

Computer Graphics (in2905-I)
2 april 2007, 14.00 - 17.00 uur.

N.B.: Dit tentamen bestaat uit 30 opgaven
Totaal aantal bladzijden: 13

Aanwijzingen bij het invullen van de antwoordformulieren:

- Vul het antwoordformulier bij voorkeur in met **pen** (beslist **geen rode pen** gebruiken en **geen doorhalingen**). Met **potlood** invullen mag ook, maar niet te licht (gummen mag).
 - Vergeet niet je **naam**, **studierichting** en **studienummer** in te vullen.
 - Vul je **studienummer zowel in cijfers als ook met streepjes** in (controleer goed).
-

Opgave 1

Voor het bepalen van de kleur van een punt op een oppervlak van een 3D object wordt gebruik gemaakt van een lichtmodel. Zo'n lichtmodel combineert veelal een diffuse verlichting-, diffuse reflectie- en een spiegelende reflectie component. Beschouw de volgende uitspraken over toepassing van een lichtmodel bij verschillende shading methoden:

- (I) Bij Gouraud shading wordt het lichtmodel alleen voor de hoekpunten van een polygon toegepast en wordt vervolgens de kleur geïnterpoleerd over het polygon.
- (II) Bij Phong shading wordt het lichtmodel alleen op spangrenzen toegepast en wordt vervolgens de kleur geïnterpoleerd over de span.

(NB. Een span is een aantal aangrenzende pixels op een scanline tussen twee opeenvolgende snijpunten van zijden van polygons met de scanline.)

Welke van deze uitspraken is juist?

- | | (I) | (II) |
|----|---------|---------|
| a. | juist | juist |
| b. | juist | onjuist |
| c. | onjuist | juist |
| d. | onjuist | onjuist |

Opgave 2

In een perspectief afbeelding van een 3D object convergeren lijnen die in het 3D object parallel lopen. Dit geldt echter niet voor alle evenwijdige lijnen in het 3D object. Welke uitspraak is juist?

- a. Alleen de parallelle lijnen die in het projectievlak liggen, blijven in de perspectief afbeelding evenwijdig.
- b. Alleen de parallelle lijnen die loodrecht op het projectievlak staan, blijven in de perspectief afbeelding evenwijdig.
- c. Alleen de parallelle lijnen die evenwijdig aan het projectievlak lopen, blijven in de perspectief afbeelding evenwijdig.
- d. Alleen de parallelle lijnen die niet evenwijdig aan een van de assen lopen van het assenstelsel waarin het object is gedefinieerd, blijven in de perspectief afbeelding evenwijdig.

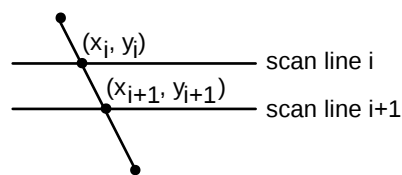
Opgave 3

Welke visualisatie methode is het meest geschikt om afbeeldingen van transparante objecten te maken met breking?

- a. scanline algoritme
- b. z-buffer algoritme
- c. diepte sortering algoritme
- d. ray tracing algoritme

Opgave 4

In een scan conversie algoritme voor polygons wordt het snijpunt (x_{i+1}, y_{i+1}) van een zijde met een scan line bepaald uit de coördinaten van het snijpunt van de zijde met de vorige scan line (zie de figuur).



$$y_{i+1} = y_i - 1$$

De richtingscoëfficiënt van de zijde is m . Wat is de juiste formule voor x_{i+1} ?

- a. $x_{i+1} = x_i + m$
- b. $x_{i+1} = x_i - m$
- c. $x_{i+1} = x_i + 1/m$
- d. $x_{i+1} = x_i - 1/m$

Opgave 5

Driedimensionale transformaties kunnen worden gerepresenteerd met behulp van matrices. Hierbij wordt over het algemeen gebruik gemaakt van 4 bij 4 matrices door aan 3D punten een homogene coördinaat toe te voegen. Sommige 3D transformaties kunnen echter ook worden gerepresenteerd met een 3 bij 3 matrix.

