Cours 3 Microprocesseurs

Jalil Boukhobza
LC 206
boukhobza@univ-brest.fr
02 98 01 69 73

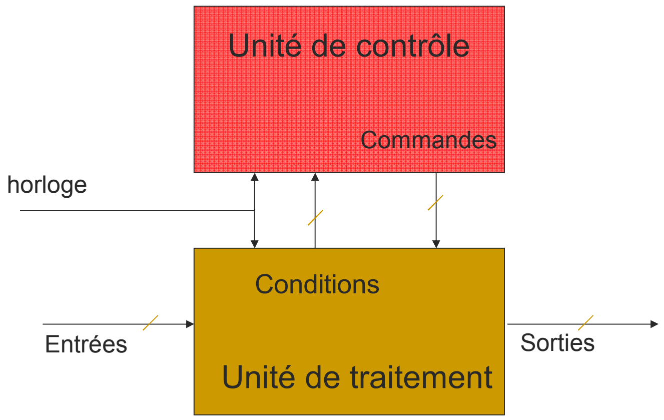
L'unité de contrôle

1. Cadencement des calculs d'une unité de traitement
2. Modélisation de l'unité de contrôle, spécification sous forme d'automate
3. Réalisation **câblée** et **microprogrammée** de l'unité de contrôle

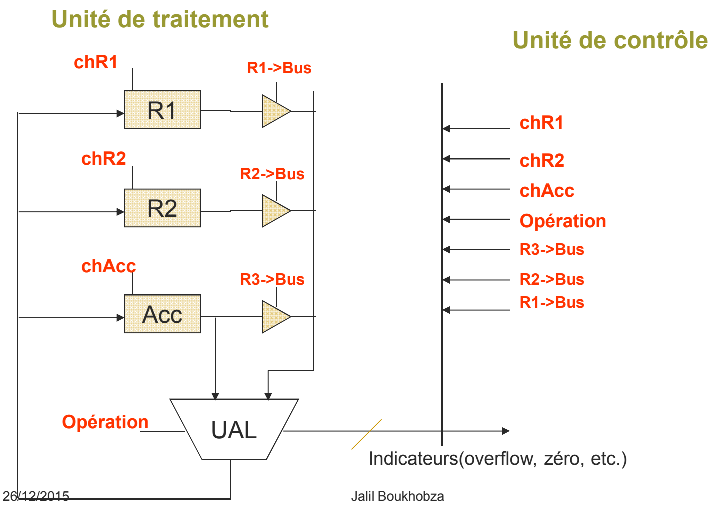
Définition

- L'unité de contrôle est un système **séquentiel**.
- **Les entrées** sont des conditions, signaux issus de l'unité de traitement.
- **Les sorties** sont des signaux de commandes envoyés à l'unité de traitement, par exemple:
  - Chargement d'un registre (write enable ou autorisation de chargement)
  - Commande d'opérateur (ex pour l'UAL)
  - Contrôle de chemin de données (bus, multiplexeurs, trois états)
- L'unité de contrôle peut échanger des signaux avec l'extérieur (initialisation, ordre particulier, etc.).

