La planificació dels processos

Sistemes Operatius I

Lluís Garrido – lluis.garrido@ub.edu

Grau d'Enginyeria Informàtica

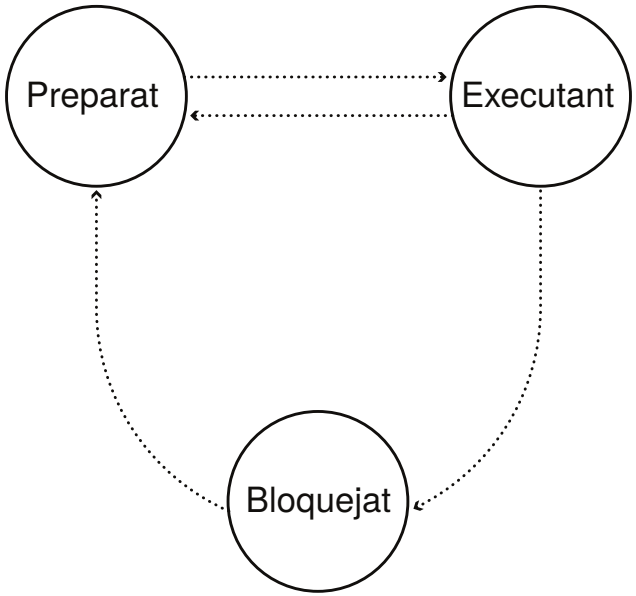
Organització de les transparències

Organització

1. Estats d'un procés
2. Planificació
3. Conceptes de planificació
4. Algorismes de planificació

Estats d'un procés

El sistema operatiu gestiona l'execució dels processos a l'ordinador. Els estats d'un procés són bàsicament tres: preparat, executant i bloquejat[1].



[1] Fixar-se en les fletxes del graf!

Estats d'un procés

Descripció dels estats

- Un procés està preparat si està disponible per ser executat però no està executant realment. El sistema operatiu el té emmagatzemat en aquells moments com un dels candidats a ser executat.
- Un procés està executant si s'està executant a algun dels processadors disponibles.

Observar que

- Un procés pot canviar d'estat entre preparat i executant múltiples (milers!) vegades mentre executa.
- En general el sistema operatiu decideix quan un procés deixa d'executar i passa a l'estat de preparat, i a la inversa. El procés també pot, voluntàriament, deixar d'executar i passar a estat preparat (funció `sched_yield` de C).

Estats d'un procés

Descripció dels estats

- Un procés està bloquejat si està esperant algun esdeveniment. Un procés bloquejat no és elegible per poder ser executat pel sistema operatiu fins que té lloc l'esdeveniment. Aleshores passa de l'estat bloquejat a preparat.

Un procés es pot bloquejar quan s'està executant i realitza una operació com, per exemple,

- Crida a una funció de lectura: crida a una funció per llegir dades de xarxa, de teclat o de disc. Fins que les dades no estiguin disponibles el procés està bloquejat.
- S'adorm voluntàriament amb un `sleep` (adormir-se uns segons) o `wait` (esperar que el procés fill acabi).

Estats d'un procés

Cal diferenciar entre

- El canvi de context: el mecanisme mitjançant el qual el sistema operatiu canvia l'execució d'un procés a un altre.
- El planificador: l'algorisme que utilitza el sistema operatiu per gestionar els processos i, en particular, quin és el següent procés a executar. Cada sistema operatiu pot utilitzar una tècnica diferent (i, per tant, informació diferent) per fer aquesta decisió.

Canvi de context

En passar un procés de mode executant a preparat o bloquejat es produeix un canvi de context

- Per deixar d'executar un procés, el sistema operatiu ha d'emmagatzemar tota la informació del procés que s'està executant al seu BCP (Bloc de Control de Processos). Entre altres, ha d'emmagatzemar-hi tots els valors dels registres de la CPU en què s'estava executant el procés (comptador de programa, punter a la pila, etc.)
- Un cop el sistem operatiu escull el procés a executar cal restaurar els valors de registres emmagatzemats al seu BCP. Aquests valors es "copien" a la CPU i així el procés continua executant "allà on ho havia deixat".