Welke van de onderstaande soorten 3D transformaties kunnen met een 3 bij 3 matrix worden gerepresenteerd?

- (i) translaties
- (ii) rotaties
- (iii) perspectief transformaties

- a. alleen (i)
- b. alleen (ii)
- c. alleen (i) en (ii)
- d. (i), (ii) en (iii)

Opgave 6

Gegeven zijn een window $[xwmin, xwmax, ywmin, ywmax] = [0, 80, -30, 30]$ in wereld coördinaten (WC) en een viewport $[xvmin, xvmax, yvmin, yvmax] = [200, 600, 100, 1000]$ in viewing coördinaten (VC).

Wat is het beeld van het punt (30, 10) onder de viewing transformatie?

- a. (300, 600)
- b. (300, 700)
- c. (350, 600)
- d. (350, 700)

Opgave 7

Een relatief goedkope manier van filtering bij het afbeelden van een textuur op een oppervlak van een object is het gebruik van een mip-map. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de formule

$$d = \max_of \left\{ \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2}, \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2} \right\}$$

Waarvan is d een benadering?

- a. van de snelheid waarmee de textuurwaarde verandert
- b. van de afmeting van het pre-image van een pixel
- c. van de grootte van een gebied van een bepaalde kleur in de textuur
- d. van het aantal pixels dat op één textuurpixel wordt afgebeeld

Opgave 8

Een 3D transformatie in een rechtshandig coördinatenstelsel kan worden gerepresenteerd door

een 4x4 matrix M , waarbij
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Welke van de volgende matrices representeert een 3D rotatie om de lijn door de oorsprong en $(1, 0, 1)$ over 180° ?

a.
$$M = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

b.
$$M = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

c.
$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

d.
$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Opgave 9

Een vlak heeft in viewing coördinaten de vergelijking $ax + by + cz + d = 0$. Het viewing coördinatenstelsel is zodanig gekozen dat de kijkrichting langs de z-as van dit coördinatenstelsel vanaf de positieve as naar de oorsprong gericht is.

Aan welke voorwaarde voldoen de back faces?

- a. $a \leq 0$
- b. $b \leq 0$
- c. $c \leq 0$
- d. $d \leq 0$

Opgave 10

In OpenGL kan door middel van de GLUT_DOUBLE optie double buffering worden aangezet. Wat gebeurt er ten gevolge van het aanzetten van double buffering?

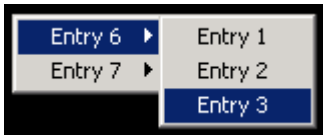
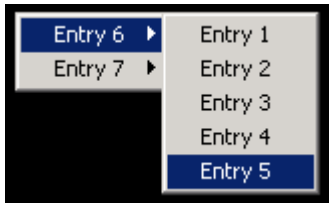
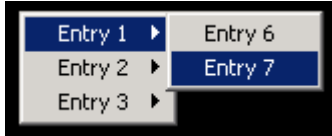
- a. Grafische uitvoer wordt opgebouwd in een apart array dat gewisseld kan worden met de frame buffer op het moment dat een plaatje volledig is opgebouwd.
- b. Events van invoerapparaten die niet direkt kunnen worden afgehandeld worden bewaard in twee aparte wachtrijen in plaats van één.
- c. Een kopie van alle berekende afbeeldingen wordt (als een animatie) bewaard in een bestand.
- d. De grafische informatie die achter een display window verborgen is wordt in een aparte buffer opgeslagen, zodat bij schalen of verplaatsen van het display window de eronder verborgen afbeelding weer (gedeeltelijk) zichtbaar wordt.

