
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2013/2014 Academic Session

December 2013 / January 2014

MSG 387 – Computer Graphics
[Grafik Komputer]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that this examination paper consists of SIXTEEN pages of printed material before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi ENAMBELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

Instructions : Answer **all four** [4] questions.

Arahan : Jawab **semua empat** [4] soalan.]

The question papers **shall not be taken out** from the examination hall and will be collected by invigilators.

Kertas soalan ini tidak boleh dibawa keluar daripada dewan peperiksaan dan akan dikutip oleh pengawas peperiksaan.

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].

1. Answer the following questions,
 - (a) Name two industries that play an important role in the field of Computer Graphics. How do these industries drive the Computer Graphics technology?
 - (b) Name two physical input devices that are designed specifically for drawing. Compare these two input devices.
 - (c) Explain the following definitions,
 - (i) Scan line
 - (ii) Frame buffer
 - (iii) Rasterization
 - (iv) Interlaced scanning
 - (v) True-color system
 - (d) Given a true-color RGB raster screen with resolution of 800×600 , the width of the display area measures 12 inches and the aspect ratio is 1. Answer the following questions,
 - (i) What is the pixel depth?
 - (ii) What is the size of the frame buffer (in KB)?
 - (iii) How many distinct colors can be displayed at the same time on the screen?
 - (iv) How many distinct color choices available?
 - (v) How many pixels can be accessed per second by a display controller which refreshes the screen at a rate of 60 frames per second?
 - (vi) What is the height of the display area in inches?
 - (vii) What is the diameter of the pixel in inches? Assume the pixel is round in shape.

[100 marks]

1. Jawab soalan-soalan berikut,

(a) Namakan dua industri yang memainkan peranan penting dalam bidang Grafik Komputer. Bagaimanakah industri-industri tersebut mendorong teknologi Grafik Komputer?

(b) Namakan dua peranti input fizikal yang direka-bentuk khasnya untuk melukis. Bandingkan kedua-dua peranti input tersebut.

(c) Terangkan definisi-definisi berikut,

(i) Garis imbasan

(ii) Penimbal bingkai

(iii) Rasterization

(iv) Imbasan berselang-selitan

(v) Sistem warna-benar

(d) Diberi suatu paparan raster RGB warna-benar dengan leraian 800×600 , lebar kawasan paparan berukuran 12 inci dan nisbah bidang ialah 1. Jawab soalan-soalan berikut,

(i) Apakah kedalaman piksel?

(ii) Apakah saiz penimbal bingkai tersebut (dalam KB)?

(iii) Berapakah warna berbeza yang dapat dipapar pada skrin tersebut pada masa yang sama?

(iv) Berapakah pilihan warna berbeza yang ada?

(v) Berapa piksel yang dapat dicapai dalam satu saat oleh sebuah pengawal paparan yang menyegar-semula paparannya pada kadar 60 bingkai per saat?

(vi) Apakah ketinggian kawasan paparan dalam inci?

(vii) Apakah diameter piksel dalam inci? Anggapkan piksel adalah berbentuk bulat.

[100 marks]

2. Mark True (T) or False (F).

- (a) Physical input devices refer to devices which receive input from mice and keyboards only. Thus, voice input device is not considered as a type of physical input devices.
- (b) RGB color model is additive because the primary colors are produced by adding secondary colors, e.g. red is produced by adding magenta and yellow.
- (c) OpenGL involves event driven programming, i.e. callback functions are executed automatically as soon as an event occurs.
- (d) In circle drawing, the pixels are generated from $x=0$ to $x=y$, then the orthogonality nature of the Cartesian Coordinate system is used to find the pixels for the other 7 octants.
- (e) Scan-line polygon-fill algorithm can be used for convex polygons only; while flood-fill algorithm must be used for concave polygons.
- (f) In geometric transformation, scaling factor must not equal to 0 so that we are able to find the inverse of the scaling.
- (g) `glLoadIdentity()` is the function to assign identity matrix to OpenGL's matrices.
- (h) One and only one viewport can be created on an OpenGL window.
- (i) Geometric transformation between different coordinate reference frames involves translation, rotation and scaling.
- (j) Cohen-Sutherland line-clipping algorithm involves bitwise region-code clipping; while Liang-Barsky algorithm involves parametric equation clipping; thus, Cohen-Sutherland line-clipping algorithm is more efficient than Liang-Barsky algorithm.