Canvi de context

Perquè es pugui fer un canvi de context el BCP emmagatzema, per a cada procés,

- Un identificador de procés (un sencer a UNIX).
- L'estat del procés (preparat, executant, bloquejat).
- Els registres de CPU en cas que estigui preparat o bloquejat.
- Els privilegis i/o prioritat.
- En quina part de la memòria física resideix, quin és el fitxer executable associat, etc.

Canvi de context

El canvi de context es pot realitzar gràcies al mode dual de funcionament de la màquina. Un exemple:

1. Es produeix una interrupció de temporitzador.
2. El maquinari interromp l'execució del procés actual, emmagatzema els valors dels registres de la CPU a una posició de memòria coneguda pel sistema operatiu i es crida a una determinada funció del sistema operatiu.
3. El sistema operatiu pot decidir canviar de procés. Emmagatzema a la BCP la informació dels registres emmagatzemada a memòria pel maquinari i la sobreescriu amb els nous valors del procés a executar.
4. En retornar de la interrupció el maquinari carrega a la CPU els nous valors... i voilà, ja hem fet un canvi de context!

Canvi de context

Quan es pot produir un canvi de context? En general...

- En produir-se una interrupció de temporitzador: el planificador pot decidir deixar d'executar el procés actual i passar a executar un altre.
- En bloquejar-se un procés: en aquest moment el planificador ha de decidir quin dels processos preparats passa a executar-se.
- En produir-se un altre tipus d'interrupció: en arribar dades per la xarxa, en haver-se llegit les dades de disc, ... s'interromp l'execució del procés. El planificador pot decidir executar, per exemple, el procés que ha demanat les dades o continuar l'execució del procés que hi havia en aquell moment.
- Altres casos no llistats aquí.

Planificació

Si hi ha múltiples processos preparats, com escollim quin és el següent procés a executar? Quina és la millor opció? El planificador determina quins processos s'han d'executar primer.

Sembla que hi ha solucions òbvies

- La solució "més justa" sembla executar els processos fent servir una cua FIFO circular. Però això a vegades pot ser la pitjor solució, sobretot si volem que l'usuari percebi visualment una bona resposta. Ara ho veurem!
- Avui en dia els ordinadors són molt ràpids i, per tant, sembla que no sigui important aquest problema. Però els servidors, per exemple, van molt sobrecarregats i cal decidir bé quin és el següent procés a executar.

Planificació

Respecte els algorismes de planificació

- Algorismes de planificació que funcionen bé en un entorn de càrrega computacional alta poden funcionar molt malament en entorns de amb càrrega entrada-sortida alta, i a la inversa.
- L'objectiu aquí és parlar d'algorismes que funcionen en bé en un entorn amb una càrrega variada[2]. Són els que s'utilitzen en ordinadors personals.

[2] Tant processos amb càrrega de computació alta com processos amb càrrega alta d'entrada-sortida.

Planificació

La planificació no té solució única. Cada política de planificació té les seves propietats desitjables i desavantatges. Veurem coses com:

- Planificació uniprocessador: algorismes bàsics
- Planificació multiprocessador: com canvia la planificació en cas de tenir múltiples processadors?
- Planificació d'execució en temps real: com executar processos si hi ha terminis?
- Planificació en sistemes sobrecarregats: com queda afectada la planificació en sistemes que reben moltes peticions?

Un concepte abans de continuar...

Tasca o treball a realitzar

- Un procés pot executar, al llarg de la seva execució, múltiples tasques diferents, cadascuna amb característiques diferents. Per exemple, calcular la forma d'una proteïna, desar dades a disc, dibuixar el menú a pantalla en fer clic amb el ratolí, o polsar una tecla del teclat perquè es mostri a la pantalla del processador de textos.

Per això a partir d'ara parlarem de tasca i no de procés[3].

[3] A més, un procés pot estar format per múltiples fils d'execució; cada fil pot executar diverses tasques diferents. Ho veurem al tema "Introducció a la concurrència".

Planificació uniprocessador: round robin

L'algorisme bàsic és el round robin (o FIFO circular)

- El planificador disposa d'una llista de tasques i les executa de forma ordenada, des de la primera fins a l'última, de manera circular.
- Cadascuna de les tasques s'executen un temps màxim limitat, anomenat llesca de temps. Cada cop que finalitza la llesca el planificador fa un canvi de context a una altra tasca. La tasca també es pot executar menys temps.
- En fer un canvi de context es posa la tasca actual al final de la llista de tasques (a l'estat de preparat) i s'agafa la primera tasca de la llista de tasques preparades (i es posa a executar).

