El nucli del sistema operatiu

Sistemes Operatius 1

Lluís Garrido – lluis.garrido@ub.edu

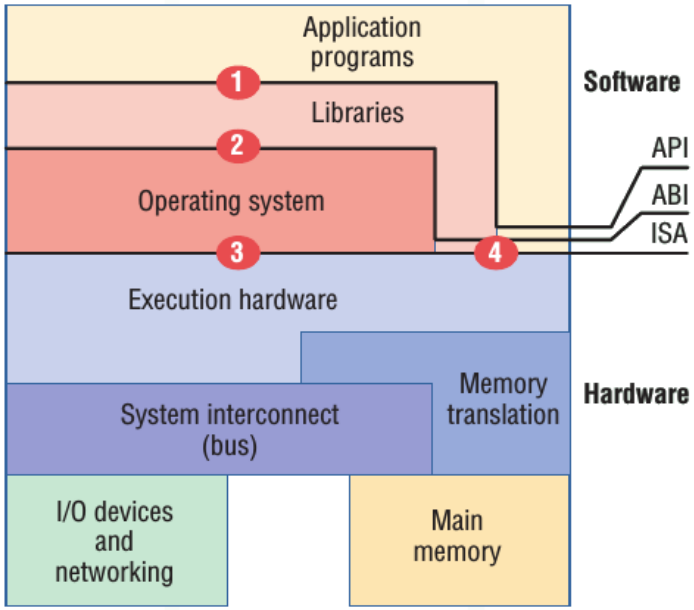
Grau d'Enginyeria Informàtica

El nucli

Organització de les transparències

1. Introducció
2. El concepte de procés
3. Mode dual d'operació
4. Transferència de control de seguretat entre usuari i nucli
5. Estructura d'un sistema operatiu

Què és un sistema operatiu?



Un sistema operatiu es pot veure com una màquina estesa:

- Oculta a l'usuari de tots els detalls escabrosos que han de ser realitzats per accedir als dispositius.
- Ofereix a l'usuari una màquina virtual i una una interfície (les crides a sistema), molt més senzilla d'utilitzar.

El nucli

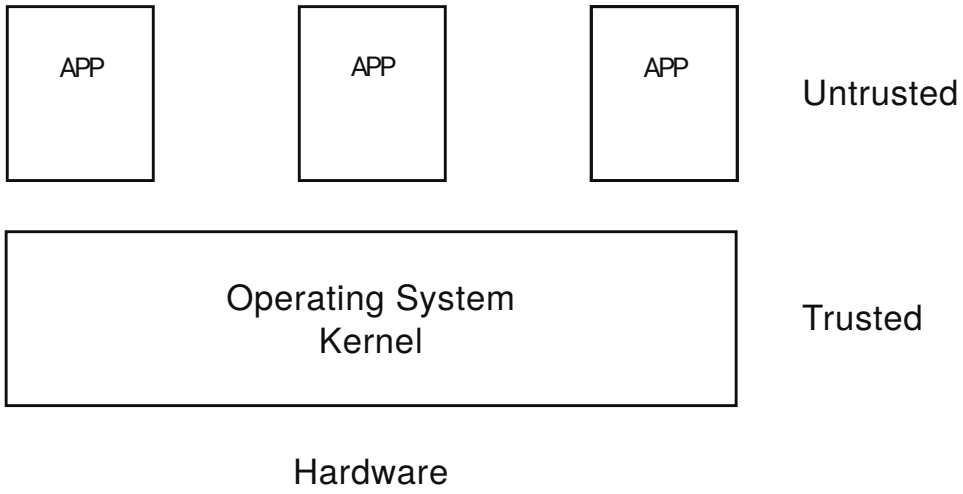
El nucli (en anglès, kernel) del sistema operatiu té la tasca de protegir:

- Fiabilitat: un error de programació o malícia en una aplicació no hauria d'afectar a la resta d'aplicacions. El sistema operatiu ha de funcionar correctament independentment del que faci l'aplicació d'usuari.
- Seguretat: cal limitar les accions que les aplicacions individuals poden realitzar. Pex, cal impedir que una aplicació pugui escriure a disc i modificar el codi del sistema operatiu.
- Privacitat: en un sistema multiusuari, cada usuari (i les aplicacions associades) només hauria de poder accedir a les dades que té permès accedir.
- Eficiència: les aplicacions no haurien de poder consumir tots els recursos (CPU, memòria, ...) en detriment d'altres aplicacions. El sistema operatiu ha de repartir els recursos entre les aplicacions.

El nucli

El nucli del sistema operatiu s'ha d'encarregar de la protecció

- El nucli ha de ser una peça de programari de confiança per fer qualsevol cosa amb el maquinari; amb accés total a les capacitats del maquinari.
- Tota la resta, les aplicacions que no són de confiança, executen en un entorn restringit, amb un accés restringit a la capacitat real de la màquina.



Com s'aconsegueix això? Ara ho veurem!

El nucli

Moltes vegades les aplicacions d'usuari han d'executar codi no fiable de tercers

- Els navegadors web pot executar codi JavaScript. Si el navegador no proveeix de protecció un codi JavaScript maliciós podria prendre control del navegador. Les contrasenyes, etc. podrien ser enviades a l'atacant.
- Altres aplicacions acostumen a poder executar codi de tercers. Això és beneficiós per a l'aplicació ja que permet ampliar la funcionalitat de l'aplicació en sí; però planteja la qüestió de protegir-se de codi de tercers.

El nucli

En un sistema operatiu s'utilitza el concepte de procés: és una aplicació que s'executa amb drets restringits.

- Un procés necessita permís del nucli per accedir a qualsevol posició de memòria, per escriure a disc, per modificar la configuració del maquinari, etc. L'accés d'un procés al maquinari està controlat pel nucli.
- Les aplicacions s'han d'executar a alta velocitat a l'ordinador. El nucli s'executa directament al processador amb drets il·limitats. Els processos s'executen al processadors amb limitacions sobre operacions potencialment perilloses. Això s'aconsegueix gràcies a l'ajut del maquinari en sí. Ho veurem d'aquí a un moment...

El nucli

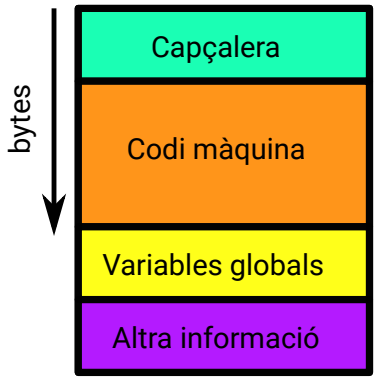
La protecció implica diverses qüestions que cal respondre

1. El concepte de procés: què és un procés i en què es diferencia d'un programa?
2. Mode dual d'operació: com implementa un sistema operatiu un procés? Quin maquinari fa falta per executar de forma eficient un procés en mode restringit?
3. Transferència del control de seguretat: com es pot passar la frontera entre els processos, no fiables, i el nucli, fiable?

El concepte de procés

Aquest és el model de programació al qual estem acostumats

1. Es realitza un programa en un llenguatge d'alt nivell (per exemple, C).
2. S'utilitza un compilador per convertir el codi en instruccions màquina.
3. El compilador genera un codi executable del programa. El codi executable té una "estructura interna" coneguda pel sistema operatiu.

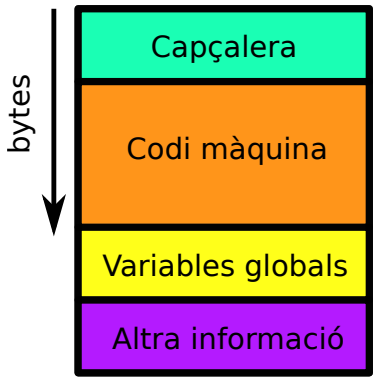


Estructura d'un programa

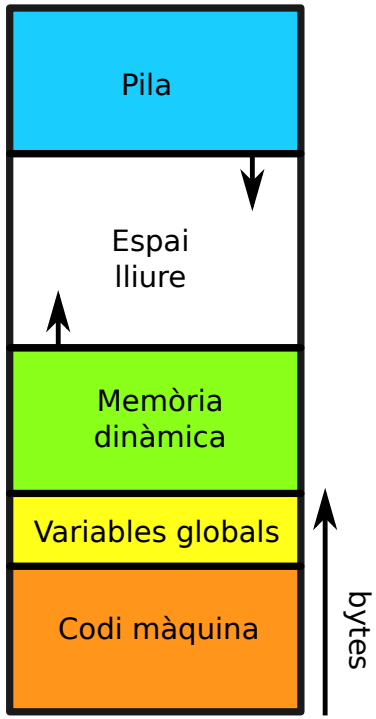
El concepte de procés

En executar un programa

- El sistema operatiu copia les instruccions màquina de disc a memòria física, "crea" la pila i la zona de memòria dinàmica.
- Per executar el procés només cal que el sistema operatiu cridi a la funció "main". Ja tenim un procés executant-se!



