De formule van het maximum aantal memories geeft extra punten). Het netwerk beeld een input af op een fundamental memory, dit is echter niet altijd het dichtstbijzijnde element in het geheugen.

De activatiefunctie is de sign-functie, met als bijzonder eigenschap dat de state gelijk blijft als de gewogen input van het neuron nul is.

- (b) (1 punt) Waarvoor zou je een dergelijk netwerk kunnen gebruiken?

**Antwoord:** Foutcorrectie, patroonherkennen (handschriften, spraak), classificatie.

- (c) (2 punten) Hoe onderscheidt een Bidirectional associative memory (BAM) zich van een Hopfield netwerk?

**Antwoord:** een BAM associeert een input  $X$  met een output  $Y$ . Deze vectoren hoeven niet even groot te zijn. Het werkt twee kanten op. Het proces van redeneren van input naar output en weer terug naar input gaat door tot een stabiele toestand is bereikt. Als de

gewichtenmatrix van een BAM vierkant en symmetrisch is dan is het netwerk equivalent aan een Hopfield netwerk.

## Opgave 24

12 punt

Beschrijf hoe men m.b.v. genetische algoritmen het maximum kan bepalen van de functie  $f(x, y) = 32x - y^2$ , waarbij een  $x$  en  $y$  integers voorstellen in het domein  $[0, 15]$ . Behandel de volgende onderwerpen:

- (a) (2 punten) Representatie van  $x$  als chromosoom.

**Antwoord:**  $x$  heeft als domein  $[0, 15]$ , dit kunnen we dus representeren met 4 bits. Voor  $y$  hebben we ook 4 bits nodig een chromosoom heeft in totaal dus lengte 8.

- (b) (1 punt) Beginpopulatie van chromosomen.

**Antwoord:** We maken een beginpopulatie van  $N$  willekeurig gekozen chromosomen.

- (c) (2 punten) Fitness functie.

**Antwoord:** De fitness functie is de functie  $f(x, y) = 32x - y^2$  zelf. We passen deze functie toe om een waarde te berekenen voor elk chromosoom in de populatie. We zijn op zoek naar het maximum, dus hoe hoger deze waarde, hoe hoger de fitness.

- (d) (2 punten) Selectiemethode van chromosomenparen voor genetische manipulatie.

**Antwoord:** We selecteren chromosomen voor cross-over en mutatie met een kans proportioneel met hun fitness. Een methode hiervoor is 'roulette wheel selection'. De oppervlakte behorende bij een chromosoom op het roulette rad komt overeen met de fitness ratio, dit is de fitness van het chromosoom gedeeld door de som van de fitnesswaarden van alle chromosomen.

- (e) (2 punten) Cross-over.

**Antwoord:** Bij cross-over worden twee chromosomen geselecteerd. Er wordt een breekpunt gekozen tussen twee willekeurige bits (in de range  $[1, 8]$ ) de bits achter dit breekpunt van het ene chromosoom worden verwisseld met de bits achter het breekpunt van het andere chromosoom (Je kunt dit het handigst met een plaatje weergeven). Cross-over vindt plaats met een bepaalde kans, deze heeft meestal een waarde van 0.7. Als geen cross-over plaatsvindt worden de ouder chromosomen simpelweg doorgegeven (cloning).

- (f) (2 punten) Mutatie.

**Antwoord:** Met een kleine kans (tussen de 0.01 en de 0.001) wordt een bit in de nieuwe chromosomen verwisseld (0 wordt 1 en andersom).

- (g) (1 punt) Nieuwe populatie.

**Antwoord:** Stappen (d), (e) en (f) worden doorlopen totdat de omvang van de nieuwe populatie  $N$  is. De nieuwe populatie vervangt dan de oude populatie in de volgende iteratie. (Dit gaat een van te voren bepaald aantal iteraties door of totdat weinig verandering meer optreedt.)

## Einde van het tentamen

Controleer voor de zekerheid of je alle vragen hebt beantwoord. Het zouden er 24 moeten zijn.