

Pràctica 2

Objectiu

L'objectiu d'aquesta pràctica és aprendre conceptes bàsics relacionats amb la programació amb múltiples fils d'execució (*multithreading*) i de múltiples processos.

Grups de pràctiques

Els grups de pràctiques seran de dos o tres alumnes.

Entorn de treball

Les implementacions s'han d'executar sobre el servidor *bsd* i en la distribució milax dels laboratoris de l'assignatura.

Lliuraments

Es faran dos lliuraments de la pràctica al moodle. El primer correspondrà a les fases 1 i 2, i el segon a les fases 3 i 4. Heu de seguir estrictament totes les instruccions donades especificades a les tasques del lliurament del moodle. La data límit de lliurament en primera convocatòria és la mateixa per a tots els grups de laboratori (veure l'entrada Distribució de classes dins l'espai Moodle de l'assignatura).

Correcció

La revisió i correcció de la pràctica 2 es realitzarà mitjançant una entrevista entre el professor i tots els membres del grup de pràctiques. L'entrevista final tindrà una durada aproximada de 20 minuts. Les dates d'entrevista s'especificaran a l'espai moodle de l'assignatura, així com la manera de concertar hora.

Amb el codi de la pràctica s'ha de lliurar un informe escrit on es documenti la pràctica de la manera habitual, és a dir: *Especificacions*, *Disseny*, *Implementació* i *Joc de proves*. En l'apartat de joc de proves NO s'han d'incloure còpies de pantalla de l'execució del programa, ja que la impressió sobre paper dels resultats no demostra que la implementació funcioni. El que cal fer és enumerar (redactar) tots els casos possibles que el programa és capaç de tractar. Les proves presentades i altres afegides pel professor, s'executaran sobre una imatge de milax o en el servidor BSD durant l'entrevista.

El professor realitzarà preguntes sobre el contingut de l'informe, del codi que presenteu i del funcionament dels programes. Cada membre del grup tindrà una nota individual, que dependrà del nivell de coneixements demostrat durant l'entrevista.

A més, **es realitzarà una verificació automàtica de còpies entre tots els programes presentats**. Si es detecta alguna còpia, tots els alumnes involucrats (els qui han copiat i els que s'han deixat copiar) tindran la pràctica suspesa i, per extensió, l'assignatura suspesa.

Enunciat

Es tracta d'implementar una versió bàsica del joc **Arkanoid** o Breakout. Es genera un camp de joc rectangular amb una porteria/sortida, una paleta que es mou amb el teclat per a cobrir la sortida i una pilota que rebotarà contra les parets del camp, contra la paleta i contra alguns blocs. Hi ha 3 tipus de blocs: uns blocs que es trenquen i desapareixen (A), uns blocs que es trenquen, desapareixen i creen una nova pilota (B) i uns blocs que no es trenquen i simplement fan rebotar la pilota. En el cas de tenir varies pilotes, al xocar entre elles hauran de rebotar. Quan una de les pilotes surti per la porteria, desapareixerà.

El programa acabarà la seva execució quan no hi hagi cap pilota al camp, quan no quedin blocs dels que es trenquen o quan l'usuari premi la tecla RETURN. El joc es guanya si s'han trencat tots els blocs trencables, i hi ha com a mínim una pilota al camp de joc.

En el moodle us proporcionem una versió inicial del programa '`mur0.c`' on de manera seqüència es controla una pilota i la paleta d'usuari. Per tal d'aprendre programació *multithreading*, es demana modificar aquesta versió inicial de forma que l'ordinador pugui moure més d'una pilota simultàniament. La idea principal és que les funcions que controlen el moviment de la pilota i de la paleta s'adaptin per a ser executar com un fil independent o *thread*. Així, en l'evolució del joc només caldrà crear tants fils d'execució com pilotes s'hagin de crear en trencar-se els blocs fins a un màxim de 9 pilotes.

Fases de la pràctica

Per tal de facilitar el disseny de la pràctica es proposen 4 fases:

0. Programa seqüencial ('`mur0.c`')

Versió seqüencial amb una sola pilota i una paleta. Aquesta versió us la proporcionen en el laboratori 5.