Estructura d'un programa



Estructura d'un procés a memòria

El concepte de procés

On s'emmagatzema cada variable en aquest exemple ?

- Regió global: variables globals
- Regió de pila: variables locals a la funció i l'històric de les crides a funcions.
- Regió de memòria dinàmica: hi apunta la variable "vector".

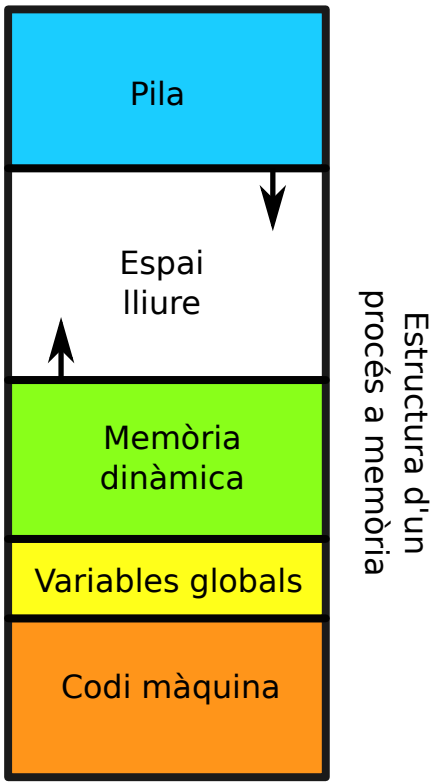
```c
int global;

int func(int a)
{
  int b;
  // Processament
}

void main(void)
{
  char str[10];
  int local, *vector;

  global = local = 0;

  // Processament
  func(2);
  // Reservar memoria
  vector = malloc(1000);
}
```



El concepte de procés

Un procés és una instància d'un programa, de la mateixa forma que un objecte és una instància d'una classe a programació orientada a objectes.

- Podem executar múltiples instàncies d'un mateix programa. El sistema operatiu s'encarrega de carregar a memòria múltiples còpies de les instruccions màquina del programa, així com crear múltiples còpies de la pila i la zona de memòria dinàmica.

- La "creació" de la pila i la zona de memòria dinàmica implica assignar els permisos necessaris a aquella zona perquè el procés hi pugui llegir i/o escriure.

- El compilador és un programa i en executar-lo el sistema operatiu crea el procés. El mateix passa amb l'intèrpret de Python, Java o bash...

Mode dual d'operació

Suposem que el sistema operatiu ha copiat les instruccions màquina del programa a memòria i ara...

1. Comença a executar el procés. Per això salta a la funció principal d'entrada (el "main" al C).
2. La CPU comença a executar les instruccions que hi troba: multiplicacions, escriptura i lectura de posicions de memòria, etc.

Com es pot assegurar que les instruccions que executa un procés no "fan mal" a altres processos o el nucli del sistema operatiu? El sistema operatiu ha d'assegurar protecció!

Mode dual d'operació

Com es pot assegurar que les instruccions que executa un procés no "fan mal" a altres processos o el nucli del sistema operatiu mateix?

- Una solució es pot basar en què el nucli "simuli", a nivell de programari, l'execució abans d'executar-la. Així es pot comprovar si la instrucció és legal abans d'executar-la realment. Aquesta solució és molt lenta (actualment)...
- La segona solució, l'adoptada actualment, és realitzar a aquesta simulació a nivell de maquinari. És l'anomenat mode dual d'operació: en mode nucli (o kernel) el processador pot executar qualsevol instrucció; en mode usuari el processador "comprova" cada instrucció abans d'executar-la.

Mode dual d'operació

Quin maquinari és necessari perquè el nucli pugui protegir els processos i usuaris entre sí? Com a mínim

1. Instruccions privilegiades: Totes les instruccions potencialment perilloses estan prohibides en mode usuari.
2. Protecció de memòria: Tots els accessos a memòria física d'un procés fora de l'espai que se li ha estat assignat estan prohibits en mode usuari.
3. Interrupcions de temporitzador: Independentment del que faci un procés, el nucli del procés ha de prendre el control de forma periòdica de la màquina per fer "gestions".

A més, el maquinari ha de proveir d'un mecanisme per passar de forma segura de mode nucli a mode usuari i a la inversa. Anem a veure-ho!

Mode dual d'operació: instruccions privilegiades

Els processos d'usuari poden utilitzar només un subconjunt de totes les instruccions disponibles (mode d'usuari d'execució), mentre que el nucli té a la seva disposició tota la potència de la màquina (mode nucli d'execució).

Quines instruccions s'haurien de restringir?

- Un procés d'usuari no ha de ser capaç de modificar, entre altres coses, el seu nivell de privilegi d'execució. Però un procés ho pot fer de forma indirecta mitjançant una crida a sistema: una crida que transfereix el control al sistema operatiu.
- Un procés d'usuari no ha de poder modificar les interrupcions del maquinari, ni canviar la regió de memòria a la qual pot accedir, etc.

Mode dual d'operació: instruccions privilegiades

Què passa si un procés d'usuari executa una instrucció no autoritzada?

- Aquest esdeveniment provoca una excepció de processador. L'excepció provoca que el maquinari transfereixi de forma immediata el control a una determinada funció del nucli, que pot prendre les accions necessàries[1].
- Típicament, en produir-se una excepció per una instrucció invàlida, aquesta funció decideix aturar el procés que ha provocat l'excepció (es "mata").

[1] Ara veurem com sap el maquinari a quina funció del nucli s'ha de transferir el control.

Mode dual d'operació: protecció de memòria

Per executar un procés (d'usuari), cal que

- El procés resideixi a memòria física perquè pugui ser executat.
- El nucli del sistema operatiu ha de residir també a memòria perquè pugui gestionar les crides a sistema del procés, interrupcions de temporitzador així com les possibles excepcions.

Típicament hi pot haver múltiples (desenes!) de processos executant

- El sistema operatiu ha de configurar el maquinari perquè cada procés només pugui accedir a la seva parcel·la de memòria.
- Si un procés intenta accedir (per lectura o escriptura) a una posició no permesa, es produeix una excepció.

Mode dual d'operació: protecció de memòria

Com pot evitar un sistema operatiu (en particular, el nucli) que un procés accedeixi a parts no permeses a memòria física? De nou, es fa gràcies al maquinari. Al llarg de la història hi ha hagut diversos formes d'enfocar el problema.

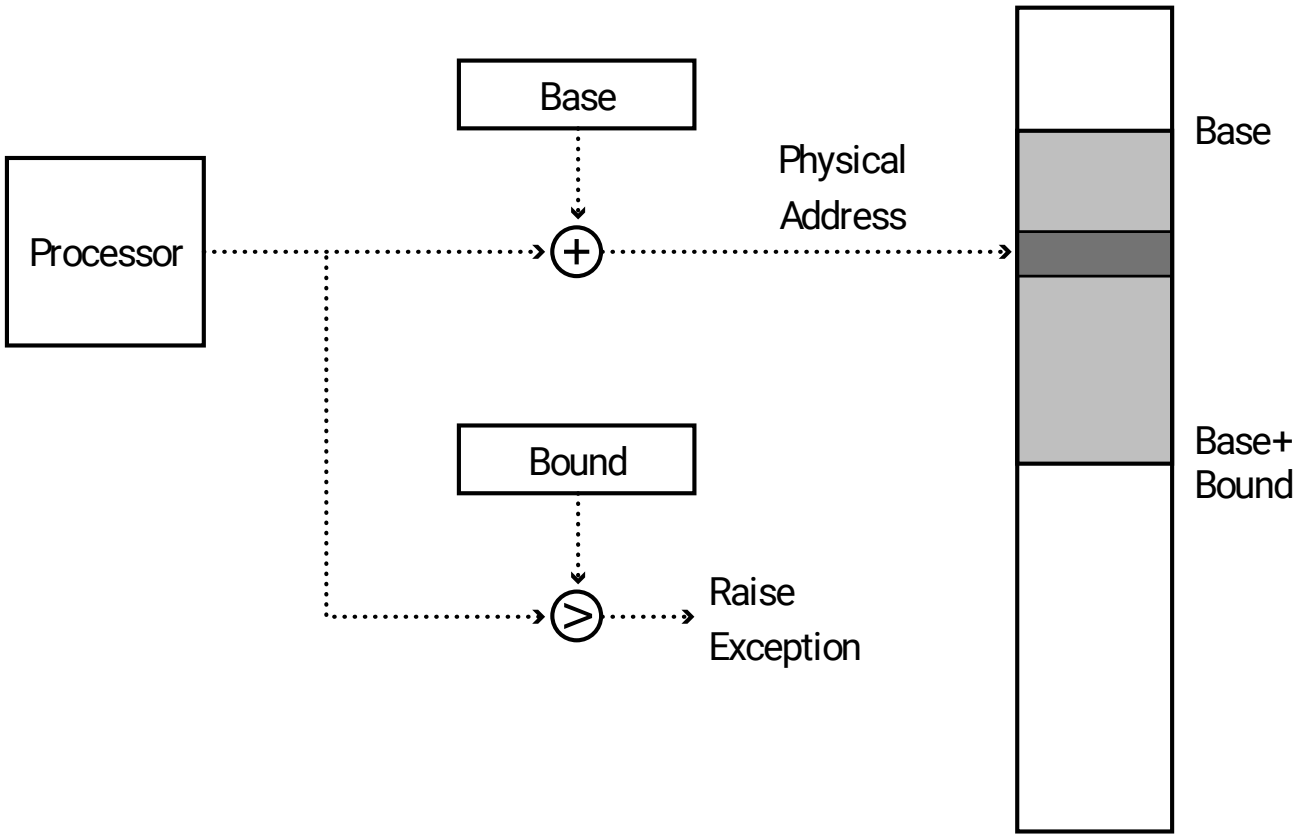
- Esquema amb dos registres maquinari: base i limit.
- Memòria virtual