[100 marks]

2. Tanda Betul (T) atau Salah (F).

- (a) *Peranti-peranti input fizikal merujuk kepada peranti-peranti yang menerima input dari tetikus dan kekunci sahaja. Maka, peranti input suara tidak dianggap sebagai suatu jenis peranti input fizikal.*
- (b) *Model warna RGB adalah penambah kerana warna-warna primer dihasil daripada penambahan warna-warna sekunder, e.g. merah dihasil daripada menambah magenta dan kuning.*
- (c) *OpenGL melibatkan pengaturcaraan dorongan peristiwa, i.e. fungsi-fungsi panggil-balik dilaksanakan secara automatik sebaik sahaja sesuatu peristiwa berlaku.*
- (d) *Dalam lukisan bulatan, piksel-piksel dijanakan dari $x=0$ ke $x=y$, kemudian sifat ortogonal sistem Koordinat Kartisian digunakan untuk mencari piksel-piksel untuk 7 oktan yang lain.*
- (e) *Algoritma isi-poligon garis-imbias boleh digunakan untuk poligon-poligon cembung sahaja; manakala algoritma isi-banjir mesti digunakan untuk poligon-poligon cekung.*
- (f) *Dalam transformasi geometri, faktor penskalaan tidak boleh bersamaan dengan 0 supaya kita dapat mencari songsang penskalaan tersebut.*
- (g) *`glLoadIdentity()` adalah fungsi untuk mengumpuk matriks identiti kepada matriks-matriks OpenGL.*
- (h) *Satu dan hanya satu port-pandangan boleh wujud di atas tettingkap OpenGL.*
- (i) *Transformasi geometri di antara kerangka-kerangka rujukan koordinat yang berbeza melibatkan translasi, putaran dan penskalaan.*
- (j) *Algoritma guntingan garis Cohen-Sutherland melibatkan guntingan kod-kod kawasan manakala algoritma Liang-Barsky melibatkan guntingan persamaan berparameter; maka, algoritma guntingan garis Cohen-Sutherland adalah lebih cekap daripada algoritma Liang-Barsky.*

[100 markah]

```
#include <GL/glut.h>

void rectangle()
{
    glRecti(0, 0, 100, 50);
}

void display(void)
{
    glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
    glLoadIdentity();

    glColor3f(0.0, 0.0, 0.0); // black [hitam]
    rectangle();

    glPushMatrix();
    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0); // red [merah]
    glTranslatef(-150.0, -50.0, 0.0);
    rectangle();
    glPopMatrix();

    glColor3f(0.0, 0.0, 1.0); // blue [biru]
    glRotatef(90.0, 0.0, 0.0, 1.0);
    rectangle();

    glFlush ();
}

int main(int argc, char** argv)
{
    glutInitDisplayMode (GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
    glutInitWindowSize (400, 400);
    glutCreateWindow ("MSG387 Exam");
    glClearColor (1.0, 1.0, 1.0, 0.0);
    glutDisplayFunc(display);

    glViewport(0, 0, 600, 600);
    glMatrixMode (GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity ();
    gluOrtho2D(-200, 200, -200, 200);

    glutMainLoop();
    return 0;
}
```

Figure 1.
Gambarajah 1.

3. Answer the following questions by referring to Figure 1.
- (a) Explain the following OpenGL functions. Your explanation must be based on the usage of each function in the program.
- (i) `glClearColor (1.0, 1.0, 1.0, 0.0)`
 - (ii) `glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT)`
 - (iii) `gluOrtho2D(-200, 200, -200, 200)`
 - (iv) `glutDisplayFunc(display)`
 - (v) `glFlush()`
 - (vi) `glPushMatrix()`
 - (vii) `glPopMatrix()`
- (b) (i) What is displayed when executing the program in Figure 1? Draw the result on the graph paper provided at the end of the exam sheet. Assume every grid space represents 50 units before any transformation. The black rectangle has been drawn for your reference.
- (ii) What is displayed if `glPushMatrix` and `glPopMatrix` are removed from the program? Draw the result on the graph paper provided at the end of the exam sheet. Assume every grid space represents 50 units before any transformation. The black rectangle has been drawn for your reference.
- (c) Write OpenGL program segments and add to Figure 1 for the following transformations,
- (i) Double the size of the blue rectangle in both x and y directions by referring to a fixed point at $(-50, -50)$. Set the color of the new rectangle to yellow. The enlargement **will not** affect the coordinate reference frame of subsequent drawings.
 - (ii) What is displayed when executing the program after the program segment in c(i) is added? Draw the result on the graph paper provided at the end of the exam sheet. Assume every grid space represents 50 units before any transformation. The black rectangle has been drawn for your reference.
 - (iii) Then, write OpenGL statements to perform a rotation 90 degrees anti-clockwise about a pivot point $(50, 50)$, after the OpenGL statements you have written in c(i). Set the color of the new rectangle to green. The rotation **will** affect the coordinate reference frame for subsequent drawings.
 - (iv) What is displayed when executing the program after the program segment in c(iii) is added? Draw the result on the graph paper provided at the end of the exam sheet. Assume every grid space represents 50 units before any transformation. The black rectangle has been drawn for your reference.

