

Introducció als Computadors

Tema 7: Processadors de Propòsit Específic (PPE's)

<http://personals.ac.upc.edu/enricm/Docencia/IC/IC7b.pdf>

Enric Morancho
(enricm@ac.upc.edu)

Departament d'Arquitectura de Computadors
Facultat d'Informàtica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

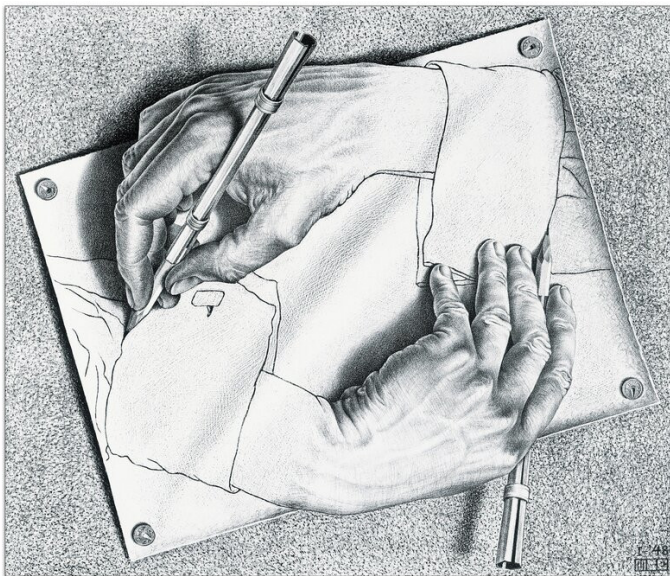


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona

2020-21, 1^{er} quad.

Presentació publicada sota llicència Creative Commons 4.0



[1]

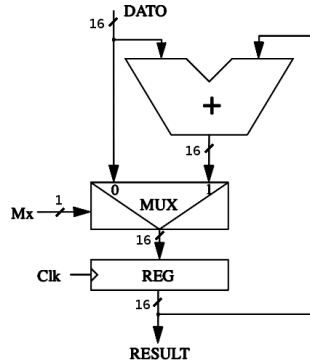
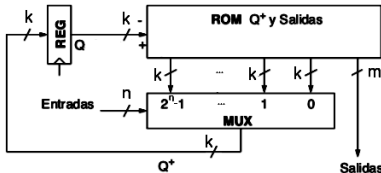
- Temps de cicle del PPE i temps d'execució
- Exemple: càlcul del màxim comú divisor (MCD)
- Exercicis
- Conclusions

- El càlcul de temps de cicle a un PPE es fa com al tema anterior
- Cal trobar el camí crític del PPE
 - El T_p d'aquest camí determina el valor mínim del temps de cicle
- A l'enumerar els camins possibles cal no oblidar:
 - Els que comencen als biestables de la UC i acaben a la UP
 - Els que comencen a la UP i acaben als biestables de la UC
 - Els que comencen als biestables de la UC, continuen a la UP i acaben als biestables de la UC

Assumim:

- $T_p(ADD) = 500 \text{ u.t.}$, $T_p(MUX) = 100 \text{ u.t.}$, $T_p(REG) = 50 \text{ u.t.}$
- Les entrades triguen 120 u.t en esdevenir estables
- Les sortides han de ser estables 40 u.t. abans del flanc de rellotge
- La UC està implementada amb una única ROM ($T_p(ROM) = 80 \text{ u.t.}$) i un multiplexor de busos ($T_p(MUX) = 100 \text{ u.t.}$)

Unitat de Control (UC)
 $n=1$, $m=2$, $k = \log_2[5] = 3$



- Camins:
 - e-b:
 - $Entrada\ DATO \rightarrow ADD \rightarrow MUX_{UP} \rightarrow REG_{UP} \Rightarrow T_p = 720\ u.t.$
 - $Entrada\ Ini \rightarrow MUX_{UC} \rightarrow REG_{UC} \Rightarrow T_p = 220\ u.t.$
 - b-b:
 - $REG_{UP} \rightarrow ADD \rightarrow MUX_{UP} \rightarrow REG_{UP} \Rightarrow T_p = 650\ u.t.$
 - $REG_{UC} \rightarrow ROM \rightarrow MUX_{UP}(Mx) \rightarrow REG_{UP} \Rightarrow T_p = 230\ u.t.$
 - $REG_{UC} \rightarrow ROM \rightarrow MUX_{UC} \rightarrow REG_{UC} \Rightarrow T_p = 230\ u.t.$
 - b-s:
 - $REG_{UP} \rightarrow Sortida\ RESULT \Rightarrow T_p = 90\ u.t$
 - $REG_{UC} \rightarrow ROM \rightarrow Sortida\ Fin \Rightarrow T_p = 170\ u.t.$
- El camí crític és $Entrada\ DATO \rightarrow ADD \rightarrow MUX \rightarrow REG_{UP}$
 - Com $T_p = 720\ u.t. \Rightarrow T_c \geq 720\ u.t.$