1. Creació de threads ('`mur1.c`')

Partint de l'exemple anterior, modifiqueu les funcions que controlen el moviment de la paleta i la pilota per a què puguin actuar com a fils d'execució independents. Així el programa principal crearà un fil pel jugador (paleta) i un fil per a la primera pilota. Després s'afegirà l'aparició de noves pilotes quan una destrueixi algun dels blocs (B). Aquesta fase segur que tindrà deficiències que es solucionaran a la següent.

2. Sincronització de threads ('`mur2.c`')

Completeu la fase anterior de manera que es sincronitzi l'execució dels fils a l'hora d'accedir als recursos compartits (per exemple, l'entorn de dibuix, rutines de les curses, variables globals necessàries). D'aquesta manera s'han de solucionar els problemes de visualització que presenta la versió del `mur1`, els quals es fan més evidents quan treballem en un multiprocessador o en un servidor.

3. Creació de processos ('mur3.c'/'pilota3.c'):

L'objectiu d'aquesta fase és aprendre conceptes bàsics relacionats amb la programació amb múltiples processos (multiprocés), per tant, es proposa modificar el joc desenvolupat a la fase 2 de forma que ara s'utilitzin processos en lloc de *threads*. Concretament, cada pilota serà controlada per un procés fill. El codi d'aquests processos fill haurà de residir en un fitxer executable diferent del fitxer executable del programa principal (també anomenat programa pare).

4. Sincronització de processos ('mur4.c'/'pilota4.c')):

En aquesta fase cal establir seccions crítiques que evitin els problemes de concurrència de la fase anterior. També cal implementar la funcionalitat de comunicació entre els diversos processos fill (i potser també amb el procés pare), per practicar amb el mecanisme de comunicació entre processos.

Per establir seccions crítiques cal utilitzar semàfors. I per la comunicació entre processos es realitzarà mitjançant bústies de missatges. Les funcions bàsiques de manipulació de semàfors i de bústies per sincronitzar i comunicar els processos s'expliquen a la sessió 8 dels laboratoris de FSO.

Fase 0

Per tal de generar la visualització del joc es proporcionen una sèrie de rutines dins del fitxer 'winsuport.c', que utilitzen una llibreria d'UNIX anomenada 'curses'. Aquesta llibreria permet escriure caràcters ASCII en posicions específiques de la pantalla (fila, columna). El fitxer 'winsuport.h' inclou les definicions i les capçaleres de les rutines implementades, així com la descripció del seu funcionament:

```
int win_ini(int *fil, int *col, char creq, unsigned int inv);
void win_fi();
void win_escricar(int f, int c, char car, unsigned int invers);
char win_quincar(int f, int c);
void win_escristr(char *str);
int win_gettec(void);
void win_retard(int ms);
```

- Cal invocar la funció `win_ini` abans d'utilitzar qualsevol de les altres funcions, indicant el número de files i columnes requerits de la finestra de dibuix, així com el caràcter per emmarcar el camp de joc i si aquest aquest caràcter s'ha de visualitzar en atribut invers (definicions `INVERS` o `NOINV`). Els paràmetres de files i columnes es passen per referència perquè, si al invocar a la funció valen zero, la finestra ocuparà tota la pantalla del terminal i les variables referenciades contindran el número de files i columnes obtingut per la funció d'inicialització. L'última fila de la finestra de dibuix no formarà part del camp de joc, ja que es reserva per escriure missatges.
- En acabar el programa, cal invocar la funció `win_fi`.
- Per escriure un caràcter en una fila i columna determinades cal utilitzar la funció `win_escricar`. El paràmetre `invers` permet ressaltar el caràcter amb els atributs de vídeo invertits (definicions

INVERS o NOINV). El codi ASCII servirà per identificar el tipus d'element del camp de joc (espai lliure ' ', paret '+', paleta '0', pilota '1').