[100 marks]

3. Jawab soalan-soalan berikut dengan merujuk kepada Gambarajah 1.

(a) Jelaskan fungsi-fungsi OpenGL berikut. Penjelasan anda mesti berdasarkan kegunaan setiap fungsi dalam program tersebut.

- (i) `glClearColor (1.0, 1.0, 1.0, 0.0)`
- (ii) `glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT)`
- (iii) `gluOrtho2D(-200, 200, -200, 200)`
- (iv) `glutDisplayFunc(display)`
- (v) `glFlush()`
- (vi) `glPushMatrix()`
- (vii) `glPopMatrix()`

(b) (i) Apakah yang dipaparkan apabila program dalam Gambarajah 1 dilaksanakan? Lukis hasilnya di atas kertas graf yang dibekalkan dibelakang kertas peperiksaan ini. Anggapkan setiap ruang grid mewakili 50 unit sebelum sebarang transformasi. Segiempat hitam telah dilukis untuk rujukan anda.

(ii) Apakah yang dipaparkan jika `glPushMatrix` dan `glPopMatrix` dialihkan daripada program tersebut? Lukis hasilnya di atas kertas graf yang dibekalkan dibelakang kertas peperiksaan ini. Anggapkan setiap ruang grid mewakili 50 unit sebelum sebarang transformasi. Segiempat hitam telah dilukis untuk rujukan anda.

(c) Tulis segmen program OpenGL dan tambahkan program segmen tersebut ke dalam Gambarajah 1 untuk transformasi-transformasi dibawah,

(i) Ganda-duakan saiz segiempat biru ke arah-arah x dan y dengan merujuk kepada suatu titik tetap pada $(-50, -50)$. Setkan warna kuning kepada segiempat baru tersebut. Pembesaran tersebut **tidak akan** mempengaruhi kerangka rujukan koordinat bagi lukisan-lukisan yang seterusnya.

(ii) Apakah yang dipaparkan apabila program dilaksanakan selepas segmen program di c(i) ditambah? Lukis hasil di atas kertas graf yang dibekalkan dibelakang kertas peperiksaan ini. Anggapkan setiap ruang grid mewakili 50 unit sebelum sebarang transformasi. Segiempat hitam telah dilukis untuk rujukan anda.

(iii) Kemudian, tulis pernyataan-pernyataan OpenGL bagi pemutaran 90 darjah arah songsang jam sekitar titik pangsi di $(50, 50)$, selepas pernyataan-pernyataan OpenGL yang telah anda tuliskan di c(i). Setkan warna hijau kepada segiempat baru tersebut. Putaran tersebut **akan** mempengaruhi kerangka rujukan koordinat untuk lukisan-lukisan yang seterusnya.

(iv) Apakah yang dipaparkan apabila program dilaksanakan selepas segmen program di c(iii) ditambah? Lukis hasil di atas kertas graf yang dibekalkan dibelakang kertas peperiksaan ini. Anggapkan setiap ruang grid mewakili 50 unit sebelum sebarang transformasi. Segiempat hitam telah dilukis untuk rujukan anda.

[100 markah]

This page is left blank intentionally.

[Mukasurat ini dibiarkan kosong dengan sengajanya.]

4. Answer the following questions,

(a) Elaborate Liang-Barsky line clipping algorithm by answering the following steps. Your explanation must start from parametric equation of a straight line; then elaborate how to reach the 4 cases of $u_k p_k \leq q_k$, where $k = 1, 2, 3, 4$; until calculation of the clipped line segment. Consider the case for $m > 0$, where m is the slope of the line.