- Quant de temps triga el PPE en processar les entrades?
- Cal saber el T_c del PPE i quants cicles ha trigat en processar-les
- Temps d'execució $T_e = N_c \times T_c$
 - El nombre de cicles (N_c) es pot calcular fent un seguiment del graf d'estats de la UC
 - A l'exemple Suma-4, $N_c = 4$
 - En general, N_c dependrà dels valors de les dades a processar

- Temps de cicle del PPE i temps d'execució
- Exemple: càlcul del màxim comú divisor (MCD)
- Exercicis
- Conclusions

- Dissenyar un PPE que calculi el MCD de dos nombres naturals
 - Entrades:
 - de dades: bussos X i Y de 16 bits
 - de control: Ini d'1 bit
 - Sortides:
 - de dades: bus MCD de 16 bits
 - de control: Fin d'1 bit
 - Sincronització entrades/sortides:
 - En el mateix cicle que Ini val "1", els bussos X i Y contenen els nombres dels que cal calcular el MCD
 - Quan el bus MCD mostri el resultat, cal que Fin valgui "1"
 - Ignorarà el senyal Ini mentre s'estigui realitzant el càlcul d'un MCD

- Calcularem el MCD utilitzant l'algorisme d'Euclides

```
// Calcul del MCD de X i Y
A=X; B=Y;
while (A ≠ B) {
    if (A>B) A=A-B;
    else B=B-A;
}
MCD=A;
```



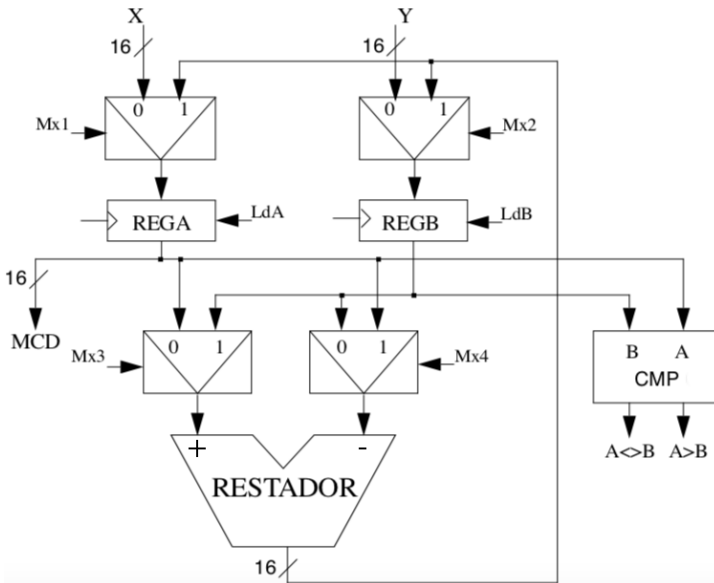
Euclides d'Alexandria
(300 A.C.) [2]

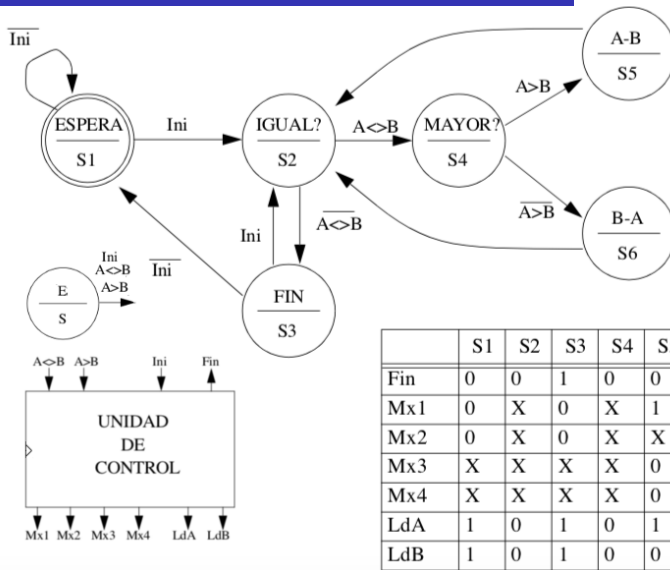
- Exemple: $MCD(54, 30)$?
 - $(A, B) = (54, 30) \rightarrow (24, 30) \rightarrow (24, 6) \rightarrow (18, 6) \rightarrow (12, 6) \rightarrow (6, 6) \Rightarrow MCD(54, 30) = 6$

```
// Calcul del MCD de X i Y
A=X; B=Y;
while (A <> B) {
    if (A>B) A=A-B;
    else B=B-A;
}
MCD=A;
```