Planificació uniprocessador: round robin

Es crític la selecció del valor per a la llesca de temps

- Si la llesca de temps és massa petita hi haurà una sobrecàrrega de planificació: es "perdrà" molt de temps fent canvis de context i les tasques no podran fer feina. Hi haurà molta sobrecàrrega.
- Si la llesca de temps és massa alta, les tasques hauran d'esperar molt de temps per obtenir el seu torn i poder executar. El temps de resposta serà baix.

Anem a veure alguns detalls...

Planificació uniprocessador: round robin

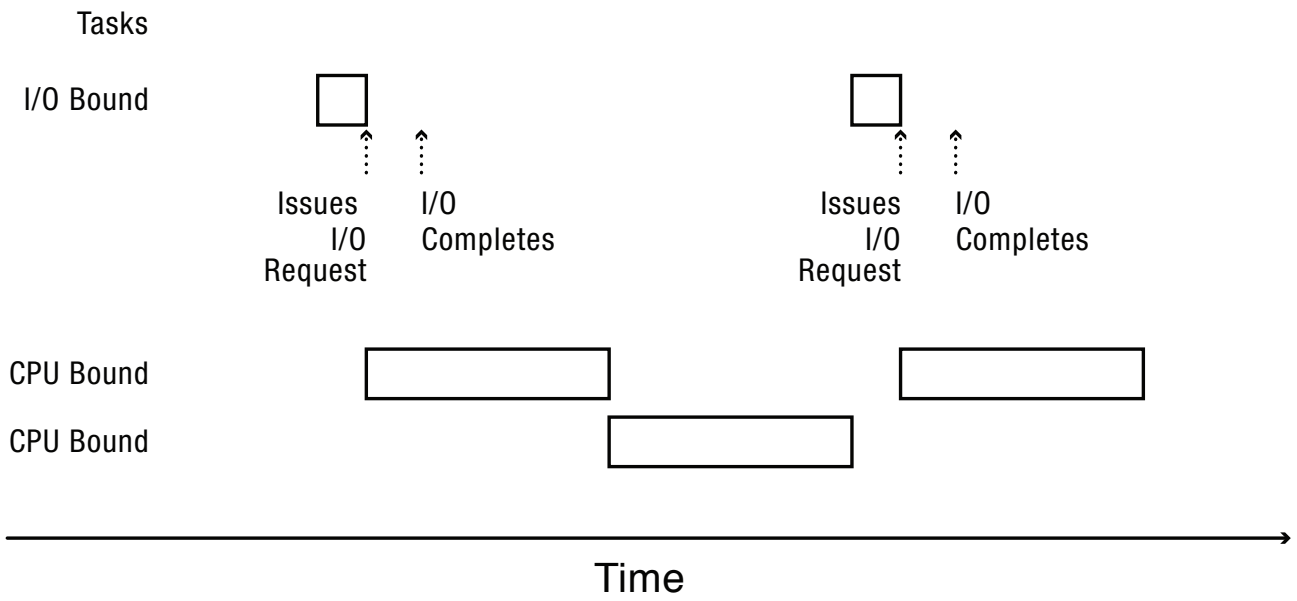
Respecte el canvi de context i la llesca de temps. Quin és el cost associat?

- En fer un canvi de context cal guardar els registres del procés actual que s'executa, seleccionar el nou procés i carregar a la CPU els registres del nou procés. Això és força ràpid de fer avui en dia: poques desenes de microsegons!
- Cal tenir en compte l'impacte en la memòria cau (*cache*): la tasca seleccionada per executar pot o no tenir dades a la cache de la seva llesca de temps anterior. Tot depèn del que han fet les altres tasques que han executat mentrestant.... Potser la tasca en execució haurà d'accedir a memòria RAM perquè es copiïn de nou les dades a cache, i això és molt lent!
- Hi ha doncs un compromís al valor de llesca de temps entre el temps de resposta i la sobrecàrrega. El temps de llesca s'estableix típicament entre 10 i 100 milisegons.