- La funció `win_quincar` permet consultar el codi ASCII d'una posició determinada.
- La funció `win_escriustr` serveix per escriure un missatge en l'última línia de la finestra de dibuix.
- Per llegir una tecla es pot invocar la funció `win_gettec`. Es recomana utilitzar les tecles definides en el fitxer de capçalera `'winsupport.h'` per especificar el moviment del jugador.
- La funció `win_retard` permet aturar l'execució d'un procés o d'un fil durant el número de mil·lisegons especificat per paràmetre.

El programa d'exemple `'mur0.c'` utilitza les funcions anteriors per dibuixar el camp de joc i per controlar el moviment de la paleta i de la pilota. Per a generar l'executable primer cal compilar els fitxers fonts i ensamblar-los:

```
$ make mur0
```

Ara ja es pot executar el programa. Abans però, s'han de conèixer els arguments que cal passar-li per línia de comandes. El primer argument serveix per indicar un fitxer de text que contindrà la configuració de la zona de joc i de la posició i velocitat inicials de la pilota. L'estructura del fitxer serà la següent:

```
num_files num_columnes mida_porteria
pos_fi_paleta pos_col_paleta mida_paleta
pos_fila pos_columna vel_fila vel_columna
```

on la primera línia contindrà números enters i la segona números reals. Per exemple, el fitxer `'params.txt'` conté la següent informació:

```
$ more params.txt
25 40 20
22 30 10
21.0 20.0 -1.0 0.3
3.0 5.0 1.0 -0.5
```

El fitxer indica una zona de dibuix de 25 files i 40 columnes (camp de joc de 24x40) i una sortida de 20 espais oberts. La posició de la paleta serà a (22, 30) i de 10 caràcters de longitud. La posició inicial de la pilota serà (21, 20) i la velocitat inicial serà de -1.0 punts per files (cap amunt) i 0.3 punts per columna (a la dreta).

A més, es podrà afegir un segon argument opcional per a indicar un retard general del moviment dels objectes (en ms). El valor per defecte d'aquest paràmetre es de 100 (1 dècima de segon).

El nom de l'executable serà `'mur0'`, i la manera usual d'invocar-lo és la següent:

```
$ ./mur0 fit_config [retard]
```

Així, la comanda per executar el programa amb la configuració del fitxer `'params.txt'` i 50 mil·lisegons de retard de moviment és la següent:

```
$ ./mur0 params.txt 50
```

Finalment, si s'executa sense arguments es mostra una ajuda sobre el funcionament del programa.

Fase 1

En aquesta fase cal modificar les funcions anteriors de moviment de la paleta i de la pilota per tal que puguin funcionar com a fils d'execució independents. Les funcions bàsiques de creació (i unió) de *threads* s'expliquen a la sessió 5 dels laboratoris d'FSO. A més, cal fer una sèrie de canvis addicionals per a què tot funcioni correctament. A continuació es proposen una sèrie de passos que divideixen la feina a fer en petites tasques. Abans de fer cap modificació, es suggereix fer una còpia del programa original (i canviar els comentaris de la capçalera):

```
$ cp mur0.c mur1.c
```

Pas 1.1: Primera lectura del programa

Abans que res, cal donar-li una ullada general a la versió inicial del programa `'mur0.c'`, per tal d'entendre la seva estructura.

Primer cal observar les variables globals més importants, és a dir:

```
int n_fil, n_col;      /* numero de files i columnes del taulell */
int m_por;            /* mida de la porteria (en caracters) */
int f_pal, c_pal;     /* posicio del primer caracer de la paleta */
int f_pil, c_pil;     /* posicio de la pilota, en valor enter */
float pos_f, pos_c;   /* posicio de la pilota, en valor real */
float vel_f, vel_c;   /* velocitat de la pilota, en valor real */
```

Després observem que el programa està organitzat en les següents funcions:

```
int carrega_configuracio(FILE *fit);
int inicialitza_joc(void);
int mou_pilota(void);
int mou_paleta(void);
```