- Analitzant l'algorisme la UP necessitarà:
 - 2 registres (per a A i B)
 - Amb senyal de càrrega perquè no s'han d'actualitzar en cada iteració
 - Blocs comparadors
 - Cal saber si " $A <> B$ " i " $A > B$ "
 - Es pot implementar amb blocs *EQ*, *LEU* i portes lògiques
 - Dos blocs restadors per calcular $A - B$ i $B - A$
 - Potser amb un restador sigui suficient
 - Multiplexors
 - A i B poden ser carregats des de X/Y o des de la sortida del restador

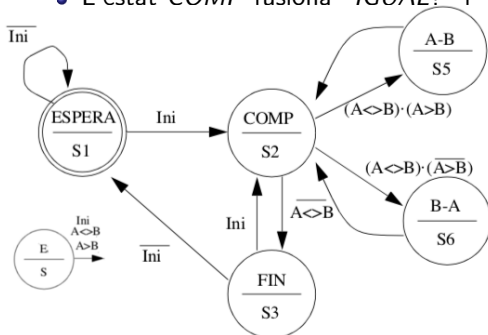
UP MCD: una possible solució





- A la taula de sortides, posarem x sempre que sigui possible

- Podem eliminar un estat
 - El que es decideix a "MAYOR?" es podia haver fet a "IGUAL?"
 - L'estat *COMP* fusiona "IGUAL?" i "MAYOR?"



	S1	S2	S3	S5	S6
Fin	0	0	1	0	0
Mx1	0	X	0	1	X
Mx2	0	X	0	X	1
Mx3	X	X	X	0	1
Mx4	X	X	X	0	1
LdA	1	0	1	1	0
LdB	1	0	1	0	1

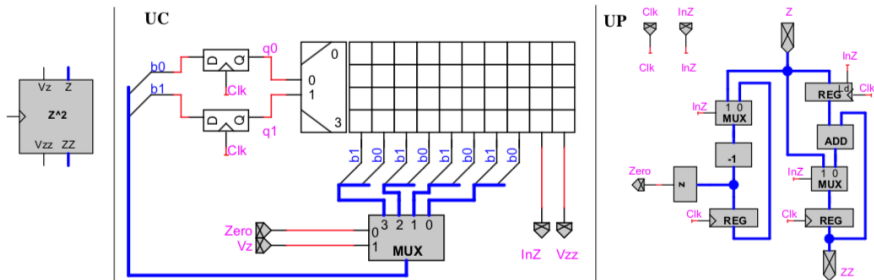
- També podem fusionar alguns senyals de la paraula de control
 - Mx3* i *Mx4* es comporten igual a cada estat
 - I els senyals *Mx1* i *Mx2* ?

- Podríem fusionar els estats COMP, A-B i B-A?
 - Caldria fer en el mateix cicle la comparació i la resta
 - La UP hauria de generar, a partir de les sortides del comparador, els senyals de control pels multiplexors i els senyals de càrrega dels registres
- **No** els fusionarem
 - Als nostres PPE's, els senyals de control els generarà la UC a partir de la paraula de condició generada per la UP

- Temps de cicle del PPE i temps d'execució
- Exemple: càlcul del màxim comú divisor (MCD)
- Exercicis
 - Determinar camí crític (E2 Q1 16-17)
 - Divisió entera (E2 Q1 14-15)
 - Dispensadora de canvi (E2 Q2 13-14)
- Conclusions

- Temps de cicle del PPE i temps d'execució
- Exemple: càlcul del màxim comú divisor (MCD)
- Exercicis
 - **Determinar camí crític (E2 Q1 16-17)**
 - Divisió entera (E2 Q1 14-15)
 - Dispensadora de canvi (E2 Q2 13-14)
- Conclusions

Determinar camí crític i T_c



- Totes les entrades esdevenen estables 190 u.t. des de l'inici del cicle
- Les sortides han de ser estables almenys 400 u.t. abans del fi de cicle
- T_p dels biestables és 100 u.t.
- $T_p(ADD) = T_p(-1) = 400$, $T_p(MUX-2-1) = 50$
 $T_p(MUX-4-1) = 100$, $T_p(z) = 80$ i $T_p(ROM) = 40 u.t.$