- (i) Write the parametric equation of a straight line. Describe the clipping conditions of the line in terms of clipping window boundaries, given $(x_{n_{min}}, y_{n_{min}})$ and $(x_{n_{max}}, y_{n_{max}})$ are the boundary coordinates of the clipping window.
- (ii) From (i), derive the 4 clipping cases in the format of $u_k p_k \leq q_k$, where $k = 1, 2, 3, 4$. Explain what u_k , p_k and q_k represent for each k value. Then describe how the straight line intersects with the clipping window boundaries for each value of k if $u_k = \frac{q_k}{p_k}$.
- (iii) When $p_k > 0$ and u increases, what is the behavior of the straight line? On the other hand, when $p_k < 0$ and u increases, what is the behavior of the straight line? What is the respective u_k to be found for each case, i.e. bigger or small u_k ?
- (iv) Let $u_{min} = 0$ and $u_{max} = 1$, where u_{min} and u_{max} denote the initial parametric values of the two endpoints of the line segment; give the conditions of u_k to be ignored or to be kept, when finding p_k , q_k , and u_k .
- (v) What are the conditions of p_k and q_k for the line to be ignored?
- (vi) Describe how to apply u_{min} and u_{max} found from (v) in order to find the clipped line segment.

(b) Given a triangle with local coordinates A(0,0), B(20,0) and C(0,10). The triangle is enlarged 5 and 20 times in the horizontal and vertical directions respectively, from its original size; and its origin is placed at (50, 50) in the world coordinate reference frame (CRF).

The triangle is then transformed to a clipping window with viewing CRF which has the 2D view-up vector given as (0, 1) and view origin, P_0 given as (0, 0). The clipping window has the minimum $(x_{w_{min}}, y_{w_{min}})$ and maximum $(x_{w_{max}}, y_{w_{max}})$ values of (0,100) and (200, 200) respectively in the world CRF.

Then, the coordinates of the triangle are normalized in the normalized CRF, which has the minimum and maximum values of -1 and 1 respectively, for both x and y directions. The triangle is then clipped in the normalized window by using Liang-Barsky algorithm.

After the clipping, the normalized window is then mapped to a viewport with size 300×400 (width \times height), which is then placed at (20, 20) of a display window with size 600×600 . Figure 2 shows the viewport and the display window.

Answer the following questions from (i) to (x). All matrices have 3x3 dimension.

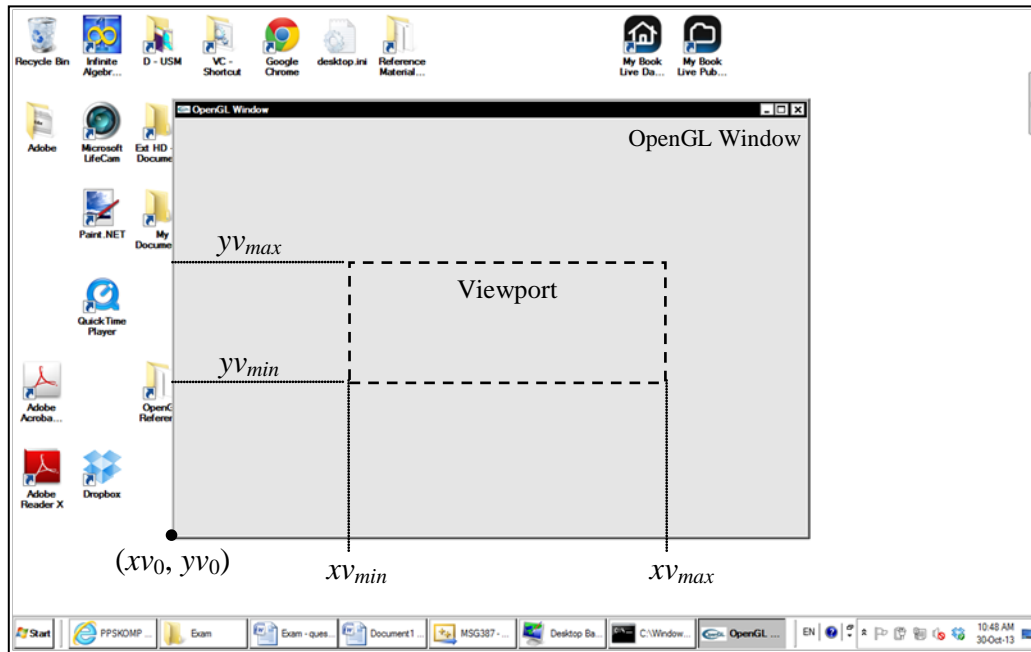


Figure 2.