Finalment, ens fixarem en l'estructura bàsica del programa principal, el qual utilitza les funcions anteriors per inicialitzar la finestra de dibuix i, si tot ha funcionat bé, executeu el bucle principal, el qual activa periòdicament les funcions per moure paleta i moure pilota. El programa acaba quan s'ha premut la tecla RETURN o quan la pilota surt per la porteria (`'fi1'` o `'fi2'` diferent de zero):

```
int main(int n_args, char *ll_args[])
{
    :
    if (carrega_configuracio(fit_conf) !=0) /* llegir dades del fitxer */
        exit(3); /* aborta si hi ha algun problema en el fitxer */
    :
    if (inicialitza_joc() !=0) /* intenta crear el taulell de joc */
        exit(4); /* aborta si hi ha algun problema amb taulell */
    do /****** bucle principal del joc *****/
    {
        fi1 = mou_paleta();
        fi2 = mou_pilota();
        win_retard(retard); /* retard del joc */
    } while (!fi1 && !fi2);

    win_fi(); /* tanca les curses */
}
```

Pas 1.2: Modificar la funció de moviment de la pilota

Com que hem d'adaptar la funció `mou_pilota` per a què es pugui executar com un fil d'execució independent, el primer que cal fer és canviar la capçalera:

```
void * mou_pilota(void * index)
```

El valor que es passa pel paràmetre `index` serà un enter que indicarà l'ordre de creació de les pilotes (0 -> primera, 1 -> segona, etc.). Aquest paràmetre servirà per accedir a la taula global d'informació de les pilotes, així com per escriure el caràcter corresponent (identificador '1' per la primera, '2' per la segona, etc.). De moment, però, no utilitzarem el paràmetre, ja que farem una primera versió de la funció per manejar una única pilota com un fil d'execució independent.

Al contrari que en la fase 0, la nova funció de moviment s'ha d'executar de manera independent al bucle principal del programa. Això implica que cal implementar el seu propi bucle per generar el moviment dels objectes. Per finalitzar l'execució d'aquest bucle de moviment, es pot consultar les variables '`fi1`' i '`fi2`', que indiquen alguna condició de final de joc (tecla `RETURN` o pilota surt per porteria). Per tant, aquestes variables ara han de ser globals (no locals al `main`), i s'actualitzaran directament des de dins de les funcions de `mou_paleta` i `mou_pilota`.

Pas 1.3: Modificar la funció de moviment de l'usuari

Igual que en el cas anterior, s'ha d'adaptar la funció `mou_paleta` per a que es pugui executar com un fil d'execució independent. La nova capçalera serà la següent, on el paràmetre `nu1` no conté cap informació:

```
void * mou_paleta(void * nu1)
```

Una altra vegada, caldrà crear un bucle independent de moviment per a la paleta, amb les mateixes condicions d'acabament generals.

Pas 1.4: Modificar la funció principal del programa

Després cal modificar la funció `main`, creant els dos fils corresponents a la primera pilota i el fil corresponent a la paleta. El seu bucle principal ara NO ha d'invocar a les funcions de moviment de paleta ni el de la pilota, donat que ja s'executen de manera concurrent, sinó que tan sols controlarà el temps de joc (minuts:segons) i el mostrarà per la línia de missatges, fins que es doni alguna condició de finalització. L'última acció del programa principal serà la d'escriure el temps total de joc per la sortida estàndard, juntament amb els missatges de finalització proposats en la versió d'exemple.

Arribats a aquest punt ja podem provar els canvis efectuats, encara que de moment només es mourà una sola pilota. Genereu el fitxer executable '`mur1`' :

```
$ make mur1
```

i *ATENCIÓ: podria ser que la pilota es mogués molt ràpid i no la vegessiu.*

Pas 1.5: Acabar la funció de moviment de les pilotes.

Modifiqueu la funció `comprovar_bloc` per a que si la pilota que es mou toca un bloc del tipus (B) es crei una nova pilota utilitzant un *thread*, al qual se li passarà per paràmetre l'identificador de la nova pilota (les pilotes es crearan en el lloci velocitats indicats en el fitxer passat per paràmetre).