- Cal determinar el camí amb T_p màxim
 - Podem tenir camins que van de la UC a la UP i a l'inrevés
 - Podem tenir camins $UC \rightarrow UP \rightarrow UC$
 - Podem prescindir dels camins que estan inclosos en camins més llargs
 - Exemple: $Entrada\ Z \rightarrow MUX-2-1 \rightarrow REG_{UP}$ versus $Entrada\ Z \rightarrow MUX-2-1 \rightarrow -1 \rightarrow REG_{UP}$
 - Un dels registres de la UP té senyal de càrrega
 - La seva implementació incorpora un MUX
- Solució
 - Camí crític: $Entrada\ Z \rightarrow MUX-2-1 \rightarrow -1 \rightarrow z \rightarrow MUX-4-1 \rightarrow FF_{UC}$
 - Temps de cicle mínim = 820 u.t

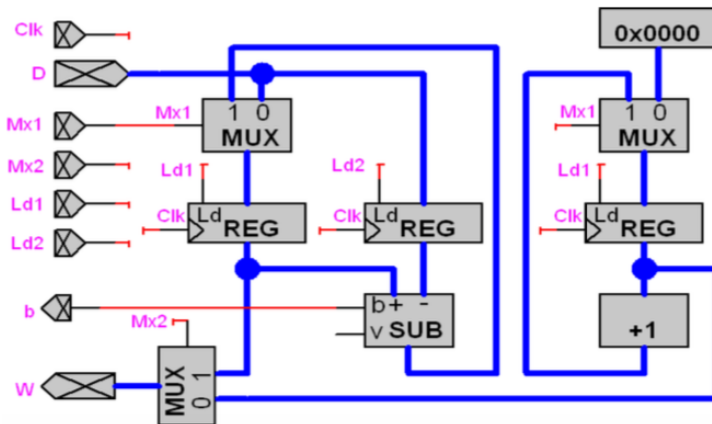
- Temps de cicle del PPE i temps d'execució
- Exemple: càlcul del màxim comú divisor (MCD)
- Exercicis
 - Determinar camí crític (E2 Q1 16-17)
 - Divisió entera (E2 Q1 14-15)
 - Dispensadora de canvi (E2 Q2 13-14)
- Conclusions

- Dissenyar un PPE que calculi la divisió entera de dos nombres
- Donats n (numerador) i d (denominador), $n, d > 0$, calcula els naturals q i r tals que $n = d \times q + r$, $0 \leq r < d$
- El PPE té un bus d'entrada de dades, D , de 16 bits i un altre senyal d'entrada, *Begin*, d'un bit.
- El numerador n es rebrà codificat en binari pel bus D durant un cicle, el mateix en el que el senyal *Begin* val 1. Al cicle següent, el PPE rebrà pel bus D el denominador d .
- El PPE té com a senyals de sortida un bus de dades W de 16 bits i un senyal *Done* d'un bit.
- Una cop feta la divisió, el PPE posa a 1 el senyal *Done* durant dos cicles consecutius i al bus W es mostren els resultats (el quocient q al primer cicle i el residu r en el segon cicle).

Ejemplo: algoritmo de división implementado por el PPE

$$\begin{matrix} n & = & 11 \\ d & = & 5 \end{matrix} \rightsquigarrow \left\{ \begin{array}{ll} (11 \geq 5) & 11 - 5 = 6 \\ (6 \geq 5) & 6 - 5 = 1 \\ (1 \not\geq 5) & \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{matrix} q & = & 2 \\ r & = & 1 \end{matrix}$$

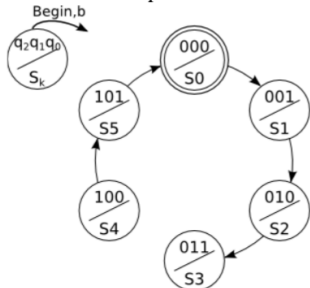
Esquema completo de la Unidad de Proceso (UP) del PPE



- Cal identificar el paper que juga cada registre
 - Com s'inicialitza, què es fa amb el valor, com s'actualitza i si està connectat amb el bus de sortida pot ajudar
 - D'esquerra a dreta...
 - El primer s'inicialitza amb el numerador, se li resta el denominador, i acabarà contenint el residu
 - El segon guarda del denominador tota l'estona
 - El tercer s'inicialitza a 0, s'incrementa d'un en un, i acabarà contenint el quocient
- Hem de veure com les accions de l'algorisme queden reflectides a la UP
- Hem d'entendre el paper dels senyals de la paraula de control i els de la paraula de condició

Completar graf d'estats i taula de sortides

Grafo incompleto de la UC



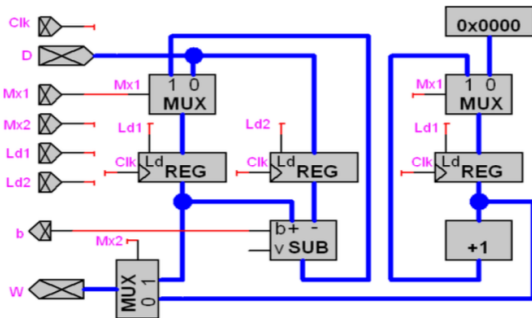
Taula de salidas

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Mx1						
Mx2						
Ld1						
Ld2						
Done						

