

Comencem el treball de teoria de la 2ª part del curs. Un altre cop, us aconsellem que intenteu fer els exercicis i participar en el fòrum amb les vostres aportacions originals.

Les properes 3 setmanes treballarem els mòduls 4 i 5, estudiant la teoria i fent els exercicis que us donarem cada setmana. La primera setmana farem els exercicis corresponents al mòdul 4 (E.Teo.3) i la setmana següent els corresponents al mòdul 5 (E.Teo.4). La tercera setmana la dedicarem a fer la PAC2, que serà molt semblant als exercicis de les 2 setmanes anteriors.

Al mòdul 4 es descriu el sistema de memòria del computador. Les seccions 4.1, 4.2, 4.4 i 4.5 són de caire més teòric, mentre que a la secció 4.3 sobre memòria cau li dedicarem temps per fer exercicis. Els exercicis d'aquest mòdul tractaran sobre el funcionament de la memòria cau amb diferents polítiques d'assignació i algorismes de reemplaçament i l'estudi del rendiment de la memòria calculant el temps mitjà d'accés a memòria i la taxa de fallades.

Al mòdul 5 es descriu el sistema de Entrada i Sortida. A banda de la primera secció introductòria, més teòrica, les següents 4 seccions descriuen 3 tècniques per a realitzar l'Entada i Sortida, i la comparació entre elles. Dedicarem la setmana següent a fer exercicis sobre aquestes tècniques: Veurem com fer programes que realitzin Entrada/Sortida amb la tècnica d'E/S programada i com calcular límits quantitatius del rendiment de la transferència i també farem exercicis similars, però amb les tècniques d'E/S per interrupcions i d'E/S amb accés directe a memòria.

Exercici E.Teo 3

Reviseu amb atenció l'apartat següent del mòdul 4 sobre el sistema de memòria:

Apartat 3: Memòria Cau. De fet, en aquests exercicis fareu servir els conceptes que s'exposen als punts del 3.1 al 3.5. El punt 3.6 fa un resum que us pot ser molt útil per a resoldre l'exercici.

3.1. Política d'assignació directa

Tenim un sistema de memòria en el que tots els accessos es fan a paraula (no ens importa quina és la mida d'una paraula). Suposarem que l'espai d'adreces de memòria es descompon en blocs de 4 paraules. Cada bloc comença a una adreça múltiple de 4. Així, el bloc 0 conté les adreces 0, 1, 2 i 3, el bloc 1, les adreces 4, 5, 6 i 7, i el bloc N les adreces $4*N$, $4*N+1$, $4*N+2$ i $4*N+3$. Una fórmula per calcular el identificador numèric del bloc és la següent:

$$\text{Bloc} = \text{adreça de memòria (adreça a paraula)} \text{ DIV } 4 \text{ (mida del bloc en paraules)}$$

Suposem que el sistema també disposa d'una memòria cau de 4 línies (on cada línia té la mida d'un bloc, es a dir, 4 paraules). Aquestes línies s'identifiquen com a línies 0, 1, 2 i 3. Quan es fa referència a una adreça de memòria principal, si aquesta adreça no es troba a la memòria cau, es porta tot el bloc corresponent des de la memòria principal a una línia de la memòria cau (així si fem referència a l'adreça 2 de memòria principal portarem el bloc format per les paraules 0, 1, 2 i 3).

Suposem que el sistema fa servir una **política d'assignació directa**, de manera que cada bloc de la memòria principal només es pot portar a una línia determinada de la memòria cau. En aquest cas, l'identificador del bloc determina la línia específica on es pot guardar fent servir la següent fórmula (similar a la fórmula per determinar el bloc):

$$\text{Línia} = \text{identificador de bloc MOD } 4 \text{ (mida de la cau en línies)}$$

a) L'execució d'un programa genera la següent llista de lectures a memòria:

1, 2, 13, 14, 26, 27, 28, 29, 36, 37, 38, 39, 40, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 30, 8, 12

La següent taula mostra l'estat inicial de la cau, que conté les primeres 16 paraules de la memòria (organitzades en 4 blocs). Completar la taula per a mostrar l'evolució de la cau durant l'execució del programa. Per a cada accés cal omplir una columna indicant si es tracta d'un encert o una fallada.