Ara la funció `mou_pilota` ha de poder gestionar les dades de la pilota que se li assignarà a través del paràmetre `index`. Per això cada pilota haurà de disposar de la seva pròpia informació. Així doncs, s'han de convertir les variables globals `'f_pil'`, `'c_pil'`, `'pos_f'`, `'pos_c'`, `'vel_f'` i `'vel_c'` en vectors de màxim 9 posicions.

i *ATENCIÓ: la implementació de la fase 1 no realitza cap mena de sincronisme entre els fils. Per tant, és possible que apareguin caràcters erronis ocasionals a causa de l'execució concurrent i descontrolada d'aquests fils. Això no obstant, el propòsit d'aquesta fase és veure que s'executen tots els fils (pilotes) requerits en el fitxer de configuració especificat com a argument del programa.*

Fase 2.

En aquesta fase cal establir seccions crítiques que evitin els problemes de concurrència de la fase anterior. Per fer això caldrà incloure semàfors per fer l'exclusió mútua entre els fils. Les funcions bàsiques de manipulació de semàfors per sincronitzar els *threads* s'expliquen a la sessió 6 dels laboratoris de FSO.

Les seccions crítiques han de servir per impedir l'accés concurrent a determinats recursos per part dels diferents fils d'execució. En el nostre cas, cal establir seccions crítiques per accedir a l'entorn de dibuix i a algunes variables global que s'hagués de protegir contra els accessos concurrents desincronitzats.

El fitxer executable s'anomenarà '**mur2**'.

Per tal d'agilitzar el procés de desenvolupament de la pràctica 2, es recomana la utilització d'un fitxer de text anomenat '**Makefile**', el qual ha d'estar ubicat en el mateix directori que els fitxers font a compilar. Per permetre la compilació de la nova fase, es poden afegir les següents línies:

```
mur2 : mur2.c winsuport.o winsuport.h
      gcc -Wall mur2.c winsuport.o -o mur2 -lcurses -lpthread
```

D'aquesta manera s'estableixen les dependències entre els fitxers de sortida (en aquest cas '**mur2**') i els fitxers d'entrada dels quals depenen, en aquest cas: **mur2.c**, **winsuport.o** i **winsuport.h**, a més d'especificar la comanda que s'ha d'invocar en cas que la data de modificació d'algun dels fitxers d'entrada sigui posterior a la data de l'última modificació del fitxer de sortida. Aquest control el realitza la comanda **make**. Per exemple, podem realitzar les següents peticions:

```
$ make winsuport.o
$ make mur2
$ make
```

Si no s'especifica cap paràmetre, **make** verificarà les dependències del primer fitxer de sortida que trobi dins del fitxer '**Makefile**' del directori de treball actual.

Fase 3.

L'objectiu d'aquesta fase és aprendre conceptes bàsics relacionats amb la programació amb múltiples processos (multiprocés), per tant, es proposa modificar el joc desenvolupat a la fase 2 de forma que ara s'utilitzin processos en lloc de *threads*. Concretament, cada pilota serà controlada per un procés fill. El codi d'aquests processos fill haurà de residir en un fitxer executable diferent del fitxer executable del programa principal (també anomenat programa pare).

Les funcions bàsiques de creació de processos, més la gestió de zones de memòria compartida, s'expliquen a la sessió L7 dels laboratoris.

A més del fitxer font principal `'mur3.c'` (procés pare), caldrà crear un altre fitxer font `'pilota3.c'` que contindrà el codi que han d'executar els processos fill per controlar les pilotes.

Per accedir a pantalla es disposa d'un nou grup rutines definides a `'winsuport2.h'`. Aquestes rutines estan adaptades a l'ús d'una mateixa finestra des de diferents processos. El seu funcionament és diferent de l'anterior versió de `winsuport` per a *threads*. Es disposa d'un exemple d'utilització als fitxers `'multiproc2.c'` i `'mp_car2.c'`.