- (i) Find the transformation matrix from local to world CRFs. Sketch the triangle in the world CRF after the transformation, add the clipped window, then estimate number of intersection points of the triangle with the clipped window, and the shape of the triangle after clipping.
- (ii) Find the transformation matrix from viewing to world CRFs. Given the transformation sequence is $R \cdot T$, where R denotes rotation matrix and T denotes translation matrix.
- (iii) Find the transformation matrix, $M_{window, normsquare}$, from viewing to normalized CRF in terms of xw_{min} , xw_{max} , yw_{min} and yw_{max} . Then compute the value of $M_{window, normsquare}$.
- (iv) Find the coordinates of the triangle in normalized CRF.
- (v) By using Liang-Barsky algorithm, calculate the clipped coordinates of the triangle in normalized CRF.
- (vi) By referring to Figure 2, what are the values of xv_0 , yv_0 , xv_{min} , yv_{min} , xv_{max} , and yv_{max} , measured in viewport CRF?
- (vii) Find the transformation matrix, $M_{normsquare, viewport}$, from normalized to viewport CRFs in terms of xv_{min} , xv_{max} , yv_{min} and yv_{max} . Then compute the value of $M_{normsquare, viewport}$.
- (viii) Find the coordinates of the clipped triangle in viewport CRF.
- (ix) Find the device coordinate of the clipped triangle in (viii).
- (x) Sketch the 2D viewing pipeline for the above transformations.

[100 marks]

4. Jawab soalan-soalan berikut,

(a) Huraikan algorithm guntingan garis Liang-Barsky dengan menjawab langkah-langkah berikut. Penjelasan anda mesti bermula dari persamaan berparameter untuk suatu garislurus; kemudian huraikan bagaimana mencapai 4 kes bagi $u_k p_k \leq q_k$, dimana $k = 1, 2, 3, 4$; sehingga pengiraan guntingan segmen garis. Pertimbangkan kes $m > 0$, dimana m adalah kecerunan garis.

(i) Tulis persamaan berparameter suatu garislurus. Jelaskan syarat-syarat guntingan dalam sebutan sempadan-sempadan tettingkap guntingan, diberi $(x_{n_{min}}, y_{n_{min}})$ dan $(x_{n_{max}}, y_{n_{max}})$ adalah koordinat-koordinat sempadan untuk tettingkap guntingan tersebut.

(ii) Dari (i), terbitkan empat kes guntingan dalam bentuk $u_k p_k \leq q_k$, dimana $k = 1, 2, 3, 4$. Terangkan apakah yang diwakili oleh u_k , p_k dan q_k bagi setiap nilai k . Kemudian jelaskan bagaimana garislurus tersebut bersilang dengan sempadan-sempadan tettingkap guntingan untuk setiap nilai k jika $u_k = \frac{q_k}{p_k}$.

(iii) Apabila $p_k > 0$ dan nilai u menokok, apakah kelakuan garislurus tersebut? Sebaliknya, Apabila $p_k < 0$ dan nilai u menokok, apakah kelakuan garislurus tersebut? Apakah u_k yang dicari untuk setiap kes, i.e. u_k yang lebih besar atau lebih kecil?

(iv) Biar $u_{min} = 0$ dan $u_{max} = 1$, dimana u_{min} dan u_{max} adalah nilai-nilai berparameter permulaan bagi kedua-dua titik hujung untuk segmen garis tersebut; beri syarat-syarat supaya u_k diabaikan atau disimpan, apabila mencari p_k , q_k , dan u_k .

(v) Apakah syarat-syarat p_k dan q_k supaya garis tersebut diabaikan?

(vi) Jelaskan bagaimana mengguna u_{min} dan u_{max} yang didapati dari (v) untuk mencari segmen garis yang tertungting.