Anem a veure'ls breument, ho veurem amb més detall al capítol de memòria virtual.

Mode dual d'operació: protecció de memòria

Esquema amb dos registres: base i limit. Aquests registres només poden ser modificats per instruccions privilegiades.

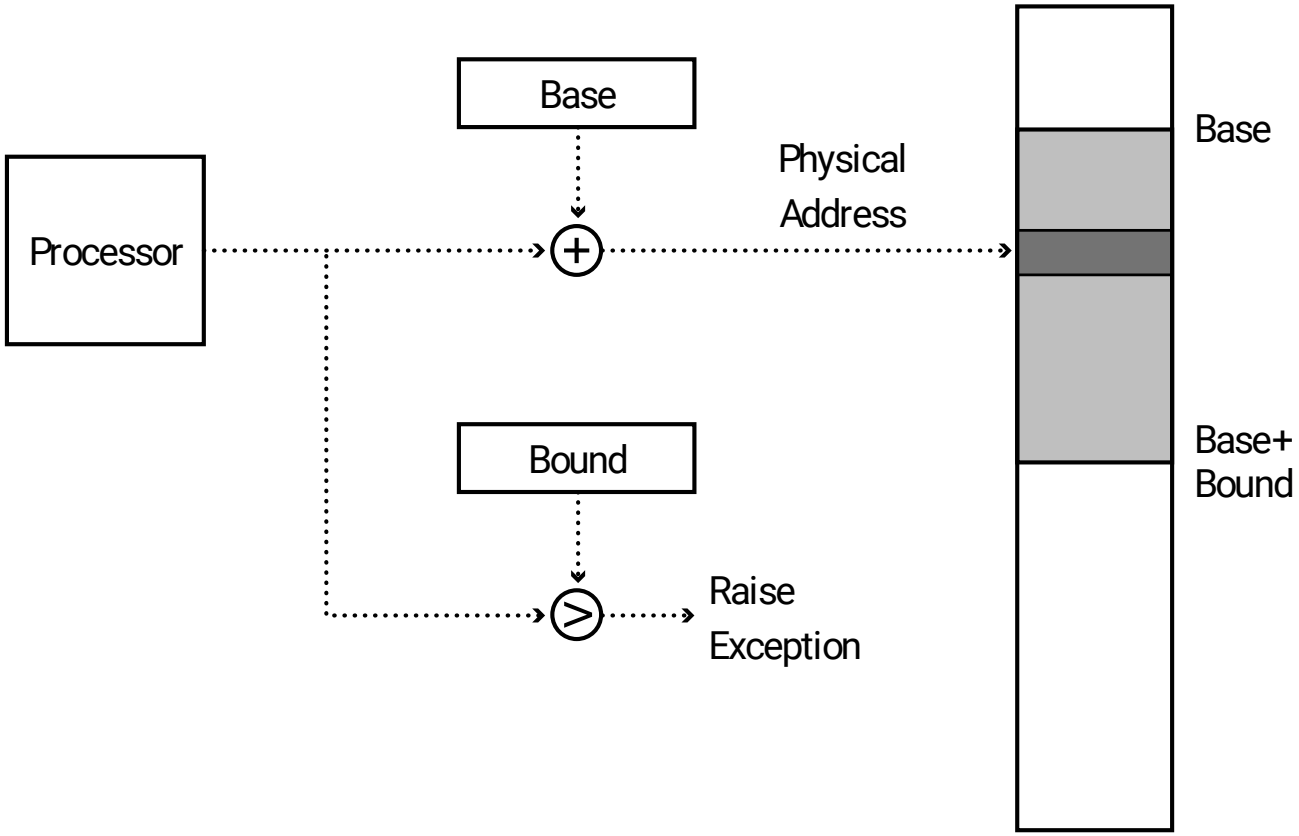
- Cada cop que s'accedeix a memòria, se suma la base a l'adreça. Si se supera el límit, es produeix una excepció.



Mode dual d'operació: protecció de memòria

Observar que, amb aquest esquema

- Cal realitzar una comparació i una suma cada cop que es vol accedir a una posició de memòria. Però el cost addicional val la pena per tal d'implementar la protecció.
- El sistema operatiu opera directament sobre memòria real.



Mode dual d'operació: protecció de memòria

Esquema amb dos registres: base i limit. Té importants defectes

- Pila i memòria dinàmica expansible? Amb només dos registres cal preveure la memòria màxima que ocuparà el procés en el moment de carregar-lo de disc a memòria. Aquesta previsió és difícil de fer.
- Compartició de memòria? Amb aquest esquema no es pot aconseguir que diversos processos "comparteixin" una zona de memòria (per exemple, la de les instruccions màquina).
- Fragmentació de memòria? Amb aquest esquema tot el procés ocupa un espai "continu" que no es pot fragmentar en trossos.

Mode dual d'operació: protecció de memòria

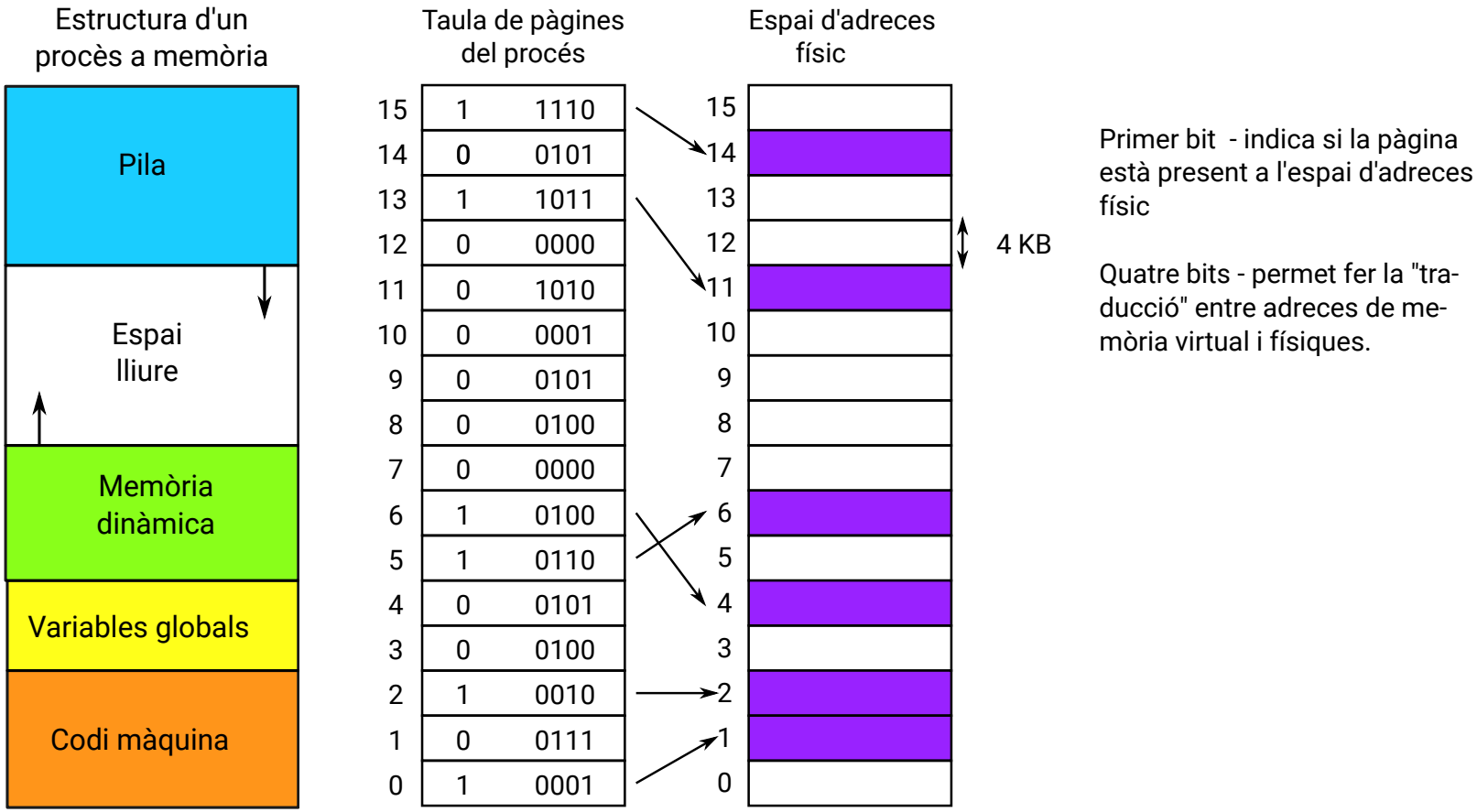
Memòria virtual: utilitzat a la majoria de processadors moderns d'avui en dia.