Ejemplo: algoritmo de división implementado por el PPE

$$\begin{matrix} n = 11 \\ d = 5 \end{matrix} \rightsquigarrow \left\{ \begin{matrix} (11 \geq 5) & 11 - 5 = 6 \\ (6 \geq 5) & 6 - 5 = 1 \\ (1 \not\geq 5) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \begin{matrix} q = 2 \\ r = 1 \end{matrix}$$

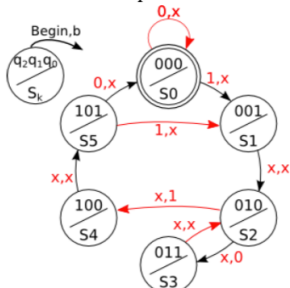
Esquema completo de la Unidad de Proceso (UP) del PPE



- Què cal fer a cada estat?
- Poseu x a la taula de sortides sempre que sigui possible

Completar graf d'estats i taula de sortides

Grafo incompleto de la UC



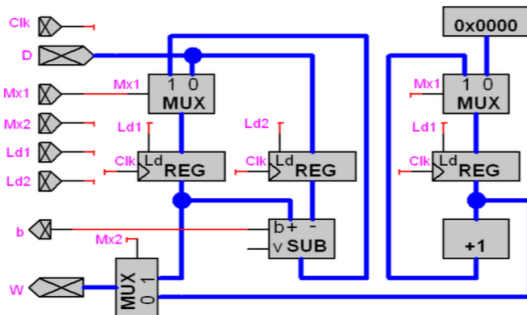
Taula de salidas

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Mx1	0	x	x	1	x	0
Mx2	x	x	x	x	0	1
Ld1	1	0	0	1	0	1
Ld2	x	1	0	0	x	x
Done	0	0	0	0	1	1

Ejemplo: algoritmo de división implementado por el PPE

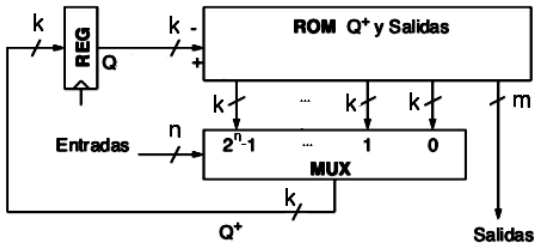
$$\begin{matrix} n = 11 \\ d = 5 \end{matrix} \rightsquigarrow \left\{ \begin{matrix} (11 \geq 5) & 11 - 5 = 6 \\ (6 \geq 5) & 6 - 5 = 1 \\ (1 \not\geq 5) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \begin{matrix} q = 2 \\ r = 1 \end{matrix}$$

Esquema completo de la Unidad de Proceso (UP) del PPE

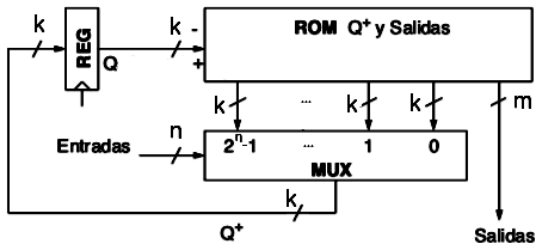


- Hi ha alguna transició impossible al graf d'estats?

- Sintetitzem la UC amb una única ROM i un multiplexor de bussos. Quina serà la mida de la ROM?



- Sintetitzem la UC amb una única ROM i un multiplexor de bussos. Quina serà la mida de la ROM?

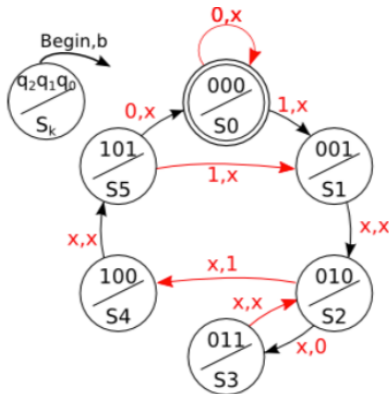


- Solució:
 - A partir de de la llegenda del graf, identifiquem nombre de bits d'entrada, de sortida i d'estat
 - bits d'entrada: $n = 2$ (*Begin* i *b*)
 - bits de sortida: $m = 5$ (*Mx1*, *Mx2*, *Ld1*, *Ld2* i *Done*)
 - bits d'estat: $k = \lceil \log_2 6 \rceil = 3$
 - La ROM tindrà $2^k = 8$ paraules (files)
 - Cada paraula tindrà $2^n \times k + m$ bits, és a dir $2^2 \times 3 + 5 = 17$ bits
 - La mida de la ROM serà $8 \text{ paraules} \times 17 \text{ bits/paraula} = 136$ bits