Planificació uniprocessador: round robin

La planificació round robin generalment no és adequada en un entorn amb una càrrega variada. Suposem tres tasques:

- Dues amb alta càrrega computacional (*CPU bound*)
- Una tasca amb càrrega entrada-sortida (*IO bound*) que a cada iteració només necessita la CPU per 1ms i 10ms de disc.



Planificació uniprocessador: round robin

De la figura anterior, observar que

- Si la tasca "IO bound" s'executés sola podria tenir ben ocupat el disc i acabar la feina ràpid.
- Amb les altres dues tasques "CPU bound" i una llesca de temps de 100ms, la tasca "IO bound" s'alenteix pràcticament en un factor de 20! Cada cop que aquesta tasca té el processador només el necessita 1ms, però després s'ha d'esperar 200ms poder tornar a executar.
- Caldria "prioritzar" el procés "IO bound" perquè no s'hagi d'esperar tant...

Planificació uniprocessador: round robin

La planificació round robin no és una bona solució hi si ha tasques "CPU bound" i "IO bound".

- Les tasques amb càrrega alta en termes d'entrada-sortida generalment necessiten poc temps de CPU per emetre la següent operació d'entrada-sortida. Un cop emesa l'operació, es fa un canvi de context a una altra tasca.
- En un editor de text, es necessiten pocs mil·lisegons per mostrar a pantalla la tecla polsada. Amb una llesca de temps de 100ms, l'editor pot haver d'esperar múltiples llesques de temps per executar i mostrar la tecla polsada per pantalla: això serà molt molest per a l'usuari!

Planificació uniprocessador: round robin

Quan va bé el round robin?

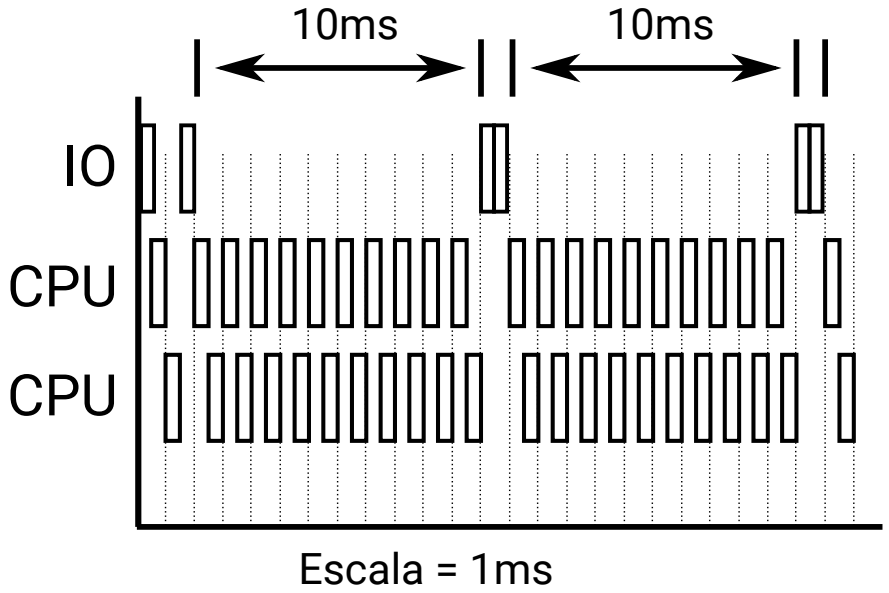
- La planificació round robin és adequada, en particular, si totes les tasques són del mateix tipus (en particular, "CPU bound").
- En un servidor de streaming de vídeo (o música), és convenient poder enviar tots els "streams" a una velocitat uniforme encara que les dades s'enviïn a una velocitat més alta de la que necessita el receptor.

Com es gestionar millor tasques "CPU bound" i "IO bound"? Amb l'algorisme max-min fairness!

Planificació uniprocessador: max-min fairness

L'algorisme max-min fairness va ser desenvolupat incialment per a la planificació d'enviament de paquets per la xarxa. Va ser adaptat per a la planificació de tasques. Vegem-ho!

- Intuïtivament, la idea és assignar en cada instant de temps la CPU a la tasca preparada que ha rebut menys temps de CPU.
- Suposem l'exemple anterior i que cada 0.5ms fem un canvi de context a la tasca que ha rebut menys temps de CPU.