- El processador genera "adreces virtuals" que són traduïdes per un maquinari específic a una adreça física.
- Aquesta és la sortida per pantalla del codi `exemple1.c`. Totes les adreces que es mostren a continuació són virtuals, és a dir, no són pas direccions físiques reals.

```
Funcio main:  4195741
Variable global:  6295628
Variable local:  140733565474012
Variable vector:  140733565474000
Vector apunta a:  38584336
```

Mode dual d'operació: protecció de memòria

Exemple de mapat d'una adreça virtual a una adreça física (arquitectura de 16 bits)



Primer bit - indica si la pàgina està present a l'espai d'adreces físic

Quatre bits - permet fer la "traducció" entre adreces de memòria virtual i físiques.

Mode dual d'operació: protecció de memòria

A l'exemple anterior els 4 primers bits de l'adreça permeten "traduir" de l'adreça virtual a física:

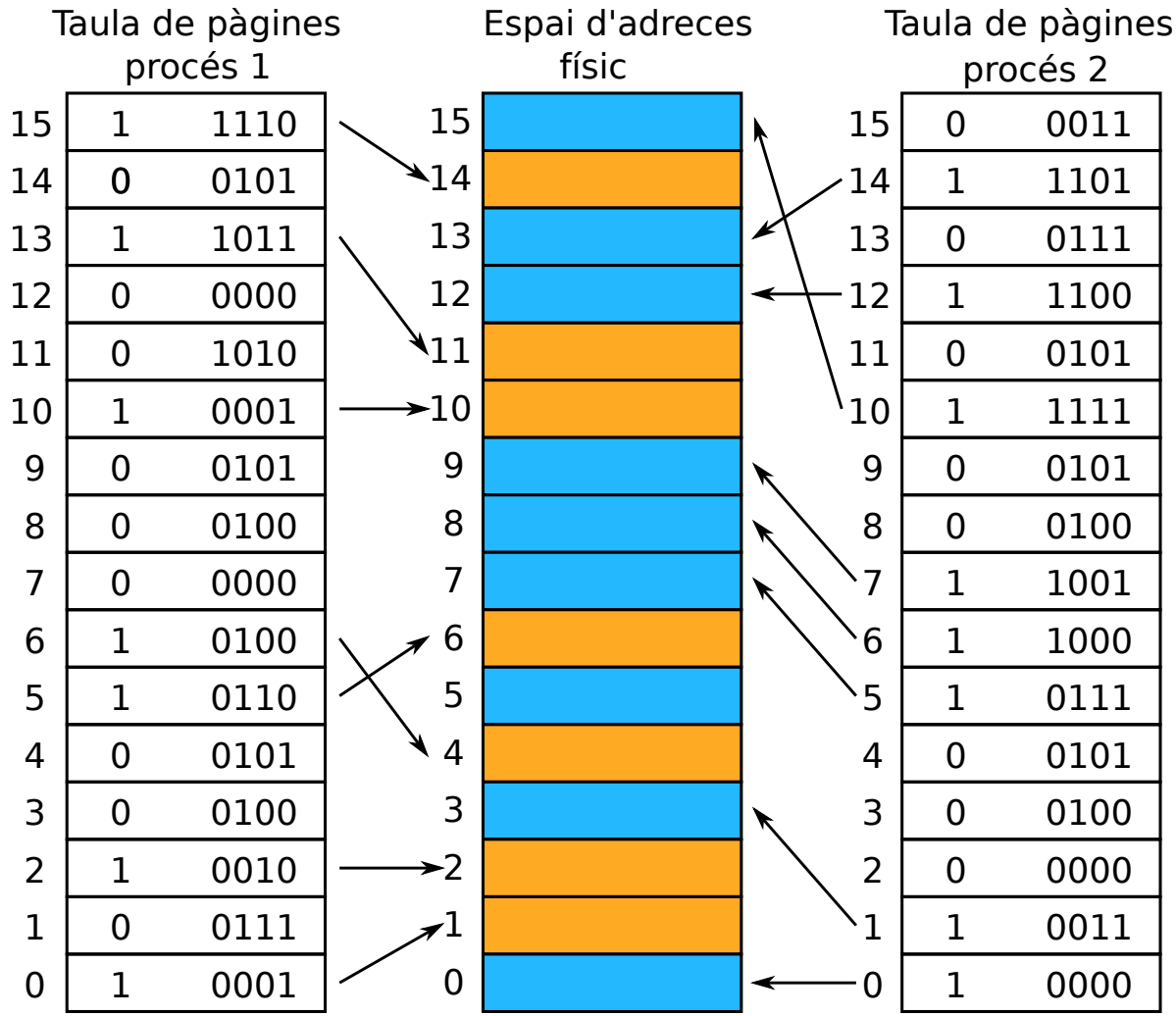
- L'adreça virtual 0000 1111 0000 1111 es mapa a 0001 1111 0000 1111.
- L'adreça virtual 0001 1111 0000 1111 produeix una excepció.

Característiques de la memòria virtual

- El mapat d'una adreça virtual a adreça física es realitza a nivell de maquinari.
- El sistema operatiu s'encarrega de gestionar les taules dels processos.
- Cada procés creu té disponible tot l'espai de memòria possible tot i que no existeixi físicament.
- Posicions contigües a memòria virtual no tenen perquè ser contigües a l'espai físic.

Mode dual d'operació: protecció de memòria

Exemple amb dos processos: la memòria virtual permet gestionar la protecció de memòria entre aquests.



Mode dual d'operació

Recordem quin maquinari és necessari perquè el nucli pugui protegir els processos i usuaris entre sí. Hem vist fins ara els primers dos punts:

1. Instruccions privilegiades: Totes les instruccions potencialment perilloses estan prohibides en mode usuari.
2. Protecció de memòria: Tots els accessos a memòria física d'un procés fora de l'espai que se li ha estat assignat estan prohibits en mode usuari.
3. Interrupcions de temporitzador: Independentment del que faci un procés, el nucli del procés ha de prendre el control de forma periòdica el control de la màquina per fer "gestions".

Mode dual d'operació: interrupcions de temporitzador

En el moment en què els sistema operatiu comença a executar un procés. Aquest és lliure d'executar qualsevol instrucció no privilegiada, cridar a qualsevol funció, fer un bucle, etc.

- Cada procés creu que té disponible tota la CPU per a ell sol. Per donar aquesta il·lusió el sistema operatiu ha de poder indicar, periòdicament, quin procés s'executa a la CPU per assegurar que tots els processos hi obtenen temps d'execució.

- El procés es pot penjar en un bucle infinit. Com es pot aturar? El sistema operatiu ha de poder comprovar, periòdicament, si l'usuari vol aturar el procés pel motiu que sigui.