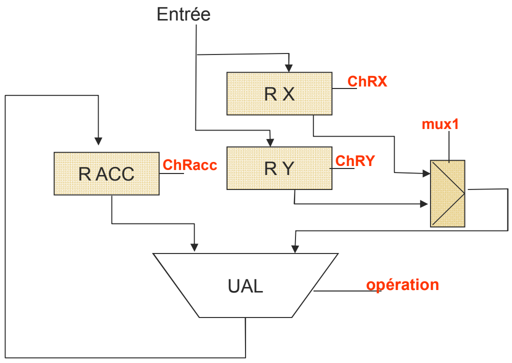
Schéma global



Exemple de signaux à gérer par l'unité de contrôle



De l'influence de l'unité de traitement sur l'exécution d'une instruction



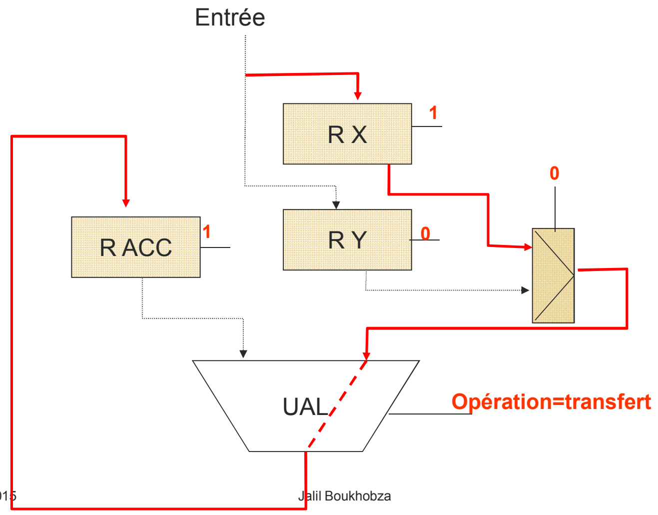
- Le séquenceur décide de quand activer les différentes unités de calculs.

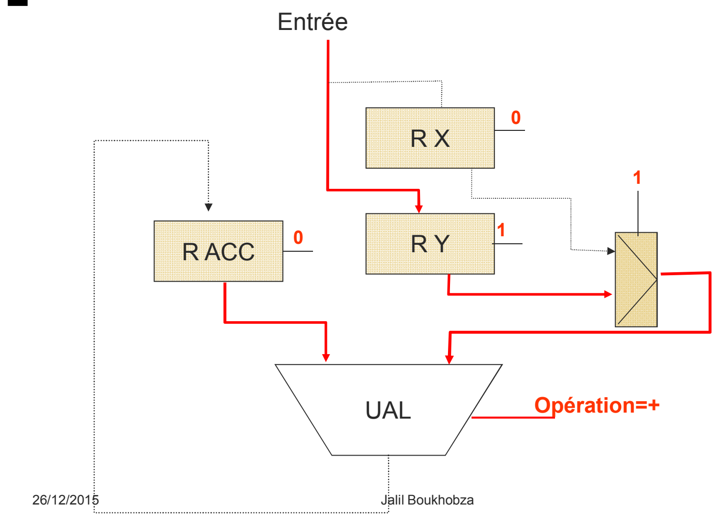
Exemple: comment utiliser le circuit séquentiel pour réaliser l'opération A + B arrivant sur l'entrée ?

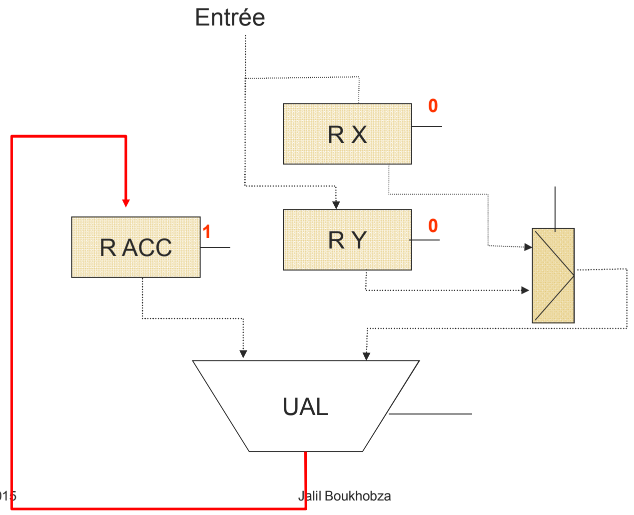
Utilisation d'un automate pour séquencer les opérations

Séquence des opérations

1. charger le registre RX (utilisation du signal chRx →*write enable*)
2. charger le registre RY (signal chRy)
3. laisser passer le contenu de RX dans l'UAL puis charger Racc (signaux de contrôle a activer: mux1, op = transfert, chRacc)
4. réaliser l'addition entre le contenu de RY et Racc puis charger le résultat dans Racc (signaux de contrôle a activer : mux1, op = +, chRacc)