Si és un encert escriurem E en la línia corresponent davant de les adreces del bloc, si és una fallada escriurem F i en aquest cas s'indicarà el nou bloc que es porta a la memòria cau en la línia que li correspongui, expressat de la forma b:e ($a_0 - a_3$) on b: número de bloc, e:etiqueta i ($a_0 - a_3$) són les adreces del bloc, on a_0 és la primera adreça del bloc i a_3 és la quarta (darrera) adreça del bloc.

Es dona la solució per als 5 primers accessos, de la subseqüència d'accessos es mostren en verd els accessos que generen encert i en groc els que generen fallada en la cau

1, 2, 13, 14, 26

Els accessos a les paraules 1, 2, 13, i 14 no provoquen fallades de cau perquè les paraules ja es trobaven a la cau. En canvi, l'accés a la paraula 26 provoca una fallada i que s'hagi de buscar a memòria el bloc corresponent $b = 26 \text{ DIV } 4 = 6$, que conté les paraules $6 \cdot 4 = 24$, $6 \cdot 4 + 1 = 25$, $6 \cdot 4 + 2 = 26$ i $6 \cdot 4 + 3 = 27$. Aquest bloc, amb la política d'assignació directa s'ha de guardar a la línia $l = 6 \text{ MOD } 4 = 2$ i té com a etiqueta $e = b \text{ DIV } 4 = 6 \text{ DIV } 4 = 1$.

Línia	Estat Inicial	1	2	13	14	26
0	0:0 (0 - 3)	E 0:0 (0 - 3)	E 0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)
1	1:0 (4 - 7)	1:0 (4 - 7)	1:0 (4 - 7)	1:0 (4 - 7)	1:0 (4 - 7)	1:0 (4 - 7)
2	2:0 (8 - 11)	2:0 (8 - 11)	2:0 (8 - 11)	2:0 (8 - 11)	2:0 (8 - 11)	F 6:1 (24 - 27)
3	3:0 (12 - 15)	3:0 (12 - 15)	3:0 (12 - 15)	E 3:0 (12 - 15)	E 3:0 (12 - 15)	3:0 (12 - 15)

Línia	27	28	29	36	37	38
0	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)
1	1:0 (4 - 7)	1:0 (4 - 7)	1:0 (4 - 7)	F 9:2 (36 - 39)	E 9:2 (36 - 39)	E 9:2 (36 - 39)
2	E 6:1 (24 - 27)	6:1 (24 - 27)	6:1 (24 - 27)	6:1 (24 - 27)	6:1 (24 - 27)	6:1 (24 - 27)
3	3:0 (12 - 15)	F 7:1 (28 - 31)	E 7:1 (28 - 31)	7:1 (28 - 31)	7:1 (28 - 31)	7:1 (28 - 31)

Línia	39	40	3	10	11	12
0	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	E 0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)	0:0 (0 - 3)
1	E 9:2 (36 - 39)	9:2 (36 - 39)	9:2 (36 - 39)	9:2 (36 - 39)	9:2 (36 - 39)	9:2 (36 - 39)
2	6:1 (24 - 27)	F 10:2 (40 - 43)	10:2 (40 - 43)	F 2:0 (8 - 11)	E 2:0 (8 - 11)	2:0 (8 - 11)
3	7:1 (28 - 31)	7:1 (28 - 31)	7:1 (28 - 31)	7:1 (28 - 31)	7:1 (28 - 31)	F 3:0 (12 - 15)

Línia	13	14	15	30	8	12
-------	----	----	----	----	---	----

0		0:0 (0 - 3)		0:0 (0 - 3)		0:0 (0 - 3)		0:0 (0 - 3)		0:0 (0 - 3)		0:0 (0 - 3)
1		9:2 (36 - 39)		9:2 (36 - 39)		9:2 (36 - 39)		9:2 (36 - 39)		9:2 (36 - 39)		9:2 (36 - 39)
2		2:0 (8 - 11)		2:0 (8 - 11)		2:0 (8 - 11)		2:0 (8 - 11)	E	2:0 (8 - 11)		2:0 (8 - 11)
3	E	3:0 (12 - 15)	E	3:0 (12 - 15)	E	3:0 (12 - 15)	F	7:1 (28 - 31)		7:1 (28 - 31)	F	3:0 (12 - 15)

b) Quina és la taxa de fallades (T_f) ?