Opgave 11

Gegeven is het volgende programmafragment met OpenGL calls om een menustructuur te creëren:

```
c_menu = glutCreateMenu(color_menu_callback_func);
glutAddMenuEntry("Entry 1", 1);
glutAddMenuEntry("Entry 2", 2);
glutAddMenuEntry("Entry 3", 3);
f_menu = glutCreateMenu(fill_menu_callback_func);
glutAddMenuEntry("Entry 4", 4);
glutAddMenuEntry("Entry 5", 5);
glutCreateMenu(menu_callback_func);
glutAddSubMenu("Entry 6", c_menu);
glutAddSubMenu("Entry 7", f_menu);
glutAttachMenu(GLUT_RIGHT_BUTTON);
```

Welke van de onderstaande menu-entry selecties is mogelijk bij een menustructuur zoals in bovenstaande code wordt gedefinieerd?

- a. 
- b. 
- c. 
- d. 

Opgave 12

Gegeven is een zijde AB van een polygon in schermcoördinaten. $A = (750, 850)$ en $B = (550, 250)$. Het polygon wordt afgebeeld met een textuur erop. De textuurcoördinaten voor punt A en punt B zijn $(u_A, v_A) = (0.2, 1.0)$ en $(u_B, v_B) = (1.0, 0.4)$. De texture mapping wordt uitgevoerd met lineaire interpolatie van textuurcoördinaten over de zijden van het polygon gevolgd door lineaire interpolatie over de scan line.

Wat zijn de textuurcoördinaten op scan line 400 voor zijde AB?

- a. $(0.4, 0.55)$
b. $(0.4, 0.85)$
c. $(0.8, 0.55)$
d. $(0.8, 0.85)$

Opgave 13

Een lijn door de punten A en B met $A=(x_A, y_A)$ en $B=(x_B, y_B)$ kunnen we representeren met

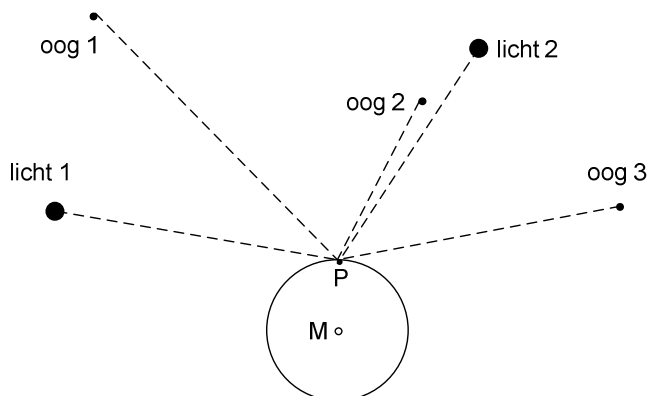
(I) een *vergelijking* $y = ax + b$ met $a = (y_B - y_A) / (x_B - x_A)$ en $b = (x_B y_A - x_A y_B) / (x_B - x_A)$.

(II) een *parametervoorstelling* $(x, y) = (x_A, y_A) + u (\Delta x, \Delta y)$ met $\Delta x = x_B - x_A$ en $\Delta y = y_B - y_A$

Hoe clipt het Liang en Barsky lijn clipping algoritme een lijnstuk AB?

- Het algoritme berekent, uitgaande van de *vergelijking* $y = ax + b$, de snijpunten van alle doorgetrokken windowgrenzen met de lijn en bepaalt vervolgens of deze snijpunten op de rand van het window liggen en tussen de punten A en B in.
- Het algoritme gaat uit van de *parametervoorstelling* van de lijn en bepaalt het parameterinterval $[u_1, u_2]$ voor het deel van de lijn binnen het window. Door invullen van u_1 en u_2 in de parametervoorstelling worden de eindpunten van het geclipte lijnstuk bepaald.
- Het algoritme bepaalt eerst 4-bits codes van de eindpunten en berekent, alleen als de lijn niet direct verworpen of geaccepteerd kan worden, met behulp van de *parametervoorstelling* snijpunten van de windowgrenzen met het lijnstuk.
- Het algoritme bepaalt eerst 4-bits codes van de eindpunten en berekent, alleen als de lijn niet direct verworpen of geaccepteerd kan worden, met behulp van de *vergelijking* $y = ax + b$ snijpunten van de windowgrenzen met het lijnstuk.