Planificació uniprocessador: max-min fairness

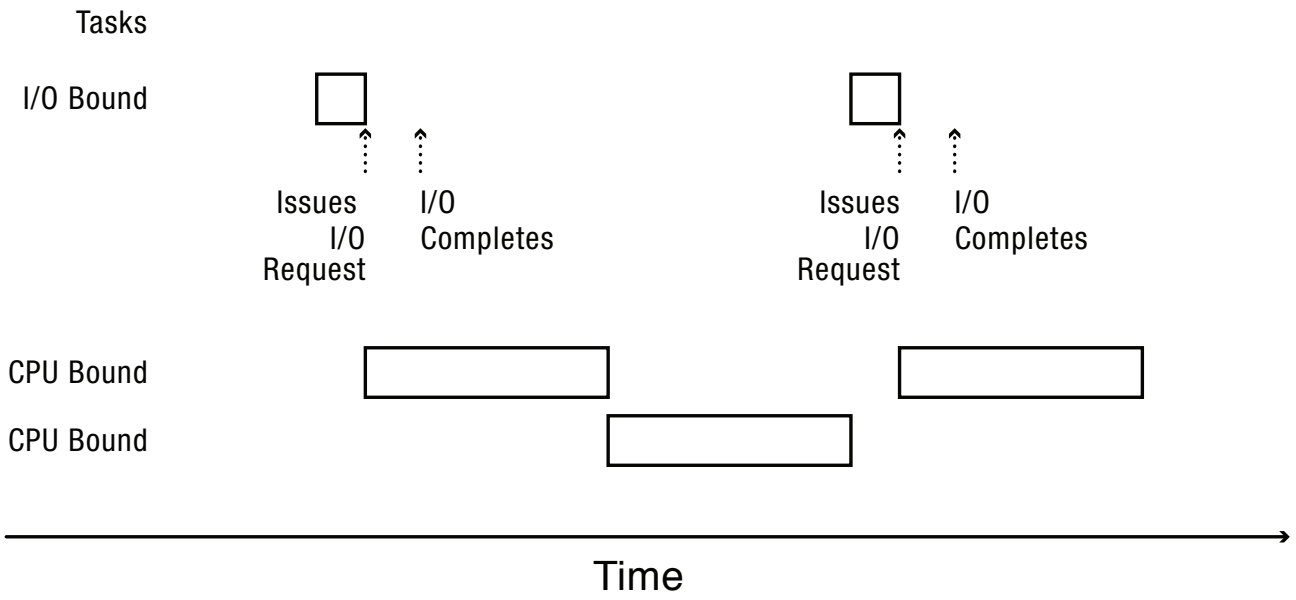
De l'exemple anterior, observar que

- El max-min fairness dóna a les tasques "petites" l'assignació que demanen i reparteix la resta entre les tasques "grans". Els recursos són assignats en ordre creixent de demanda i cap tasca obté més recursos dels que demana.
- Si hi ha barreja de tasques (computacionals i entrada-sortida) resulta en una assignació més justa. Si només hi ha tasques computacionals és senzill: a cada tasca obté mateixa assignació de processador (és a dir, el round robin).

Planificació uniprocessador: max-min fairness

Fem alguns números amb round robin:

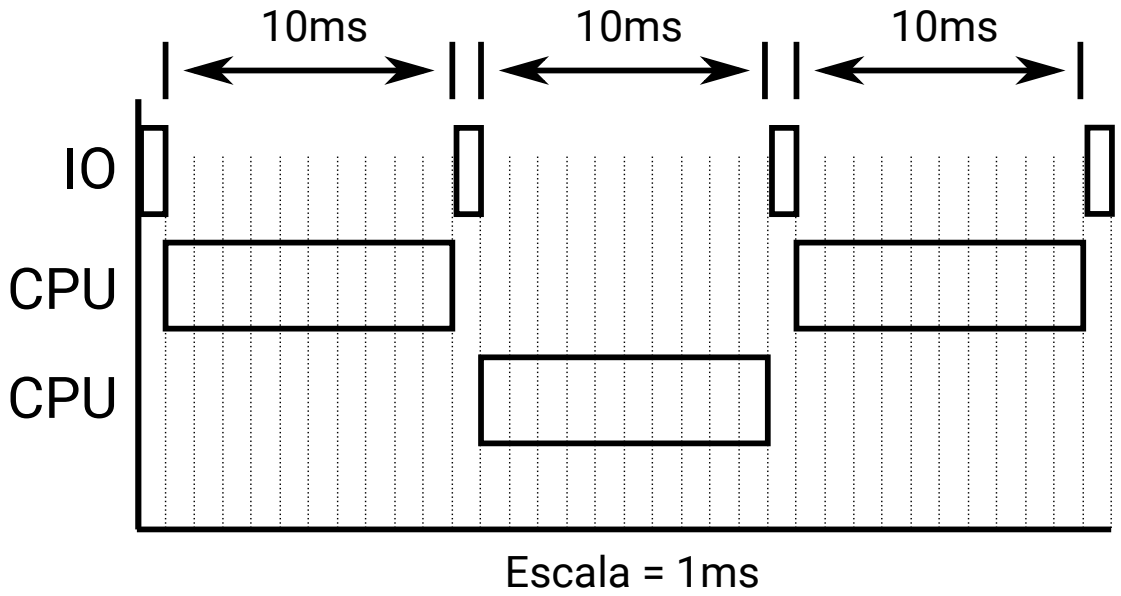
- Una llesca de 100ms, dues tasques computacionals i una d'entrada-sortida que només necessita 1ms de CPU i 10ms de disc.
- En 201ms s'executen les 3 tasques: a la tasca "IO bound" rep aproximadament un 0.5% de CPU mentre que les altres dues reben cadascuna pràcticament un 50% de la CPU.



Planificació uniprocessador: max-min fairness

Fem alguns números amb el max-min fairness

- En haver-se escrit les dades a disc es produeix una interrupció i el sistema operatiu pot decidir si fer un canvi de context.
- El max-min fairness assigna, idealment, aproximadament un 10% de CPU per a la tasca "IO bound" i 45% a les computacionals. Hi ha una assignació més justa!



Planificació uniprocessador: max-min fairness

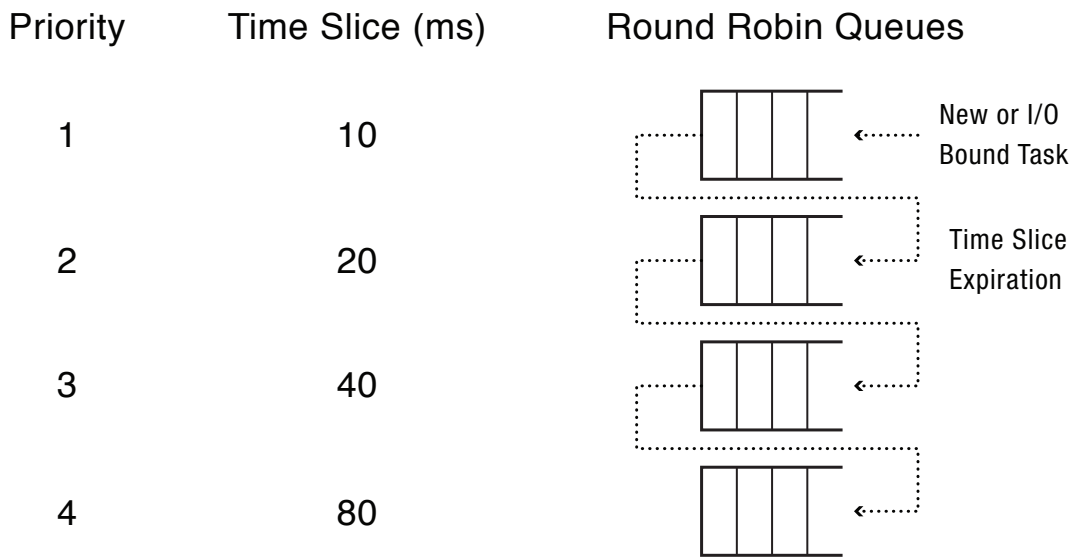
A la pràctica, com s'implementa el max-min fairness? Idealment...