A grans trets, la utilització de `winsuport2` ha de ser el següent:

- **Procés pare (codi del main en el mur3.c):**

- invoca a `win_ini()`: la nova implementació de la funció retorna la mida en bytes que cal reservar per emmagatzemar el contingut del camp de joc.
- crea una zona de memòria compartida de mida igual a la retornada per `win_ini()`.
- invoca a `win_set()`: aquesta funció inicialitza el contingut de la finestra de dibuix i permet l'accés al procés pare.
- crea el thread de la paleta, tal com estava a la fase 2, però ara no es podran usar mutex, ja que les seccions crítiques les haurem de fer també entre diferents processos.
- crea el primer procés fill (primera pilota) passant-li com argument la referència (identificador IPC) de la memòria compartida del camp de joc, a més de les dimensions (files, columnes) i altres informacions necessàries.
- executa un bucle principal on, periòdicament (p. ex. cada 100 mil·lisegons) actualitza per pantalla el contingut del camp de joc, invocant la funció `win_update()`.
- un cop acabada l'execució del programa (inclosos tots els processos), invoca la funció `win_fi()` i destrueix la zona de memòria del camp de joc i altres recursos compartits que s'hagin creat.

- **Processos fill:**

- mapejen la referència de memòria compartida que conté el camp de joc, utilitzant la referència (identificador) que s'ha passat per argument des del procés pare.
- invoquen la funció `win_set()` amb l'adreça de la zona de memòria mapejada anteriorment i les dimensions (files, columnes) que s'han passat per argument.
- utilitzen totes les funcions d'escriptura i consulta del camp de joc `win_escricar()`, `win_escristr()` i `win_quincar()`.

Els processos fill, però, no poden fer servir la funció `win_gettec()`, la qual només és accessible al procés que ha inicialitzat l'entorn de CURSES (el procés pare).

El fitxer executable principal s'anomenarà `'mur3'` i el de les pilotes d'ordinador s'anomenarà `'pilota3'`. Per generar-los, s'han d'utilitzar les següents comandes:

```
$ gcc -Wall mur3.c winsuport2.o -o mur3 -lcurses -lpthread
$ gcc -Wall pilota3.c winsuport2.o -o pilota3 -lcurses
```

L'execució es farà de manera similar a la pràctica anterior, invocant l'executable 'mur3' amb els paràmetres corresponents al fitxer de configuració del joc (una fila per les dimensions més una fila per la paleta més una fila per cada pilota) i un valor opcional de retard.

Fase 4.

En aquesta fase cal establir seccions crítiques que evitin els problemes de concurrència de la fase anterior. També cal implementar la funcionalitat de comunicació entre els diversos processos fill (i potser també amb el procés pare), per practicar amb el mecanisme de comunicació entre processos. Per establir seccions crítiques cal utilitzar semàfors. I per la comunicació entre processos es realitzarà mitjançant bústies de missatges. Les funcions bàsiques de manipulació de semàfors i de bústies per sincronitzar i comunicar els processos s'expliquen a la sessió 8 dels laboratoris de FSO.

En aquest punt voldrem afegir dues característiques especials al joc:

1. Voldrem fer que quan una pilota surti per la porteria, comuniqui a les demás pilotes la seva velocitat de la coordenada y.
La resta de processos pilota, rebran aquesta velocitat i aplicaran el següent algorisme:
 - si la velocitat pròpia és menor que la velocitat rebuda llavors agafa la velocitat rebuda incrementada un 25%
 - si la velocitat pròpia és major s'agafa la velocitat de la rebuda, alentint-seRecordeu que la velocitat de la pilota ha d'estar sempre entre -1.0 i 1.0
2. Voldrem que quan una pilota toqui els blocs A (canvieu el símbol dels blocs superiors del taulell de joc per una T) a més a més de fer-lo desaparèixer iniciï un temporitzador en 5 segons. Durant el temps que duri aquest temporitzador, les pilotes s'han de dibuixar en mode invertit i quan toquin els blocs WLLCHAR (###) rebotarà però esborrarà el caràcter amb el que ha xocat, destruint parcialment la muralla.
Si mentre dura el temporitzador es torna a tocar un bloc T, s'incrementarà el temps que quedava en 5 segons més.
3. En la part inferior de la pantalla, s'ha de anar decrementant el temporitzador per saber el temps que ens queda disponible.