Opgave 14



Beschouw de bovenstaande figuur, die een bol, twee lichtbronnen en 3 oogpunten toont. Het middelpunt van de bol en alle lichtbronnen en oogpunten liggen in één vlak. We maken afbeeldingen van de bol vanuit oogpunt 1, 2 en 3. Voor de twee lichtbronnen samen wordt de intensiteit van het pixel waar punt P zichtbaar is in de afbeeldingen bepaald met de formule

$$I = k_a I_a + \sum_{i=1}^2 I_i \left[k_d (N \cdot L_i) + k_s (V \cdot R_i)^{n_s} \right].$$

In de formule is $n_s = 30$, $k_a > 0$, $k_d > 0$ en $k_s > 0$.

Tevens is gegeven dat de intensiteit van de lichtbronnen gelijk is, d.w.z. $I_1 = I_2$. In welke van de afbeeldingen heeft het pixel waar punt P zichtbaar is de hoogste intensiteit I ?

- in de afbeelding vanuit oogpunt 1
- in de afbeelding vanuit oogpunt 2
- in de afbeelding vanuit oogpunt 3
- in de drie afbeeldingen heeft het pixel waar punt P wordt afgebeeld dezelfde intensiteit

Opgave 15

De grensvlakken van een tetraeder worden beschreven door vlakvergelijkingen van de vorm

$ax + by + cz + d = 0$. Voor iedere vlakvergelijking is $\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$ een naar buiten gerichte

normaalvector. In de onderstaande tabel zijn de coëfficiënten van de vlakvergelijkingen van alle vier de grensvlakken gegeven.

coëfficiënten	a	b	c	d
1 ^e vergelijking	-1	0	0	0
2 ^e vergelijking	0	-1	0	0
3 ^e vergelijking	0	0	1	0
4 ^e vergelijking	5	10	-2	-40

Welk punt ligt buiten de tetraeder?

- a. (2, 2, -2)
- b. (2, 2, -4)
- c. (2, 1, -8)
- d. (1, 2, -8)

Opgave 16

We willen een matrix opstellen voor een rotatie om de lijn met vectorvoorstelling

$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ over een hoek van 45° . We verkrijgen de transformatie door

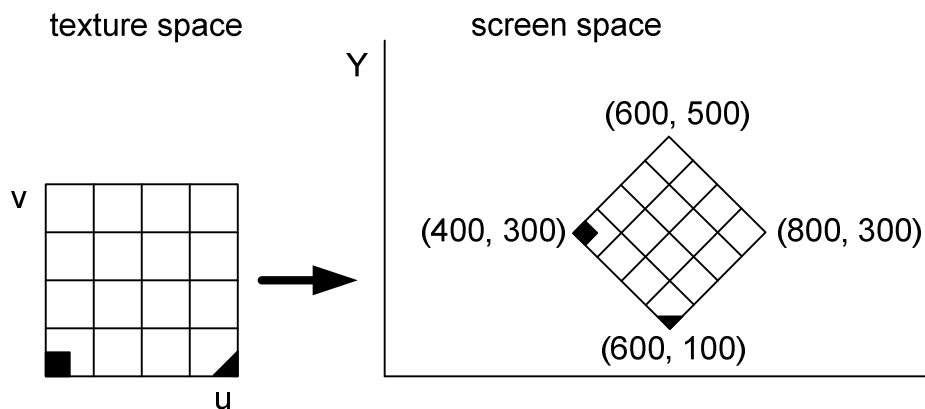
achtereenvolgens een aantal elementaire transformaties uit te voeren:

$$T_{(1,0,0)} \bullet R^{-1} \bullet R_{z-as, 45^\circ} \bullet R \bullet T_{(-1,0,0)}$$

Hierbij is R een combinatie van een rotatie om de x-as over hoek α gevolgd door een rotatie om de y-as over hoek β , d.w.z. $R = R_{y-as, \beta} \bullet R_{x-as, \alpha}$. Bepaal $\sin \beta$ en $\cos \beta$ voor deze rotatie.