$$T_f = 8 \text{ fallades} / 23 \text{ accessos} = 0,347$$

c) Suposem que el temps d'accés a la memòria cau, o temps d'accés en cas d'encert (t_e), és de 4 ns i que el temps total d'accés en cas de fallada (t_f) és de 20 ns. Considerant la taxa de fallades obtinguda a la pregunta anterior, quin és el temps mitjà d'accés a memòria (t_m) ?

$$t_m = T_f \times t_f + (1 - T_f) \times t_e = 0,347 \times 20 \text{ ns} + 0,653 \times 4 \text{ ns} = 6,94 \text{ ns} + 2,612 \text{ ns} = 9,552 \text{ ns}$$

3.2. Política d'assignació completament associativa

La mida d'un bloc de memòria i d'una línia de cau es de 8 paraules. La cau té espai per guardar 3 línies (es a dir, $3 \times 8 = 24$ paraules), i fa servir una política d'emplaçament completament associativa, de manera que qualsevol bloc de la memòria principal es pot portar a qualsevol línia de la memòria cau. Si trobem que la cau ja està plena, es fa servir un algorisme de reemplaçament.

3.2.1 FIFO

En aquest cas l'algorisme de reemplaçament que fem servir és un algorisme FIFO, de manera que traurem de la memòria cau aquell bloc que fa més temps que està emmagatzemat a la cau.

L'execució d'un programa genera la següent llista de lectures a memòria:

0, 1, 2, 13, 14, 15, 16, 37, 38, 23, 24, 25, 42, 17, 18, 53, 54, 55, 56, 20, 21, 15, 16

L'estat inicial de la cau es buit i la cau s'omple seqüencialment començant per la línia 0.

a) Completar la taula següent per a mostrar l'evolució de la cau durant l'execució del programa. Per a cada accés cal omplir una columna indicant si es tracta d'un encert o una fallada.

Si és un encert escriurem E en la línia corresponent davant de les adreces del bloc, si és una fallada escriurem F i s'indicarà el nou bloc que es porta a la memòria cau en la línia que li correspongui, expressat de la forma b ($a_0 - a_7$) on b: número de bloc, i ($a_0 - a_7$) són les adreces del bloc, on a_0 és la primera adreça del bloc i a_7 és la vuitena (darrera) adreça del bloc.

Us donem la solució per als primers 7 accessos, de la subseqüència d'accessos es mostren en verd els accessos que generen encert i en groc els que generen fallada en la cau

0, 1, 2, 13, 14, 15, 16

Les 3 fallades provoquen llegir de memòria principal 3 blocs d'adreces consecutives, que es guarden a línies de cau consecutives.

Línia	Estat Inicial	0	1	2	13	14	15	16
0	----	F 0 (0 - 7)	E 0 (0 - 7)	E 0 (0 - 7)	0 (0 - 7)	0 (0 - 7)	0 (0 - 7)	0 (0 - 7)
1	----				F 1 (8 - 15)	E 1 (8 - 15)	E 1 (8 - 15)	1 (8 - 15)
2	----							F 2 (16 - 23)

Línia	37	38	23	24	25	42	17	18
0	F 4 (32 - 39)	E 4 (32 - 39)	4 (32 - 39)	4 (32 - 39)	4 (32 - 39)	4 (32 - 39)	F 2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)
1	1 (8 - 15)	1 (8 - 15)	1 (8 - 15)	F 3 (24 - 31)	E 3 (24 - 31)	3 (24 - 31)	3 (24 - 31)	3 (24 - 31)
2	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	F 5 (40 - 47)	5 (40 - 47)	5 (40 - 47)

Línia	53	54	55	56	20	21	15	16
0	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)	F 1 (8 - 15)	1 (8 - 15)
1	F 6 (48 - 55)	E 6 (48 - 55)	E 6 (48 - 55)	6 (48 - 55)	6 (48 - 55)	6 (48 - 55)	6 (48 - 55)	F 2 (16 - 23)
2	5 (40 - 47)	5 (40 - 47)	5 (40 - 47)	F 7 (56 - 63)	7 (56 - 63)	7 (56 - 63)	7 (56 - 63)	7 (56 - 63)

A la seqüència completa es mostren en blau les referències que provoquen fallades
0, 1, 2, 13, 14, 15, 16, 37, 38, 23, 24, 25, 42, 17, 18, 53, 54, 55, 56, 20, 21, 15, 16

b) Suposem que tenim un vector de dades emmagatzemat a partir de l'adreça de memòria 60, format per 4 elements (V[0] a V[3]), de 4 bytes cadascun, emmagatzemats de forma consecutiva. La memòria cau conté els blocs de memòria 2, 3 i 7

Línia	
0	2 (16 - 23)
1	3 (24 - 31)
2	7 (56 - 63)

Suposeu que la línia de la cau que porta més temps dins la cau és la línia 2, després la línia 0 i finalment la línia 1 (que és la que porta menys temps).