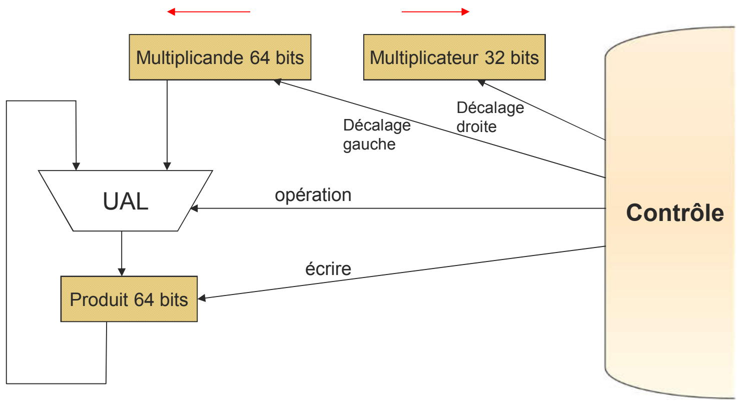

Entrée
R X
0
1
R ACC
0
R Y
1
UAL
Opération=+


Entrée
R X
0
R ACC
1
R Y
0
UAL

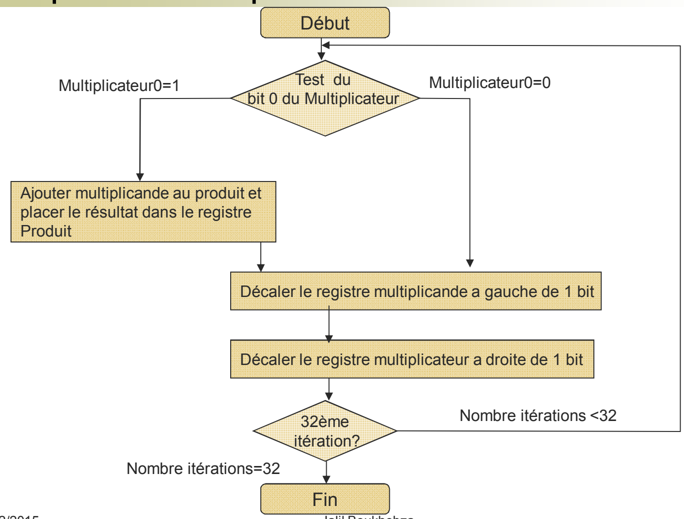
Un autre exemple: la multiplication séquentielle

- Multiplicande: $x_3x_2x_1x_0$
- Multiplicateur: $y_3y_2y_1y_0$
- Algorithme:
  - Il faut multiplier le multiplicande par y_0
  - puis, décaler le multiplicateur à droite pour multiplier par $y_3y_2y_1$
  - Et décaler le multiplicande à gauche pour faire la somme par la suite avec le produit.
  - reboucler

				1	1	0	1	(−3)
				0	1	0	1	(5)
1	1	1	1	1	1	0	1	($P0$)
0	0	0	0	0	0	0	•	($P1$)
1	1	1	1	0	1	•	•	($P2$)
0	0	0	0	0	•	•	•	($P3$)
1	1	1	1	0	0	0	1	(−15)



Algorithme pour le contrôle de la multiplication séquentielle

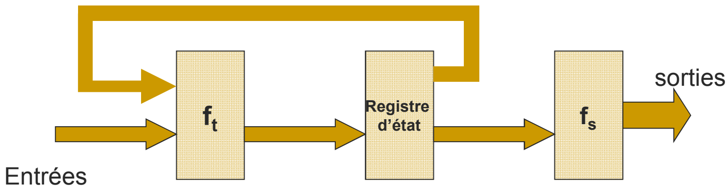


Modèle pour l'unité de contrôle

- L'unité de contrôle est généralement une machine séquentielle de type **Moore** pouvant être modélisée de la manière suivante (modèle général pour toute machine séquentielle synchrone):
  - des états internes Y (synchronisés par une seule horloge),
  - une fonction de transition f_t qui définit l'état futur,
  - et une fonction de sortie f_s qui définit les valeurs des sorties

Machine de Moore

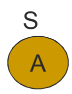
- Dans la machine de Moore, les sorties ne dépendent que de l'état interne.