Per fer totes aquestes gestions i més el sistema operatiu ha de poder prendre, periòdicament, el control de la CPU.

Mode dual d'operació: interrupcions de temporitzador

S'utilitza un temporitzador (a nivell de maquinari) que interromp l'execució del procés cada determinat temps (per exemple, 10 mil·lisegons).

- En arribar a zero el temporitzador es transfereix el control a una determinada funció sistema operatiu i es passa a mode nucli d'execució. El sistema operatiu pot aleshores decidir quin procés s'executa a la CPU, es poden aturar process, es poden planificar accessos a disc, a xarxa, etc.

- Es poden produir altres interrupcions, per exemple, un disc avisa al sistema operatiu que ha llegit les dades demanades, el ratolí avisa que l'usuari ha mogut el ratolí, etc.

Quina funció crida el maquinari en produir-se una interrupció? Ho veurem en un moment.

Sobre el mode dual d'operació

Hem parlat sobre el mode dual d'operació (mode nucli o mode usuari).

- El sistema x86 suporta més modes d'operació (en concret, 4). La idea al darrera és permetre que el sistema operatiu pugui executar fent servir múltiples nivells de privilegi per assegurar que un error en una determinada part no provoqui una fallada del sistema. Actualment ni Linux, ni MacOS, ni Windows fan servir els 4 nivells.

- A l'actualitat, a alguns sistemes operatius, el nucli del sistema operatiu executa en mode nucli mentre que una porció de la sistema operatiu en mode usuari. Es fa per seguretat. No és pas senzill aconseguir-ho.

Curiositats

Fa pocs anys els sistemes operatius no eren tan fiables i segurs com avui en dia

- L'antic MS-DOS, de Microsoft, no proveïa de protecció de memòria. Tot i que era acceptable en aquella època, errors a les aplicacions feien petar tot el sistema. I el sistema era molt vulnerable a virus.
- Fins el 2002 els sistemes Mac OS no proveïen de la capacitat d'interrupcions de temporitzador. El procés havia de cridar manualment i de forma periòdica al sistema operatiu perquè aquest pogués comprovar si hi havia alguna cosa a fer. Però si el procés es penjava en un bucle infinit l'ordinador es penjava. I aleshores calia reiniciar l'ordinador!

Algunes preguntes

Responeu a les següents preguntes

- Per a cadascun dels mecanismes necessaris per suportar mode dual – instruccions privilegiades, protecció de memòria i interrupcions de temporitzador – explicar què pot anar malament si en falla un d'ells, suposant que disposem dels altres dos.
- Suposem que tenim un llenguatge i compilador "perfecte" orientat a objectes, de forma que un mètode d'un objecte només pot accedir a les dades del mateix objecte. Si el sistema operatiu només executa programes escrits en aquest llenguatge, es necessari disposar del mecanisme de protecció de memòria?

El nucli

Aquest és l'esquema de la presentació vist al principi

1. Introducció
2. El concepte de procés
3. Mode dual d'operació
4. Transferència de control de seguretat entre usuari i nucli
5. Estructura d'un sistema operatiu

Hem vist els primers tres punts. Anem pel quart punt: veurem com funcionen les excepcions, interrupcions i crides a sistema. Com es pot passar la frontera entre els processos, no fiable, i el nucli, fiable?

Transferència de control de seguretat

Tot procés s'executa en mode usuari amb la protecció necessària. Com passem del mode usuari a mode nucli? I a la inversa, de mode nucli a mode usuari? Aquestes transicions són habituals i, per tant, ha de ser ràpides i fiables. Ara veurem:

- Quan es realitza la transferència de mode usuari a mode nucli?
- Quan es realitza la transferència de mode nucli a mode usuari?
- Com es realitza, tècnicament, aquesta transferència?

Mode usuari a mode nucli

Ens concentrem primer en la transferència de mode usuari a mode nucli; la transició en sentit invers es realitza "desfent" la transferència de mode usuari a mode nucli.

Hi ha tres raons per les quals es pot realitzar la transferència de mode usuari a mode nucli

- Excepcions
- Interrupcions
- Crides a sistema

Les excepcions i les crides a sistema són síncrones (es produeixen per l'execució del procés), mentre que la interrupció és asíncrona.

Mode usuari a mode nucli: excepcions

Una excepció és una condició inesperada de l'execució del procés.
Per exemple,

- El procés intenta executar una instrucció privilegiada.
- El procés intenta accedir a una posició de memòria fora de l'espai permès.
- Accés per escriptura a una posició de memòria de només lectura.
- Divisió per zero.
- "Breakpoint" d'un debugger, etc.

En produir-se una excepció, el maquinari atura l'execució del procés actual i passa a executar, en mode nucli, una determinada funció del nucli del sistema operatiu. Quina funció? Ho veurem...

Mode usuari a mode nucli: excepcions

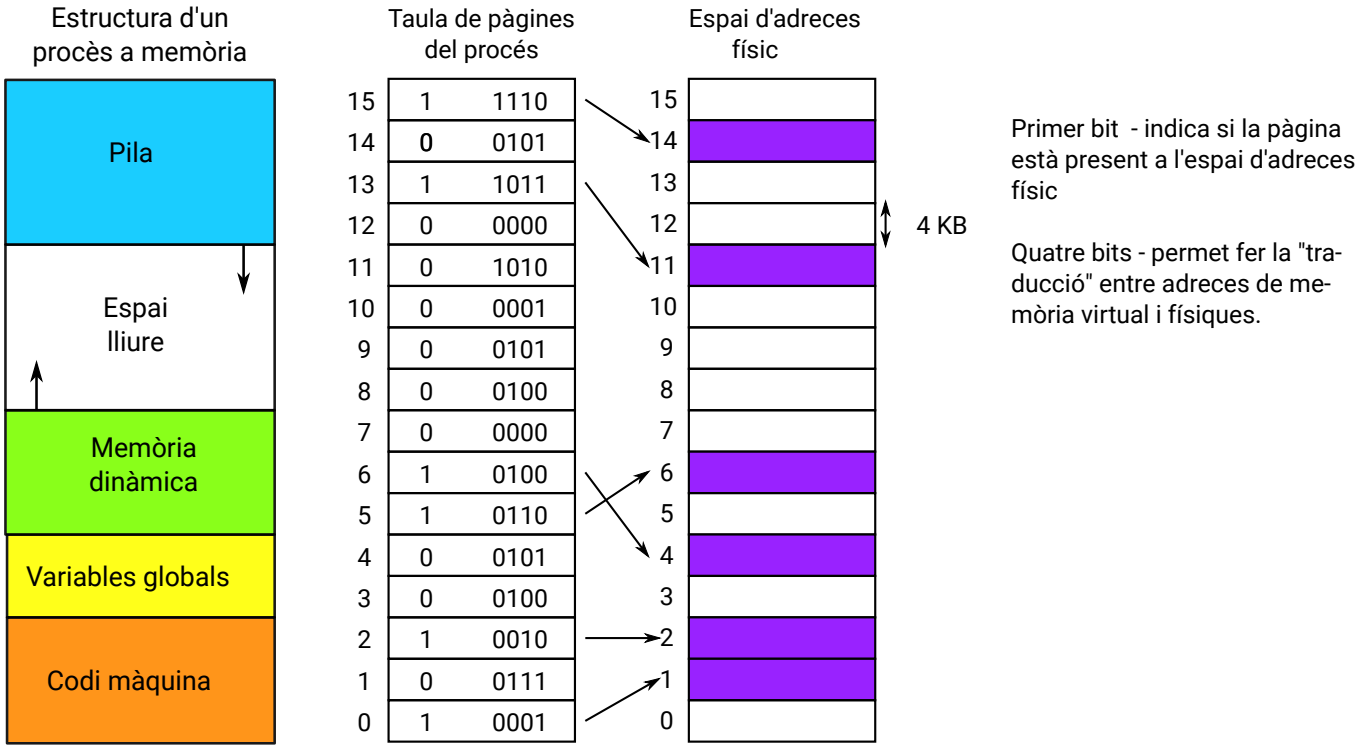
Les excepcions són particularment útils a la virtualització: emular maquinari que realment no existeix.

- Per exemple, els processadors de baix consum poden no suportar determinades operacions en coma flotant. El sistema operatiu pot "simular" aquestes operacions: quan un procés realitza una operació d'aquest tipus es produeix una excepció; el sistema operatiu emula la instrucció; i es retorna el valor al procés i es continua l'execució normalment.