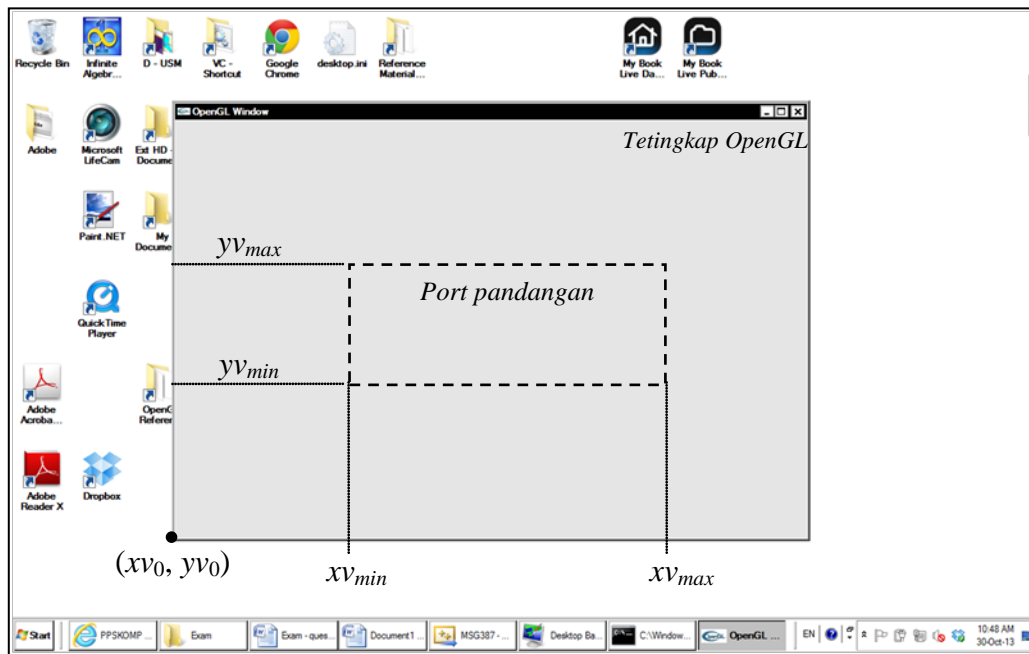
(b) Diberi suatu segitiga dengan koordinat-koordinat setempat $A(0,0)$, $B(20,0)$ dan $C(0,10)$. Segitiga tersebut dibesarkan 5 dan 20 kali-ganda ke arah mendatar dan menegak masing-masing, dari saiz asalnya; dan asalannya ditempatkan pada $(50,50)$ dalam kerangka rujukan koordinat (CRF) dunia.

Segitiga tersebut kemudian ditransformasikan ke suatu tettingkap guntingan dengan CRF pandangan yang mempunyai vektor pandang-tegak 2D diberi sebagai $(0,1)$ dan asalan pandangan, P_0 diberi sebagai $(0,0)$. Tettingkap guntingan mempunyai nilai-nilai minima $(x_{w_{min}}, y_{w_{min}})$ dan maksima $(x_{w_{max}}, y_{w_{max}})$ sebagai $(0,100)$ dan $(200,200)$ masing-masing dalam CRF dunia.

Kemudian, koordinat-koordinat segitiga tersebut dinormalkan dalam CRF ternormal, yang mempunyai -1 dan 1 sebagai nilai-nilai minima dan maksima masing-masing, untuk kedua-dua arah x dan y . Kemudian, segitiga tersebut digunting dalam tettingkap ternormal dengan menggunakan Algoritma Liang-Barsky.

Selepas guntingan, tettingkap ternormal tersebut dipetakan ke atas suatu port pandangan bersaiz 300×400 (lebar \times tinggi), dan ditempatkan pada $(20,20)$ bagi suatu tettingkap paparan yang bersaiz 600×600 . Gambarajah 2 menunjukkan port pandangan dan tettingkap paparan.

Jawab soalan-soalan berikut dari (i) ke (x). Semua matriks adalah berdimensi 3×3 .