Si s'executa dos cops seguits un accés seqüencial a tots els elements del vector:

```
s=0;
for (k=0;k<4;k++) s=s+V[k];
p=1;
for (k=0;k<4;k++) p=p*V[k];
```

Quantes fallades es produiran en l'accés al vector V?
(no considerem l'accés a les altres variables s, p i k)

Primer bucle for

L'accés a V[0], adreces 60-63, corresponen al bloc 7 i són encerts, a continuació l'accés a V[1], adreces 64-67, provoca una fallada i es substitueix la línia 2 portant el bloc 8 (64 – 71), l'accés següent V[2], adreces 68-71, és un encert, finalment l'accés a V[3], adreces 72-75, provoca una fallada, substituint la línia 0 i portant el bloc 9 (72-79).

Amb això finalitza el primer bucle, s'han produït 2 fallades, la cau queda de la forma següent:

Línia	
-------	--

0	9 (72 - 79)
1	3 (24 - 31)
2	8 (64 - 71)

Segon bucle for

Al llegir el primer element V[0], adreces 60-63, es produeix una fallada, substituint la línia 1, portant el bloc 7 (56-63), la cau queda de la forma:

Línia	
0	9 (72 - 79)
1	7 (56 - 63)
2	8 (64 - 71)

Tots els accessos següents a V[1], adreces 64-67, a V[2], adreces 68-71, i V[3], adreces 72-75 seran encerts, per tant s'ha produït 1 fallada, en total s'han produït 3 fallades entre les dues iteracions.

3.2.2 LRU

Completar la mateixa taula que en l'apartat 3.2.1, però ara assumint que es fa servir un algorisme de reemplaçament LRU, de manera que traurem de la memòria cau aquell bloc que fa més temps que no s'ha referenciat.

0, 1, 2, 13, 14, 15, 16, 37, 38, 23, 24, 25, 42, 17, 18, 53, 54, 55, 56, 20, 21, 15, 16

Línia	Estat inicial	0	1	2	13	14	15	16
0	----	F 0 (0 - 7)	E 0 (0 - 7)	E 0 (0 - 7)	0 (0 - 7)	0 (0 - 7)	0 (0 - 7)	0 (0 - 7)
1	----				F 1 (8 - 15)	E 1 (8 - 15)	E 1 (8 - 15)	1 (8 - 15)
2	----							F 2 (16 - 23)

Línia	37	38	23	24	25	42	17	18
0	F 4 (32 - 39)	E 4 (32 - 39)	4 (32 - 39)	4 (32 - 39)	4 (32 - 39)	F 5 (40 - 47)	5 (40 - 47)	5 (40 - 47)
1	1 (8 - 15)	1 (8 - 15)	1 (8 - 15)	F 3 (24 - 31)	E 3 (24 - 31)	3 (24 - 31)	3 (24 - 31)	3 (24 - 31)
2	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)

Línia	53	54	55	56	20	21	15	16
0	5 (40 - 47)	5 (40 - 47)	5 (40 - 47)	F 7 (56 - 63)	7 (56 - 63)	7 (56 - 63)	7 (56 - 63)	7 (56 - 63)
1	F 6 (48 - 55)	E 6 (48 - 55)	E 6 (48 - 55)	6 (48 - 55)	6 (48 - 55)	6 (48 - 55)	F 1 (8 - 15)	1 (8 - 15)
2	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)	2 (16 - 23)	E 2 (16 - 23)

A la seqüència completa es mostren en blau les referències que provoquen fallades i es mostren subratllades les referències que abans provocaven fallada amb l'algorisme FIFO i ara no.

0, 1, 2, 13, 14, 15, 16, 37, 38, 23, 24, 25, 42, 17, 18, 53, 54, 55, 56, 20, 21, 15, 16