- a. $\sin \beta = -\frac{1}{2}\sqrt{2}$ en $\cos \beta = \frac{1}{2}\sqrt{2}$
- b. $\sin \beta = -\frac{1}{2}\sqrt{3}$ en $\cos \beta = \frac{1}{2}$
- c. $\sin \beta = -\frac{1}{2}$ en $\cos \beta = \frac{1}{2}\sqrt{3}$
- d. $\sin \beta = -\frac{1}{3}\sqrt{3}$ en $\cos \beta = \frac{1}{3}\sqrt{6}$

Opgave 17



Een textuur (met textuurcoördinaten van 0 tot 1 in u- en v-richting) wordt in zijn geheel gemapt op een polygon met hoekpunten (400, 300), (600, 100), (800, 300) en (600, 500) zoals

in bovenstaande figuur. De mapping wordt voorgesteld door een matrix $M = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{pmatrix}$.

Het beeld (x, y) van een punt (u, v) in de textuur wordt op de volgende manier bepaald:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \quad x = \frac{x'}{w'} \quad y = \frac{y'}{w'}$$

Welke elementen in de matrix M zijn gelijk aan 0?

- a. alleen c
- b. c en f
- c. alleen g
- d. g en h

Opgave 18

Bij het 3D lijn clipping algoritme van Cohen en Sutherland wordt gebruikt van 6 bits codes voor de eindpunten van een lijnstuk. Punten binnen het 3D clip volume hebben code 000000. De bits in de code hebben (van links naar rechts) de betekenis links, rechts, onder, boven, voor, achter. Een lijnstuk AB wordt met het algoritme geclipt. De code van A is 000110 en de code van B is 000101.

Welke uitspraak is juist?

- a. Het lijnstuk wordt verworpen, zonder eerst delen van het lijnstuk te verwijderen.
- b. Er wordt 1 maal een deel van het lijnstuk verwijderd en daarna wordt het verworpen.
- c. Er wordt 2 maal een deel van het lijnstuk verwijderd en daarna wordt het verworpen.
- d. Er wordt 3 maal een deel van het lijnstuk verwijderd en daarna wordt het verworpen.

Opgave 19

Welk vlak staat loodrecht op $V: 2x + 3y - z + 5 = 0$?

- a. $y - 3z + 2 = 0$
- b. $3x + 2y - z + 2 = 0$
- c. $x - y + z + 2 = 0$
- d. $2x - y + z + 2 = 0$

Opgave 20

Een programma maakt gebruik van OpenGL. Het programma bevat implementaties van de functies `Rectangle` en `Triangle` die respectievelijk een standaard rechthoek en een standaard driehoek afbeelden. Tevens is de onderstaande code gegeven die ervoor zorgt dat exemplaren van het object rechthoek en van het object driehoek op de juiste positie en met de juiste afmetingen worden afgebeeld.

```
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);  
glLoadIdentity();  
glTranslatef(2.0, 0.0, 0.0);  
Square();  
glPushMatrix();  
glTranslatef(0.0, 3.0, 0.0);  
Square();  
glPopMatrix();  
glScalef(1.0, 2.0, 1.0);  
glTranslatef(0.0, 1.0, 0.0);  
Triangle();  
...
```

Hoe ziet de modelview matrix M eruit op het moment dat de functie `Triangle` wordt aangeroepen?

a. $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

b. $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

c. $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

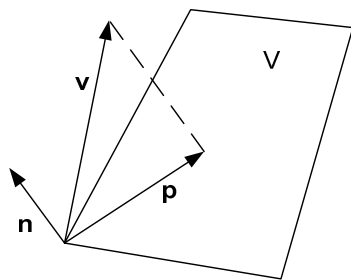
d. $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Opgave 21

Voor de scan conversie van een lijnstuk kan gebruik worden gemaakt van het DDA algoritme of het Bresenham algoritme. Als een lijnstuk AB door het DDA algoritme wordt afgebeeld door n pixels te 'setten', hoeveel pixels worden er dan 'geset' bij afbeelden van het lijnstuk AB met het Bresenham algoritme?