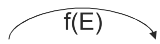
$$\text{Sorties} = f_s(Y_{\text{état\_courant}})$$
$$Y_{\text{état\_suivant}} = f_t(Y_{\text{état courant}}, \text{Entrées})$$

Graphe de transitions (machine de Moore)

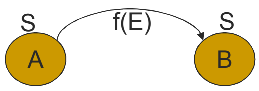
- Etat interne



- Transition

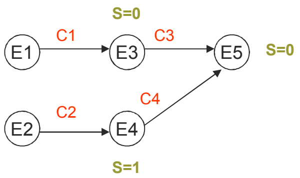


- Changement d'état interne



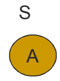
Utilisation d'un automate à états finis pour la spécification de l'unité de contrôle

selon Moore :

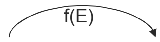


- **Nœud**: état interne du circuit: E1, E2, E3, E4, E5
- **Arc**: donne les conditions de transitions entre les états en fonction des entrées: C1, C2, C3, C4
- État es variables de **sortie** est donnée par chaque état du graphe: S

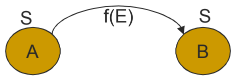
- **Etat interne**



- **Transition**



- Changement d'état interne



Hypothèses pour la conception de machine synchrone

- pour les circuits synchrones, les activations d'horloge sont sous-entendues
- les automates sont déterministes
- l'état initial est généralement atteignable par une commande de reset asynchrone

Exemple de spécification sous forme d'automates

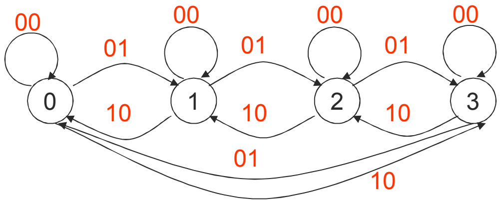
Compteur modulo 4

Les états du circuit correspondent aux valeurs possibles des sorties

Q_1	Q_2	$Q_{sortie1}$	$Q_{sortie2}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0

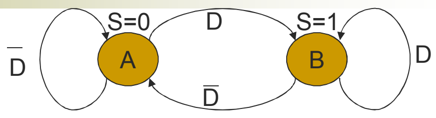
Compteur-décompteur modulo 4

dec	inc	CPT=
0	0	CPT
0	1	(CPT+1) mod4
1	0	(CPT-1) mod4
1	1	indéterminé

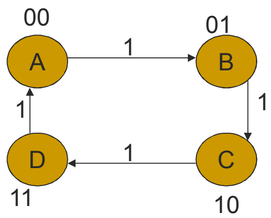


Exemples

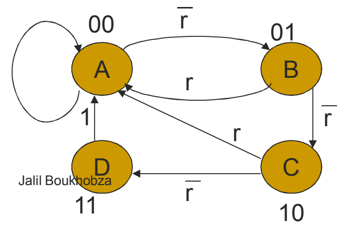
- Bascule D



- Compteur 2 bits

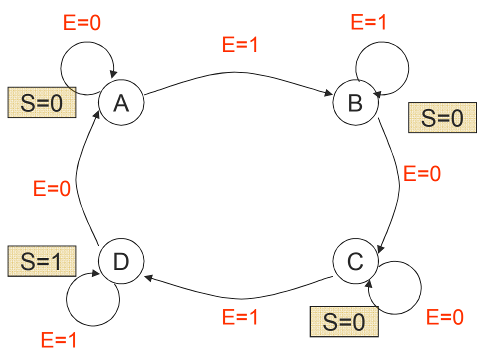


- Compteur 2 bits avec remise à 0 synchrone

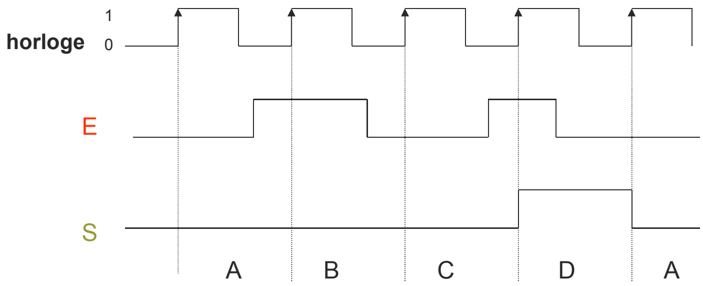


Autre exemple

Soit l'automate suivant



Résultat sous forme de chronogramme



Synthèse d'un automate à états finis: génération du circuit séquentiel correspondant