- Quan un sistema operatiu s'executa en mode usuari a una màquina virtual (pex, VirtualBox) intentarà accedir al maquinari com si tingués privilegis totals. El sistema operatiu amfitrió (el que executa realment a la màquina) capturarà aquest intent i realitzarà l'operació demanada.

Mode usuari a mode nucli: excepcions

Les excepcions són també l'eina principal per a la gestió de la memòria virtual. El procés pot voler accedir a una posició de memòria vàlida però que no està "disponible" a memòria física. El sistema operatiu s'encarrega de carregar de disc el "tros" de memòria a què vol accedir al procés.



Ho veurem amb detall al capítol de memòria virtual.

Mode usuari a mode nucli: interrupcions

Una interrupció és un senyal asíncron de maquinari produït per un esdeveniment (no produït per l'execució del procés).

- Funciona de forma similar a una excepció: el processador atura l'execució del procés actual i es passa a executar una determinada funció (gestor) del sistema operatiu.
- Cada tipus d'interrupció té una funció gestor associada: interrupcions de temporitzador; interrupcions sobre operacions d'entrada-sortida: avisar quan el ratolí es mou, quan es finalitza una operació a disc, quan arriben dades per la xarxa, etc.

Mode usuari a mode nucli: crides a sistema

Una crida a sistema és qualsevol funció proveïda pels sistema operatiu i que pot ser cridada per l'usuari.

- És la interfície que ofereix el sistema operatiu als processos per accedir als dispositius o realitzar una altra operació a què només té dret d'accés el sistema operatiu (en particular, el nucli).
- A nivell de programació s'assembla a una crida a una funció: la crida a sistema té paràmetres i valors de retorn.
  Les crides a sistema s'implementen gràcies a una instrucció màquina específica ("trap instruction") que fa que la CPU a) passi de mode usuari a mode nucli i, b) es cridi una determinada funció determinada del sistema operatiu. El sistema operatiu realitza aleshores l'operació demanada i, un cop finalitzat, torna a mode usuari continuant l'execució just després de la "trap instruction".

Mode usuari a mode nucli: crides a sistema

El sistema operatiu ofereix un gran nombre de crides a sistema. A Linux són més de 250! Les crides a sistema inclouen operacions com:

- Control de processos (creació, execució, finalització, ...)
- Gestió de fitxers (creació, obrir, llegir, escriure, tancar, esborrar, ...)
- Gestió de dispositius (connexió, desconnexió, escriure, llegir, ...)
- Comunicació entre processos (escriure i enviar missatges, ...)
- Informació de manteniment (establir hora i data, saber quins processos s'executen, ...)

Mode usuari a mode nucli: crides a sistema

Veiem un exemple de crida a sistema. Les següents funcions permeten escriure dades a un dispositiu

- Podem fer servir una crida al sistema operatiu

  ```
  count = write(fd, vector, nbytes);
  ```

  La funció `write`, disponible a una llibreria d'usuari, fa poc més que posar els paràmetres en el lloc apropiat per a la crida a sistema i realitzar la crida en sí (amb una "trap instruction").

- La funció printf és una crida a una llibreria de l'espai d'usuari

  ```
  printf("El valor es %d\n", i);
  ```

  Aquesta instrucció genera, a l'espai d'usuari, la cadena a imprimir. Un cop generada es fa la crida al sistema operatiu amb un `write`.

Mode nucli a mode usuari

Causes que fan que es passi de mode nucli a mode usuari

- Restablir l'execució després d'una excepció, interrupció o crida a sistema: quan el nucli finalitza de gestionar l'operació, restableix l'execució passant a mode usuari.
- Canviar l'execució a un altre procés: el sistema operatiu pot decidir canviar l'execució a un altre procés. Per fer-ho el sistema operatiu ha de recuperar la informació del procés "antic" i restablir l'execució en el punt en què es va aturar.
- Executar un nou procés: per a crear un procés el sistema operatiu carrega en memòria les instruccions a executar, configura la pila, estableix la primera instrucció a executar del procés, i passa a mode usuari.
- Upcall (crida del nucli als processos): mecanisme perquè els processos puguin rebre notificacions asíncrones d'esdeveniments; són similars a interrupcions però a nivell d'usuari.

Transferència de control de seguretat

Tot procés s'executa en mode usuari amb la protecció necessària. Com passem del mode usuari a mode nucli? I a la inversa, de mode nucli a mode usuari? Aquestes transicions són habituals i, per tant, ha de ser ràpides i fiables.

- Quan es realitza la transferència de mode usuari a mode nucli?
- Quan es realitza la transferència de mode nucli a mode usuari?
- Com es realitza, tècnicament, aquesta transferència?

Hem vist els dos primers punts. Anem pel darrer punt.

Implementació tècnica

Com s'implementa, tècnicament, la transferència de mode usuari a mode nucli? I de mode nucli a mode usuari? Aquesta transferència es realitza gràcies a la col·laboració entre maquinari i programari (el nucli del sistema operatiu). Anem a veure com s'implementa

1. La gestió de les interrupcions
2. La gestió de les excepcions
3. Les crides a sistema

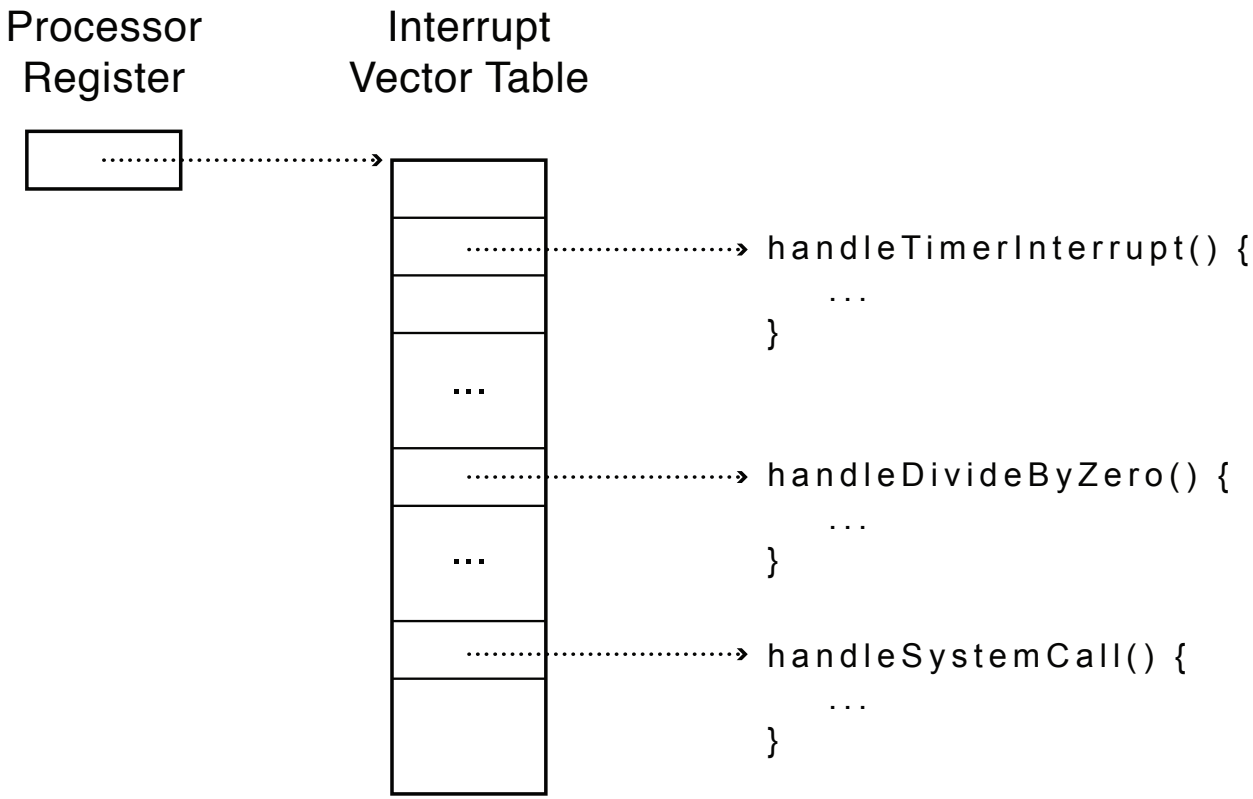
Els mecanismes anteriors s'utilitzen per implementar

1. Executar nous processos
2. Notificacions asíncrones d'esdeveniments a nivell d'usuari (upcall)

En produir-se una interrupció, excepció o crida a sistema, es passa a mode nucli. Però quina és la funció del sistema operatiu que s'ha de cridar?