- Cada cop que el planificador pot escollir una tasca a executar, escull aquella que té fins aquell moment el menor temps acumulat al processador.
- Requereix una cua de prioritat i, per tant, implica un alt cost computacional: un servidor potser ha de prendre centenars o milers de decisions de planificació cada segon i no es convenient mantenir una cua de prioritat "ideal". Es presenta a continuació un algorisme simplificat...

Planificació uniprocessador: multi-level feedback queue

Sistemes operatius com Windows, Mac o Linux utilitzen l'algorisme multi-level feedback queue (MFQ) per planificar tasques

- Permet implementar una aproximació a l'algorisme d'max-min fairness fent servir una extensió del round robin.
- Al MFQ hi ha múltiples cues round robin: cada cua té una prioritat i una llesca de temps diferent.

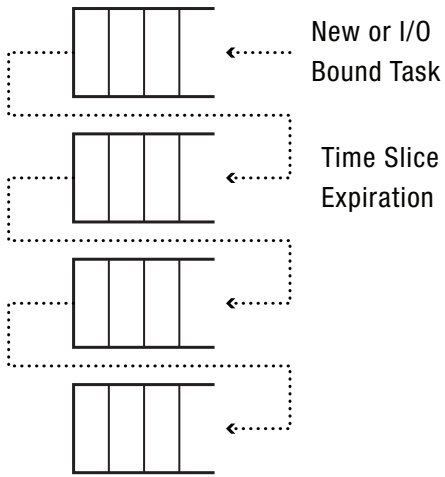


Planificació uniprocessador: multi-level feedback queue

De forma senzilla, al MFQ

- Les tasques d'una cua del mateix nivell son planificades segons un round robin. Una tasca de prioritat alta s'executa abans que una de prioritat més baixa.
- Les tasques es mouen pel planificador entre les cues de prioritat per obtenir equitat. Si una tasca consumeix la seva llesca de temps (sense haver-se bloquejat) es mou a una cua de prioritat més baixa. Si es bloqueja, es mou amunt a la prioritat.

Priority	Time Slice (ms)
1	10
2	20
3	40
4	80



Planificació

Polítiques de planificació

- Planificació uniprocessador: algorismes bàsics que hem vist
- Planificació multiprocessador: com canvia la planificació en cas de tenir múltiples processadors?
- Planificació d'execució en temps real: com executar processos si hi ha terminis?
- Planificació en sistemes sobrecarregats: com queda afectada la planificació en sistemes que reben moltes peticions?

Anem a estendre les idees de la planificació uniprocessador a la resta de casos.

Planificació multiprocessador

A l'actualitat es habitual que un ordinador (o smartphone, o tablet) tingui múltiples processadors. Ens preguntem:

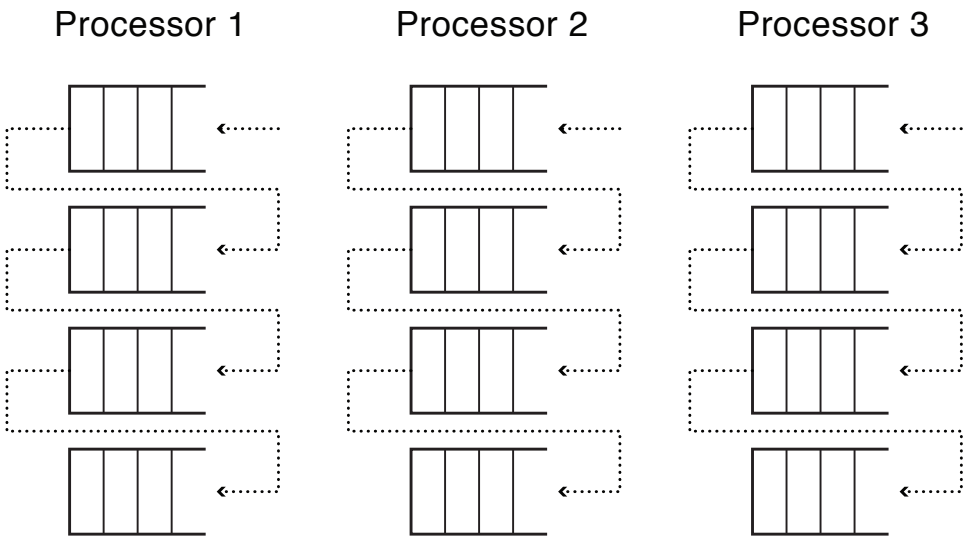
- Com podem utilitzar de forma efectiva múltiples processadors per executar tasques seqüencials?
- Com adaptem els algorismes de planificació uniprocessador a múltiples processadors?