- a. $n - 1$
- b. n
- c. $n + 1$
- d. dat is afhankelijk van de richtingscoëfficiënt van de lijn

Opgave 22



Een 3D vector $\mathbf{v}$ moet loodrecht geprojecteerd worden op een vlak met normaalvector $\mathbf{n}$. Vector $\mathbf{n}$ heeft lengte 1. We overwegen twee methoden I en II om de loodrecht geprojecteerde vector $\mathbf{p}$ te berekenen.

($\times$ staat voor uitwendig produkt; $\bullet$ staat voor inwendig produkt)

(I) $\mathbf{q} = \mathbf{v} \times \mathbf{n}$
 $\mathbf{p} = \mathbf{n} \times \mathbf{q}$

(II) $\mathbf{p} = \mathbf{v} - (\mathbf{v} \bullet \mathbf{n}) \cdot \mathbf{n}$

Welke berekening is correct?

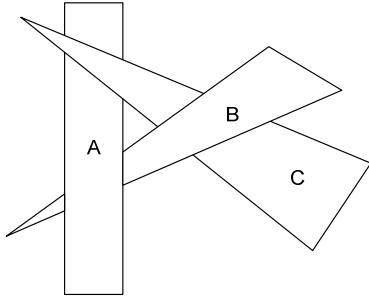
- | | (I) | (II) |
|----|---------|---------|
| a. | juist | juist |
| b. | juist | onjuist |
| c. | onjuist | juist |
| d. | onjuist | onjuist |

Opgave 23

Welke uitspraak is juist?

- a. Een boven aanzicht (engels: plan view) is een scheve projectie.
- b. Een parallel projectie is een orthografische projectie.
- c. Een cavalier projectie is een orthografische projectie.
- d. Een isometrische projectie is een orthografische projectie.

Opgave 24

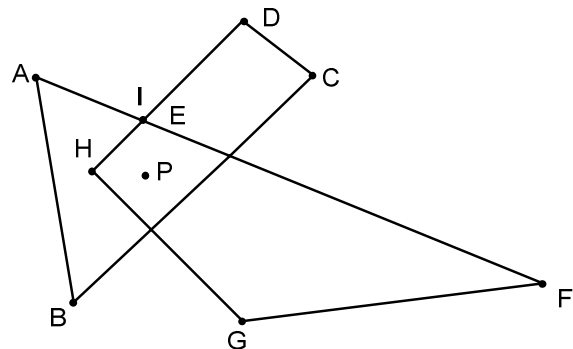
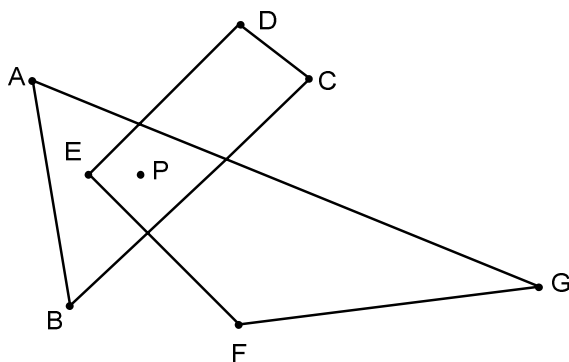


Bij welk hidden surface removal algoritme moet in een situatie zoals in de figuur een polygon worden gesplitst in twee kleinere polygons?