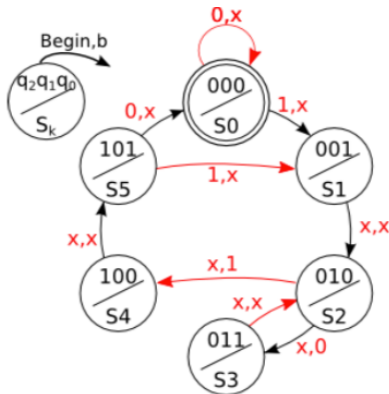
- Assumiu que la UC s'implementa amb una ROM i un multiplexor de bussos, que les entrades del PPE estan estables passades 300 u.t. de l'inici del cicle, que les sortides han d'estar estables 600 u.t. abans del final de cicle, $T_p(\text{biestables}) = 100$ u.t., $T_p(\text{Not}) = 10$ u.t., $T_p(\text{And-2}) = T_p(\text{Or-2}) = 20$ u.t., $T_p(\text{SUB}) = T_p(+1) = 500$ u.t., $T_p(\text{MUX-2-1}) = 50$ u.t., $T_p(\text{MUX-4-1}) = 120$ u.t., $T_p(\text{MUX-8-1}) = 180$ u.t. i $T_p(\text{ROM}_{UC}) = 60$ u.t. (Recordeu que un registre amb senyal Ld té alguna cosa més que biestables a la seva implementació)

- Assumiu que la UC s'implementa amb una ROM i un multiplexor de bussos, que les entrades del PPE estan estables passades 300 u.t. de l'inici del cicle, que les sortides han d'estar estables 600 u.t. abans del final de cicle, $T_p(\text{biestables}) = 100$ u.t., $T_p(\text{Not}) = 10$ u.t., $T_p(\text{And-2}) = T_p(\text{Or-2}) = 20$ u.t., $T_p(\text{SUB}) = T_p(+1) = 500$ u.t., $T_p(\text{MUX-2-1}) = 50$ u.t., $T_p(\text{MUX-4-1}) = 120$ u.t., $T_p(\text{MUX-8-1}) = 180$ u.t. i $T_p(ROM_{UC}) = 60$ u.t. (Recordeu que un registre amb senyal Ld té alguna cosa més que biestables a la seva implementació)
- Solució:
 - Camí crític: $FF_{UC} \rightarrow ROM_{UC} \rightarrow \text{MUX-2-1}(M \times 2) \rightarrow W$
 - Temps camí crític = 810 u.t. ($100 + 60 + 50 + 600$)
 - T_c mínim = 810 u.t.

- Quants cicles triga el càlcul si $n = 15$, $d = 2$ (des de rebre n fins mostrar r , ambdós inclosos)?



- Quants cicles triga el càlcul si $n = 15$, $d = 2$ (des de rebre n fins mostrar r , ambdós inclosos)?



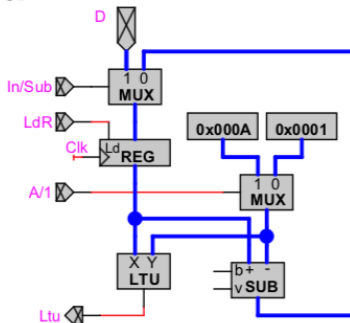
- Solució:
 - Fent un seguiment del graf d'estats, amb $n = 15$, $d = 2$ triga 19 cicles.
 - $000 \rightarrow 001 \rightarrow 010 \rightarrow (011 \rightarrow 010) \times 7 \rightarrow 100 \rightarrow 101$

- Temps de cicle del PPE i temps d'execució
- Exemple: càlcul del màxim comú divisor (MCD)
- Exercicis
 - Determinar camí crític (E2 Q1 16-17)
 - Divisió entera (E2 Q1 14-15)
 - Dispensadora de canvi (E2 Q2 13-14)
- Conclusions

- El PPE devuelve el cambio entregando el número mínimo de billetes de 10 euros y de monedas de un euro (no devuelve ningún otro tipo de billetes ni de monedas).
- El PPE recibe la cantidad de euros a devolver (del subsistema que alimenta al PPE) y se encarga calcular y de dar la orden al subsistema dispensador de cambio (alimentado por el PPE) de cada billete y de cada moneda a devolver.
- El PPE tiene un bus de entrada de datos, D , de 16 bits y una señal de entrada, $Begin$ (de un bit). Recibe el número de euros a devolver codificado en binario por el bus D durante un ciclo, el mismo en el que la señal $Begin$ vale 1.
- Esto es, el ciclo en el que $Begin$ vale 1 le indica al PPE que debe iniciar el cálculo del número de billetes de diez euros y de monedas de un euro a devolver, que suman la cantidad de euros que indica el bus D en ese mismo ciclo.