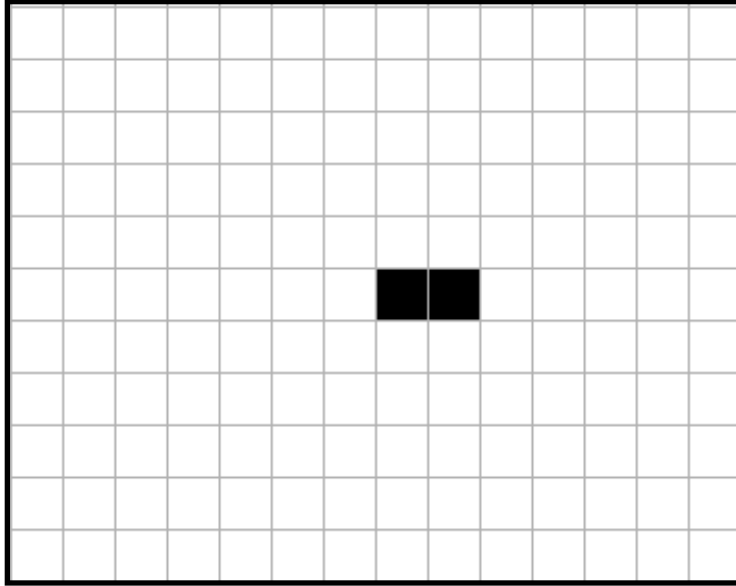


Gambarajah 2.

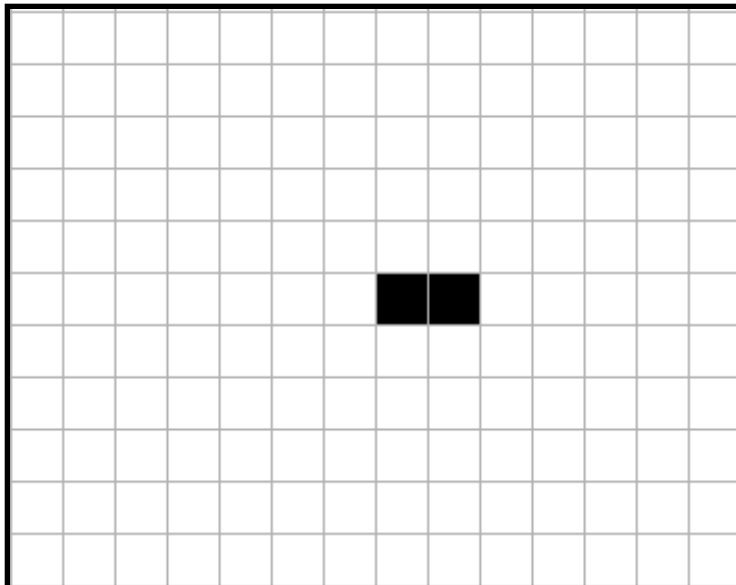
- (i) Cari matriks transformasi dari CRF setempat ke CRF dunia. Lakarkan segitiga tersebut dalam CRF dunia selepas transformasi tersebut, tambah tetingkap guntingan, kemudian menjangka bilangan titik persilangan segitiga tersebut dengan tetingkap guntingan, dan bentuk selepas segitiga digunting.
- (ii) Cari matriks transformasi dari CRF pandangan ke CRF dunia. Diberi turutan transformasi ialah $R \cdot T$, di mana R ialah matriks putaran dan T ialah matriks translasi.
- (iii) Cari matriks transformasi, $M_{window, normsquare}$, dari CRF pandangan ke CRF ternormal dalam sebutan xw_{min} , xw_{max} , yw_{min} dan yw_{max} . Kemudian kira nilai bagi $M_{window, normsquare}$.
- (iv) Cari koordinat-koordinat segitiga dalam CRF ternormal.
- (v) Dengan menggunakan algoritma Liang-Barsky, kira koordinat-koordinat segitiga yang tergantung dalam CRF ternormal.
- (vi) Dengan merujuk kepada Gambarajah 2, apakah nilai-nilai xv_0 , yv_0 , xv_{min} , yv_{min} , xv_{max} , dan yv_{max} , dalam ukuran CRF port pandangan?
- (vii) Cari matriks transformasi, $M_{normsquare, viewport}$, dari CRF ternormal ke CRF port pandangan dalam sebutan xv_{min} , xv_{max} , yv_{min} dan yv_{max} . Kemudian kira nilai $M_{normsquare, viewport}$.
- (viii) Cari koordinat-koordinat segitiga yang tergantung dalam CRF port pandangan.
- (ix) Cari koordinat peranti bagi segitiga yang tergantung dalam (viii).
- (x) Lakarkan talian paip pandangan 2D untuk transformasi-transformasi di atas.