1. Définir le **graphe d'états**
2. **Table des états**: changement des états en fonction des entrées

État courant	E	$\overline{E}$
A	B	A
B	B	C
C	D	C
D	D	A

3. **Codage des états** du graphe

Pour un minimum de variables internes, on utilise un **codage binaire** N variables pour 2^N états

État	Y_0	Y_1
A	0	0
B	0	1
C	1	1
D	1	0

4. **Table des transitions**:

Y_0 Y_1	E	$\overline{E}$
00 A	01 B	00 A
01 B	01 B	11 C
11 C	10 D	11 C
10 D	10 D	00 A

E	Y_0 Y_1	$Y_0^+Y_1^+$
0	00 A	00 A
0	01 B	11 C
0	11 C	11 C
0	10 D	00 A
1	00 A	01 B
1	01 B	01 B
1	11 C	10 D
1	10 D	10 D

Équation des variables internes: il faut trouver les valeurs des états actuels en fonction des états précédent $Y_0^+ et\, Y_1^+$

$$Y_0^+ = Y_0.E + Y_1.\overline{E}$$

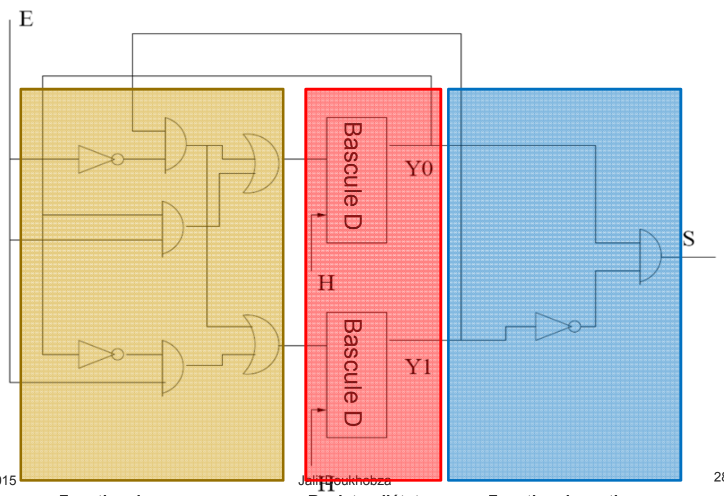
$$Y_1^+ = \overline{Y_0}.E + Y_1.\overline{E}$$

5. **Fonctions de sorties**
S=1 à l'état D (Y_0Y_1=10)
S=0 pour les états A (Y_0Y_1=00), B (Y_0Y_1=01) et C (Y_0Y_1=11)

$$S = Y_0.\overline{Y}_1$$

6. Pour une implémentation avec les bascules D, la valeur future de la variable interne est alors injectée en entrée de la bascule D.

$$Q^+ = D$$



Fonction de transition **Registre d'état** **Fonction de sortie**

Unité de contrôle câblée

- L'unité de contrôle est vue comme un **automate *à jetons*** (une bascule par état).

- L'automate est alors implémenté en utilisant des bascules D pour les registres. Le circuit séquentiel obtenu définit alors chaque sortie comme l'union des états où cette sortie vaut 1.

De l'influence du codage des états

- Autre choix de codage:
  - A=00, B=01, C=10, D=11
  - A=0001, B=0010, C=0100, D=1000 (**machine à jetons / codage one hot**)
- La table de transition devient:

$Y_0 Y_1$		E	$\overline{E}$
00	A	01 B	00 A
01	B	01 B	10 C
10	c	11 D	10 C
11	D	11 D	00 A

- D'où les équations:

$$Y_0^+ = E.Y_0 + \overline{E}.(Y_0 \oplus Y_1)$$
$$Y_1^+ = E$$

et donc des implémentations différentes

Dessinez le circuit de l'automate précédent avec un codage à jetons.