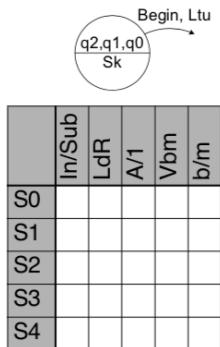
- El PPE tiene dos señales de salida de un bit cada una, Vbm y b/m , utilizadas para enviar las órdenes de dar cambio al subsistema dispensador de cambio. El PPE pone a 1 la señal Vbm durante un ciclo para validar el valor que tiene la señal b/m durante ese mismo ciclo. Cuando b/m vale 1 significa que se debe devolver un billete y cuando vale 0 que debe devolverse una moneda. En los ciclos en los que Vbm vale 0 el valor de b/m carece de significado y en esos ciclos no se da orden de dar ni billete ni moneda.
 - Si, por ejemplo, se deben devolver 23 euros el PPE enviará al subsistema dispensador una secuencia de cinco órdenes de dar cambio (cinco ciclos, que no tienen porque ser consecutivos, en los que Vbm valdrá 1). Los 23 euros del ejemplo se devolverán mediante una secuencia de dos órdenes de dar un billete y tres de dar una moneda.
- Tal como está construida la máquina de cobro, se puede asegurar que el subsistema que alimenta al PPE nunca pondrá *Begin* a 1 hasta que el PPE haya terminado de dar todas las órdenes de devolver el cambio de un cobro: *Begin* valdrá 1 durante un ciclo en el que el PPE este en el estado inicial, esperando trabajo.

UP

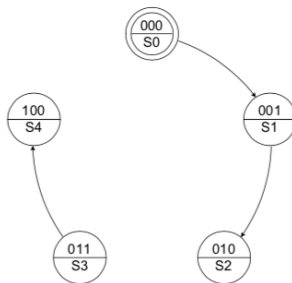


- La salida del bloque LTU vale 1 cuando $X_u < Y_u$. El bus de salida de 16 bits del bloque 0x000A y del 0x0001 siempre codifica el valor constante que indica su nombre.

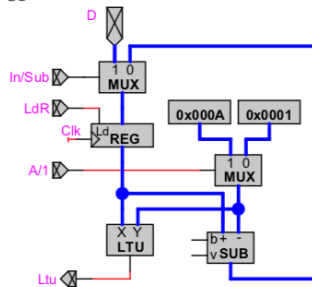
Completeu graf d'estats i taula de sortides



Grafo incompleto de la UC



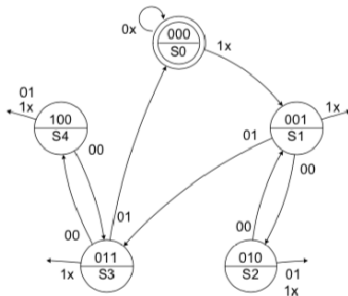
UP



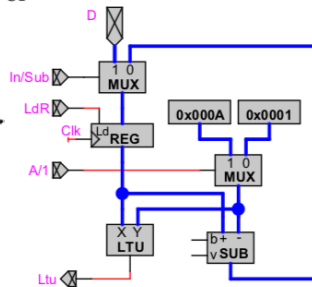
Completeu graf d'estats i taula de sortides



	In/Sub	LdR	A/1	Vbm	b/m
S0	1	1	x	0	x
S1	x	0	1	0	x
S2	0	1	1	1	1
S3	x	0	0	0	x
S4	0	1	0	1	0



UP



- Indicad el camí crític del PPE (o uno de ellos si hay varios) listando los dispositivos por los que pasa y el tiempo de este camino escribiendo los sumandos que lo forman. ¿Cuál es el tiempo de ciclo mínimo? Suponed que:
 - la UC se implementa con el número mínimo de biestables, con una única ROM (ROM_UC) y con un Multiplexor de buses,
 - todas las entradas del PPE están estables pasadas 300 ut del inicio de ciclo y que todas las salidas deben estar estables al menos 600 ut antes del final de ciclo,
 - los tiempos de propagación de cualquiera de los biestables con los que está construido el PPE (incluidos los biestables de los registros) es de $T_p(FF)=100$ ut y que
 - los tiempos de propagación de los combinacionales, desde cualquier entrada a cualquier salida, son: $T_p(SUB) = T_p(LTU) = 500$, $T_p(MUX - 2 - 1) = 50$, $T_p(MUX - 4 - 1)=100$, $T_p(MUX - 8 - 1)=150$ y $T_p(ROM_{UC})=60$ ut.
- Recordad que un registro con señal Ld tiene algo más que biestables en su implementación interna

- Solució 1:

- Camí crític:

- $FF_{UC} \rightarrow ROM_{UC} \rightarrow MUX-2-1(A-/1) \rightarrow LTU \rightarrow MUX-4-1(UC) \rightarrow FF_{UC}$

- Sumands: $100 + 60 + 50 + 500 + 100 = 810$

- T_c mínim: 810 u.t.