- bij het z-buffer hidden surface removal algoritme
- bij het diepte sortings hidden surface removal algoritme
- bij het scan line hidden surface removal algoritme
- bij geen van de drie genoemde algoritmen

Opgave 25

Gegeven zijn de polygons ABCDEF (zie linker figuur) en ABCDEFGHI (zie rechter figuur).



We gebruiken de “non zero winding number” regel om te bepalen of punten binnen of buiten het polygon liggen. Ligt het punt P in de linker en rechter figuur binnen of buiten het polygon?

- | | <u>in linker figuur</u> | <u>in rechter figuur</u> |
|----|-------------------------|--------------------------|
| a. | binnen polygon | binnen polygon |
| b. | binnen polygon | buiten polygon |
| c. | buiten polygon | binnen polygon |
| d. | buiten polygon | buiten polygon |

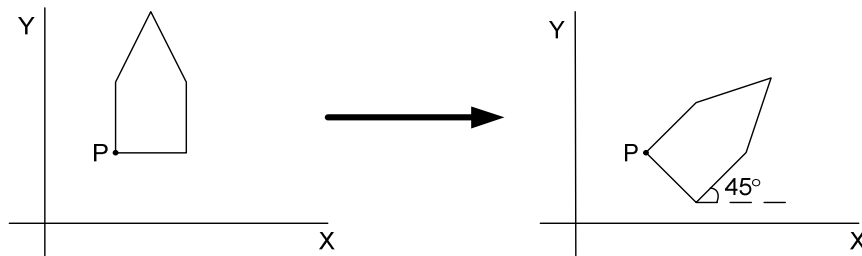
Opgave 26

Welke viewing parameter wordt niet gebruikt bij het bepalen van een matrix voor de viewing transformatie?

- a. de horizontale en verticale kijkhoek
- b. het view reference point
- c. de view up vector
- d. het center of projection

Opgave 27

Een object ondergaat de transformatie zoals getoond in de onderstaande figuur. De transformatie is een rotatie om punt $P = (4, 4)$ over een hoek van 45° met de wijzers van de klok mee.



De matrix $M = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{pmatrix}$ representeert deze transformatie. Wat is de waarde van c ?

- a. -4
- b. 4
- c. $-4\sqrt{2} + 4$
- d. $4\sqrt{2} - 4$

Opgave 28

OpenGL bevat een functie `glRasterPos`. Waarvoor dient deze functie.

- a. De functie plaatst de muiscursor op een bepaalde positie.
- b. De functie stelt een huidige positie in die gebruikt wordt voor het afbeelden van raster primitieven.
- c. De functie stelt een huidige positie in die gebruikt wordt voor het afbeelden van vector primitieven.
- d. De functie stelt een huidige positie in die gebruikt wordt voor het afbeelden van raster primitieven en vector primitieven.

Opgave 29

Het Sutherland-Hodgeman polygon clipping algoritme clipt een polygon tegen een rechthoekig window door achtereenvolgens tegen elk van de verlengde windowgrenzen te clippen. Kan met dit algoritme ook tegen een willekeurig polygonaal gebied worden geclipt door achtereenvolgens tegen elk van de doorgetrokken zijden van het polygonale gebied te clippen?

- a. Het algoritme kan worden gebruikt voor clippen tegen een willekeurig polygonaal gebied.
- b. Het algoritme kan worden gebruikt voor clippen tegen een willekeurig convex polygonaal gebied, maar niet tegen een concaaf gebied.
- c. Het algoritme kan alleen worden gebruikt voor clippen tegen een willekeurige vierhoek.
- d. Het algoritme kan alleen worden gebruikt voor clippen tegen een rechthoekig gebied.

Opgave 30

Een 2D x-richting shearing transformatie beeldt punt $A = (2, 2)$ af op punt $A' = (5, 2)$ en punt $B = (2, 4)$ op punt $B' = (8, 4)$. Wat is de shear parameter sh_x voor deze transformatie?

- a. $sh_x = 1$
- b. $sh_x = 1.5$
- c. $sh_x = 2$
- d. $sh_x = 3$

einde tentamenopgaven