Per fer tot això al tenir en compte que en sistemes multiprocessador cada processador té la seva pròxima memòria cau (*cache*).

Planificació multiprocessador

Els sistemes operatius com Windows, Mac o Linux cada processador té la seva pròpia estructura MFQ i, per tant, les seves pròpies tasques.

- Una tasca s'executa doncs sempre al mateix processador per aprofitar les dades emmagatzemades a la memòria cau d'aquest.
- Si un processador es queda sense res a executar, pot "robar" una tasca d'un altre processador.



Planificació de temps real

En alguns sistemes el planificador ha d'assegurar que determinades tasques tenen terminis per executar-se. Per exemple,

- En un avió el programari associat a el control del vol ha d'executar-se abans determinats instants de tems perquè sigui efectiu.
- El programari d'un cotxe que controla el bloqueig dels frens o evita el control de tracció ha d'ocórrer a temps perquè sigui efectiu.
- En entorns menys crítics, com per exemple a la reproducció d'un vídeo a un ordinador, cada imatge ha de visualitzar-se quan toca per evitar una percepció visualment dolenta.

Planificació de temps real

A l'actualitat existeixen diverses formes per intentar assegurar que es compleixen els terminis (però no ho asseguren al 100%!)

- Sobre-aprovisionament: les tasques de temps real han d'ocupar, globalment, només una fracció de la capacitat de processament del sistema. Les tasques de temps real seran planificades ràpidament sense haver d'esperar altres tasques.
- Priorització per termini (*earliest deadline first*): les tasques de temps real són prioritzades de forma que s'executen primer aquelles que tenen un termini més proper. Aquesta tècnica funciona si les tasques són computacionals (i.e. no necessiten entrada-sortida).

Planificació en sistemes sobrecarregats

Què passa quan el sistema es sobrecarrega? És particularment important en sistemes web en què el nombre de connexions pot variar al llarg del dia...

- Molts sistemes operen sense un control directe de la seva càrrega i el seu rendiment pot baixar molt si hi ha sobrecàrrega.
- En una autopista no es gestiona correctament la sobresaturació de cotxes!
- En un restaurant amb molts clients (i pocs cambrers) ens haurem d'esperar molt si triguen molt a servir-nos. No hi tornarem pas al restaurant! El mateix passa amb els sistemes web. Què es pot fer?

Planificació en sistemes sobrecarregats

Què passa quan el sistema es sobrecarrega? Una solució senzilla és rebutjar peticions de connexió que poden portar a la sobrecàrrega.

- Així poden assegurar un bon servei a les connexions existents. Aquest comportament és típic en sistemes web de streaming de vídeo.
- Al restaurant es tracta de no deixar entrar-hi per assegurar un bon servei als clients que són a dins.

Planificació en sistemes sobrecarregats

Què passa quan el sistema es sobrecarrega? Una altra forma de gestionar la sobrecàrrega es reduir el temps de resposta per a determinades peticions! Per exemple,

- El 9/11 (atemptats a NY) la pàgina web de CNN va utilitzar una pàgina estàtica per informar i que és més ràpida de servir.
- Amazon utilitza un sistema en què es retorna una pàgina estàtica en cas la informació demanada no està disponible a temps.
- EBay actualitza menys freqüentment la llista de subhastes.
- Serveis de vídeo poden reduir la qualitat del vídeo.

En general, però, molts sistemes acostumen a fer el contrari: realitzen més feina per tasca a mesura que augmenta la càrrega!

Conclusions

La planificació és la tècnica (algorisme de programari) que utilitza un sistema operatiu per decidir quin és el següent procés a executar. El canvi de context és el mecanisme maquinari que s'utilitza per passar l'execució d'un procés a un altre.

- Un procés pot tenir (a grans trets) els estats de preparat, bloquejat o executant.
- Existeixen múltiples algorismes diferents de planificació. Quin cal escollir? Tot depèn del context en què s'executin les aplicacions.