[100 markah]

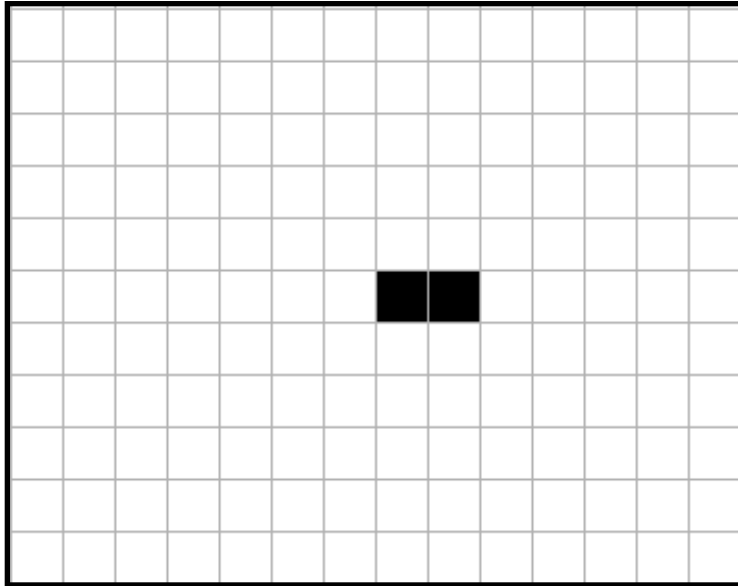
Question [*Soalan*] _____



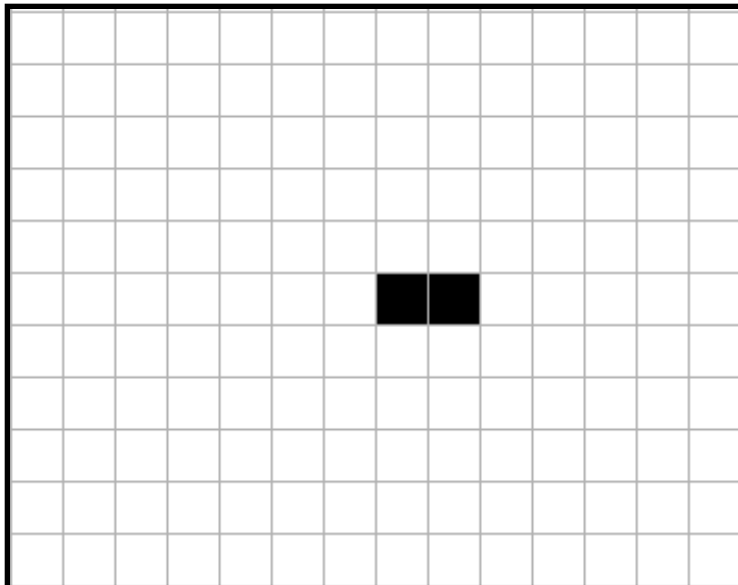
Question [*Soalan*] _____



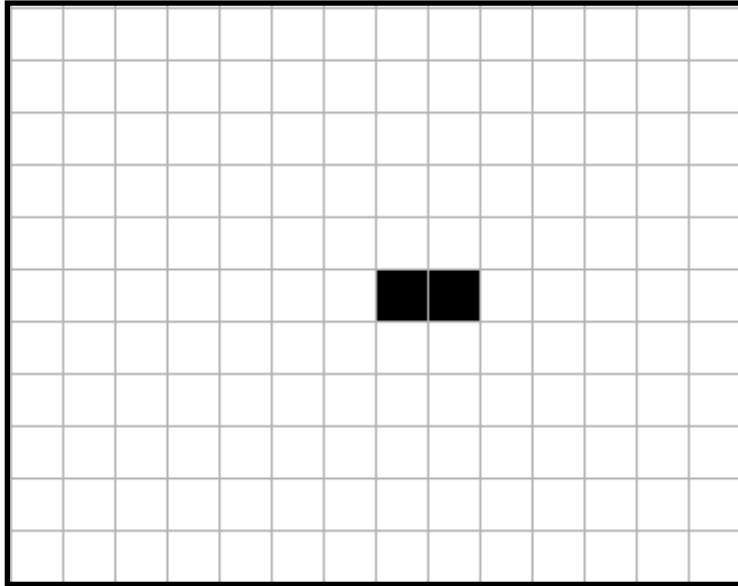
Question [*Soalan*]_____



Question [*Soalan*]_____



Question [*Soalan*]_____



Question [*Soalan*]_____