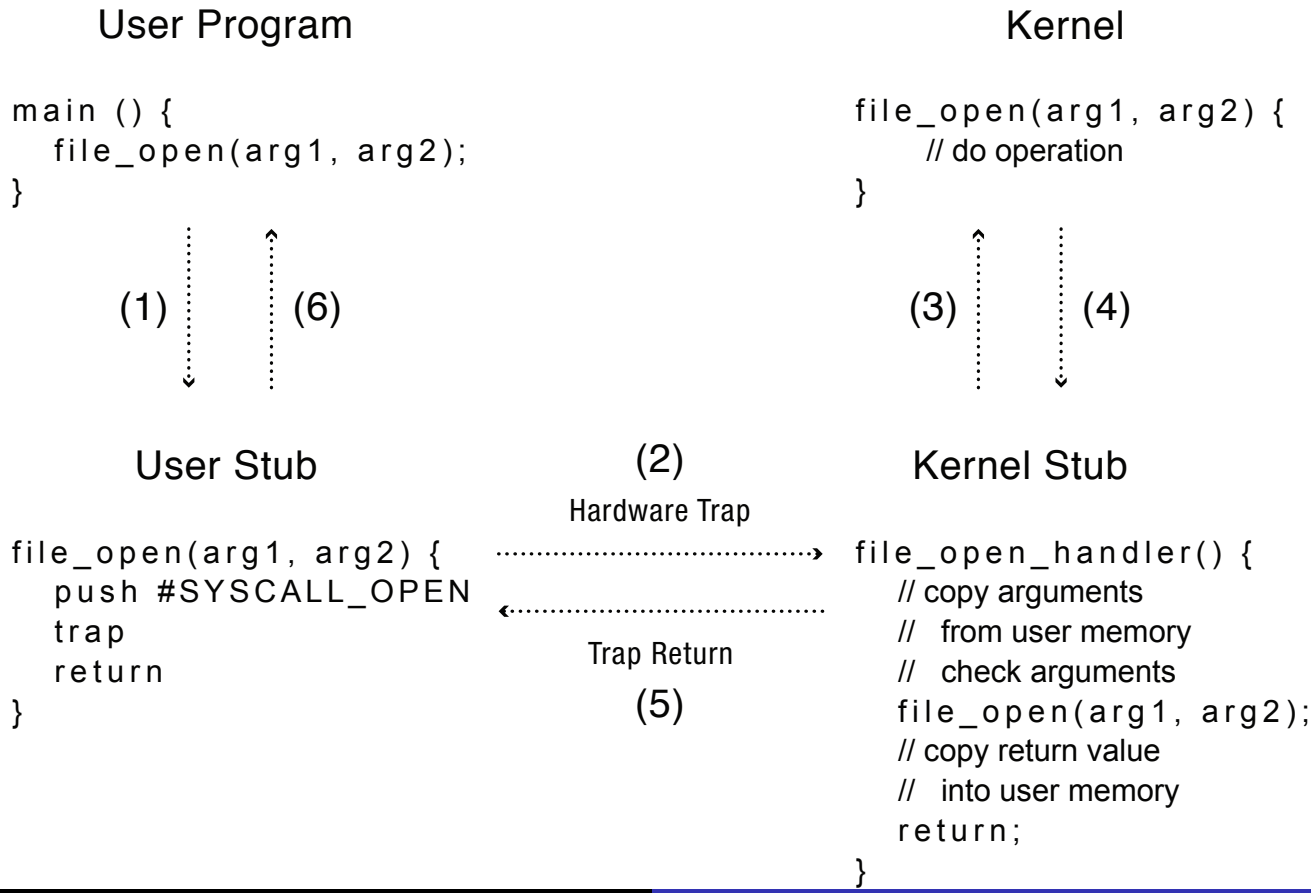
- El maquinari identifica primer si un dispositiu ha realitzat una interrupció, si s'ha produït una excepció o si s'ha executat la "trap instruction".
- Cada cas s'identifica, a nivell de maquinari, per un número sencer.

El número sencer està associat a una entrada en un vector d'interrupcions. Aquesta entrada apunta a la funció que gestionarà l'esdeveniment (interrupció, excepció o crida a sistema).



Crides a sistema

Veiem amb detall la crida a sistema: una crida a sistema és, a nivell de programació de l'usuari, igual que una crida a qualsevol altre funció. El sistema operatiu defineix una convenció que el compilador i el nucli utilitzen a l'hora de fer crides a sistema.



Crides a sistema

Els passos que es realitzen per fer una crida a sistema són (veure dibuix anterior):

1. L'usuari fa la crida (pex write). Aquesta funció emmagatzema, en mode usuari, els paràmetres a la pila d'usuari o en registres.
2. S'executa la "trap instruction". A sistemes x86 també s'anomena sovint "interrupció de programari". Es passa a mode nucli i s'executa una determinada funció del sistema operatiu.
3. Dintre del sistema operatiu cada crida a sistema s'implementa en funcions diferents. Es copien els arguments a la pila del nucli i es comprova que tinguin valors correctes.
4. S'executa la crida a sistema i, en acabar, se segueix el camí invers per continuar l'execució en el punt en què s'ha realitzat la crida. Es torna a passar a mode usuari.

Iniciar un nou procés

Per iniciar un nou procés el nucli utilitza els mecanismes que hem vist fa un moment:

1. Iniciar les estructures internes del nucli que emmagatzemen informació sobre el procés, carregar les instruccions màquina a memòria, i reservar memòria per a la pila.
2. Transferir el control a mode usuari: per iniciar el procés es fa servir "l'algorisme" de retorn d'una crida a sistema.
   S'inicialitzen la pila del nucli i del procés de forma que, en "retornar de la crida", es comenci a executar el procés per la funció "main" en mode usuari.

Notificacions asíncrones d'esdeveniments a nivell d'usuari (upcall)

Permet que els processos implementin funcionalitat similar a un sistema operatiu: un procés es pot interrompre en el moment que un determinat esdeveniment requereix atenció immediata del procés.

A Unix aquestes interrupcions s'anomenen senyals (signal) mentre que a Windows s'anomenen esdeveniments asíncrons. Exemples:

- Notificació d'entrada-sortida: en llegir dades de disc, normalment la funció que llegeix es bloqueja fins que les dades s'han llegit. La crida es pot fer no bloquejant de forma que el sistema operatiu notifiqui quan les dades estan disponibles.
- Comunicació interprocés: típicament s'utilitzen crides a sistema per comunicar processos entre sí (disc, xarxa, ...). També es poden utilitzar els senyals per fer notificacions entre processos. Ho veurem al tema de comunicació interprocés.

Notificacions asíncrones d'esdeveniments a nivell d'usuari

Exemples d'ús (continua de l'anterior):

- Gestió d'excepcions a nivell d'usuari: de la mateixa forma que existeixen les excepcions de maquinari (divisió per zero, ...), moltes aplicacions també tenen les seves pròpies funcions per gestionar excepcions (desar tot a disc abans que l'aplicació finalitzi, ...)
- Gestió de recursos dels processos: el sistema operatiu pot notificar als processos dels recursos disponibles (per exemple, memòria física). El "garbage collector" de Java en fa ús per repartir els recursos entre les aplicacions que executa.

Tendències futures

Les tendències futures són:

- Suport per a ajust fi a la protecció: una aplicació executada per un usuari té els permisos d'aquell usuari. Aquesta aplicació pot "robar" informació de l'usuari d'altres processos sense comprometre el sistema operatiu. Actualment alguns sistemes operatiu (pex smartphones) comencen a incorporar sistemes per prevenir a les aplicacions l'accés a informació sensitiva.

- Sandboxing a nivell d'usuari: moltes aplicacions (navegador web, ...) s'estan convertint en mini-sistemes operatius. Aquestes aplicacions permeten executar aplicacions de tercers. Cal donar suport per executar aquestes aplicacions de tercers de forma segura.

Tendències futures

Les tendències futures són:

- Suport maquinari per a virtualització: actualment el sistema operatiu amfitrió gestiona les interrupcions, excepcions i crides a sistema que realitza el sistema operatiu convidat (virtual). Atès l'ús cada cop més extens de màquines virtuals, les arquitectures dels processadors s'estan redissenyant perquè el sistema operatiu convidat pugui gestionar directament les interrupcions, excepcions o crides a sistema.

El nucli

Aquest és l'esquema de la presentació vist al principi

1. Introducció
2. El concepte de procés
3. Mode dual d'operació
4. Transferència de control de seguretat entre usuari i nucli
5. Estructura d'un sistema operatiu

Ens falta el darrer punt...