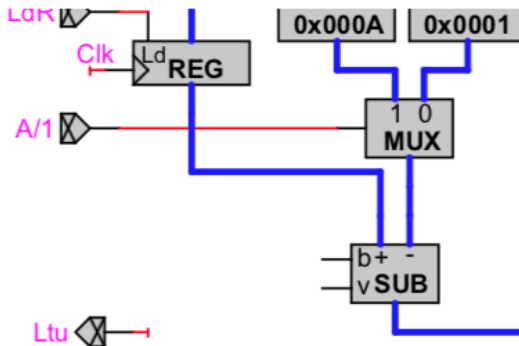
- Solució 2:

- Camí crític: $FF_{UC} \rightarrow ROM_{UC} \rightarrow MUX-2-1(A-/1) \rightarrow SUB \rightarrow MUX-2-1(In/Sub) \rightarrow MUX-2-1(LdR) \rightarrow REG$

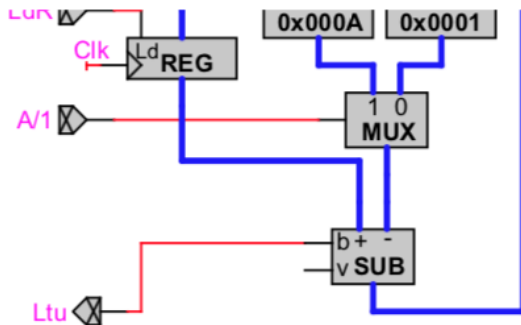
- Sumands: $100 + 60 + 50 + 500 + 50 + 50 = 810$

- T_c mínim: 810 u.t.

- Dibujad el circuit que puede reemplaçar al bloque original LTU para reducir el coste en hardware de la UP (podéis usar bloques, puertas...)



- Dibujad el circuit que puede reemplaçar al bloque original LTU para reducir el coste en hardware de la UP (podéis usar bloques, puertas...)



- Enunciat disponible a Atenea
 - https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/3603439/mod_assign/introattachment/0/Tema%207%20-%20Exercicis%20en%20paper.pdf?forcedownload=1
- Entrega a Atenea fins el dissabte 31/10
 - Format PDF
 - Per fer els grafs d'estats us pot resultar útil l'editor on-line https://www.cs.unc.edu/~otternes/comp455/fsm_designer/
 - Els esquemes lògics els podeu fer a mà i posteriorment fotografiar-los/escanejar-los o utilitzar alguna eina d'edició de circuits (Logic Works, ...)

- Temps de cicle del PPE i temps d'execució
- Exemple: càlcul del màxim comú divisor (MCD)
- Exercicis
- **Conclusions**

- Al calcular el T_c del PPE, cal no oblidar els camins entre UC i UP i els camins entre UP i UC
- A l'analitzar una UP, cal identificar el paper que jugarà cada registre i veure la funció dels senyals de control
- A la taula de sortides de la UC, cal identificar els valors *Don't care*
 - Als senyals de control de sortida del PPE, difícilment podrem col·locar *Don't care*
- No oblideu realitzar el qüestionari d'Atenea ET7b

Llevat que s'indiqui el contrari, les figures, esquemes, cronogrames i altre material gràfic o bé han estat extrets de la documentació de l'assignatura elaborada per Juanjo Navarro i Toni Juan, o corresponen a enunciats de problemes i exàmens de l'assignatura, o bé són d'elaboració pròpia.

- [1] M. C. Escher, *Drawing hands*, 1948. [Online]. Available: <https://www.wayfair.co.uk/home-decor/pdx/east-urban-home-drawing-hands-1948-by-escher-art-print-plaque-hsu7047.html>.
- [2] [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Euclid#/media/File:Euklid-von-Alexandria_1.jpg.

Introducció als Computadors

Tema 7: Processadors de Propòsit Específic (PPE's)

<http://personals.ac.upc.edu/enricm/Docencia/IC/IC7b.pdf>

Enric Morancho
(enricm@ac.upc.edu)

Departament d'Arquitectura de Computadors
Facultat d'Informàtica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona

2020-21, 1^{er} quad.

Presentació publicada sota llicència Creative Commons 4.0