Estructura d'un sistema operatiu

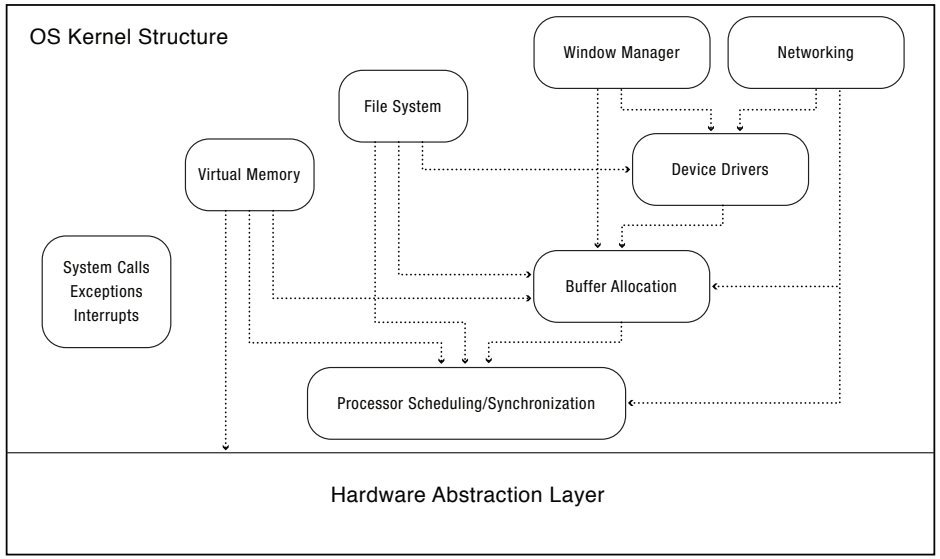
Hem vist que el nucli realitza les tasques bàsiques de protecció entre processos. Però, com està organitzat la resta del sistema operatiu? Hi ha molts mòduls en un sistema operatiu i aquests acostumen a interaccionar entre ells. Els dissenyadors dels sistemes operatius s'enfronten a un dilema fonamental:

- Nuclis monolítics. Si es centralitza la funcionalitat al nucli, s'augmenta el rendiment i es facilita la integració total de mòduls. Però hi ha menys flexibilitat per fer-hi modificacions.
- Microkernels. Si es descentralitza la funcionalitat, es pot reduir el rendiment però es facilita la modificació o ampliació del sistema.

Nuclis monolítics

Utilitzat avui en dia àmpliament als sistemes operatius comercials: Windows, MacOS, Linux.

- La majoria de la funcionalitat del sistema operatiu està implementada al nucli. Els mòduls del nucli criden directament a altres mòduls per fer les tasques necessàries.
- Altres parts com la interfície gràfica, llibreries o la línia de comandes s'executen fora del nucli, en mode usuari. No podem considerar que formen part del sistema operatiu.



Nuclis monolítics

El dissenyador del sistema operatiu es lliure per desenvolupar la API que cregui necessària entre els mòduls. Hi ha, però, dos punts que acostumen a sorgir en els sistemes monolítics per assegurar la portabilitat

1. Hardware Abstraction Layer (HAL): la HAL és una interfície portable que utilitza el nucli per accedir a la operacions específiques del processador.
2. Gestors de dispositiu (device driver) dinàmics

Nuclis monolítics: gestors de dispositiu dinàmics

Es important que un sistema operatiu pugui gestionar múltiples dispositius entrada-sortida.

- Actualment hi ha una gran varietat de dispositius d'entrada-sortida. Hi ha una gran diversitat d'interfícies maquinari per gestionar els dispositius. A Linux, per exemple, un 70% del codi del nucli es programari específic per accedir als dispositius.
- És interessant desacoblar el sistema operatiu dels detalls específics de cada dispositiu. La solució, àmpliament adoptada avui en dia, són els gestors de dispositius dinàmics. Es tracta d'un programari específic, programat típicament pel fabricant, que s'executa un cop el nucli ha començat a executar i que s'encarrega de gestionar els dispositius connectats a la màquina.

Nuclis monolítics: gestors de dispositiu dinàmics

El gestors dinàmics tenen, però, un defecte important

- S'executen en mode nucli i, per tant, poden corrompre el nucli del sistema operatiu i les seves estructures. Un programador maliciós pot utilitzar els gestors de dispositiu per introduir-hi un virus.
- Estudis recents han demostrat que al voltant del 90% de les "penjades" del sistema es deuen a errors als gestors de dispositiu i no pas al sistema operatiu en sí.

Com es pot abordar aquest problema?

Nuclis monolítics: gestors de dispositiu dinàmics

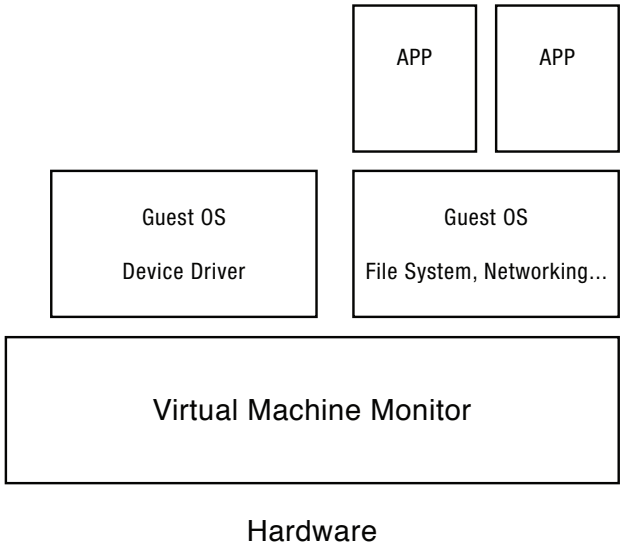
Com es pot abordar el problema anterior?

- Inspecció del codi: el dissenyador del sistema operatiu requereix analitzar el codi font del gestor abans de rebre el vist-i-plau perquè es pugui incloure com a part del sistema operatiu.
- Seguiment d'errors: Microsoft, per exemple, fa que el sistema operatiu enviï a la seva base de dades central informació sobre l'error produït perquè es pugui analitzar la font del problema.
- Gestors de dispositiu executats en mode usuari: Microsoft i Apple recomanen que els gestors s'executin en mode usuari i que utilitzin les crides a sistema per accedir al dispositiu. Tot i que a l'actualitat aquests tipus de gestors comencen a ser comuns, molts codis de gestors encara fan ús de les estructures internes del sistema operatiu, cosa que dificulta la seva "traducció" a mode usuari.

Nuclis monolítics: gestors de dispositiu dinàmics

Com es pot abordar el problema anterior? (continua...)

- Gestors de dispositiu a una màquina virtual: es tracta d'executar els gestors de dispositiu (en mode nucli) dintre d'una màquina virtual. Els gestors de dispositiu poden tenir errors però només poden corrompre el sistema operatiu (virtual) en què s'executa, no pas la resta del sistema operatiu. Tots dos s'executen a una màquina virtual.



Nuclis monolítics: gestors de dispositiu dinàmics

Com es pot encarar el problema anterior? (continua...)

- Gestor de dispositiu en entorn restringit (sandbox): el problema de la màquina virtual és el rendiment. Molts gestors necessiten accedir sovint al dispositiu. Per això es proposa que el gestor s'executi en un entorn restringit (amb privilegis limitats) dintre del nucli.

Microkernels

L'alternativa al sistema monolític es executar el sistema operatiu, tant com sigui possible, en mode usuari

- Windows NT, precursor de Windows 7, va ser dissenyat inicialment com a microkernel. Amb el temps gran part de la seva funcionalitat va ser migrada un altre cop al nucli per motius de rendiment. Minix, precursor de Linux, també té un disseny de microkernel.
- La idea d'un microkernel és similar a la del gestor de finestres a la majoria del sistemes operatius d'avui en dia: el gestor de finestres s'executa en mode servidor i les aplicacions no el criden directament, sinó que criden a funcions d'una llibreria que envia les peticions al servidor (com si fos una connexió de xarxa) per dibuixar coses a pantalla.

Microkernels

Respecte el microkernel

- Per al programador no hi ha diferència a l'hora de programar per un sistema operatiu monolític o microkernel.
- El microkernel facilita la modularització, fiabilitat i seguiment d'errors de programació. Però es redueix el rendiment ja que no es fan crides directes (com al monolític).
- A l'actualitat s'adopta un model hibrid en què part dels serveis s'executen en mode usuari i part en model nucli, tot dependent del compromís entre complexitat i rendiment.