

Logique Combinatoire et Séquentielle

Introduction

Pierre Héroux

Pierre.Heroux@univ-rouen.fr
Université de Rouen

L1 Informatique – EEEA

Plan

- 1 Architecture des ordinateurs
 - L'informatique d'aujourd'hui
 - Architecture générale et blocs fonctionnels
- 2 Historique
 - Calcul mécanique
 - Calcul électromécanique
 - L'ère de l'électronique
- 3 Premières notions d'architecture des ordinateurs
 - Les principaux composants
 - Les grands types d'architecture

Plan

- 1 Architecture des ordinateurs
 - L'informatique d'aujourd'hui
 - Architecture générale et blocs fonctionnels
- 2 Historique
 - Calcul mécanique
 - Calcul électromécanique
 - L'ère de l'électronique
- 3 Premières notions d'architecture des ordinateurs
 - Les principaux composants
 - Les grands types d'architecture

L'informatique d'aujourd'hui I

- Apparition aux alentours de 1950, suivie d'une évolution rapide.
- Motivation : calcul, puis automatisation, contrôle, commande, communication, partage de l'information.
- D'abord réservée aux centres de recherche, elle s'est répandue dans l'industrie, dans les services et administrations, puis dans les foyers.
- D'abord des systèmes centraux, puis des stations de travail et des ordinateurs personnels (PC) reliés en réseaux (locaux, puis toile).
- Actuellement, coexistence de centres de calcul, de serveurs, d'ordinateurs personnels et d'outils à informatique embarquée.

L'informatique d'aujourd'hui II

- Rapides évolutions techniques \Rightarrow Courte durée de vie des matériels \Rightarrow Marché instable, remise en cause fréquente de la position des constructeurs.
- D'abord des systèmes propriétaires (très peu de constructeurs), puis des systèmes ouverts (besoin de normalisation).
- Au niveau logiciel : réutilisabilité \Rightarrow technologie objet, génie logiciel (perte de performance masquée par les évolutions matérielles).
- Les concepts initiaux perdurent.
- Ce cours présentera les concepts utilisés, entre autres, dans l'architecture des ordinateurs.

Architecture générale et blocs fonctionnels I

- Initialement calculateur numérique, un ordinateur est maintenant une machine de traitement de l'information au sens large.
- Les traitements sont effectués par un *processeur* en réponse aux *instructions* d'un *programme*.
- Les *instructions* et les *données* qu'elles traitent sont stockées dans la *mémoire*.
- *Mémoire* et *processeur* sont reliés par un *bus*.
- L'utilisateur "dialogue" avec l'ordinateur par l'intermédiaire de *dispositifs d'entrée/sortie*.
- Chaque bloc fonctionnel peut être décrit par des unités fonctionnelles (architecture du processeur, architecture de la mémoire. . .).

Architecture générale et blocs fonctionnels II

- Chaque objet peut être décrit à plusieurs niveaux comme un ensemble de blocs interconnectés (niveau des portes logiques, niveaux des transistors. . .)
- Les choix d'une architecture est un compromis :
 - entre performances et coûts ;
 - entre efficacité et facilité de construction ;
- Blocs fonctionnels reliés par un bus ou réseau :
 - Unité de traitement (processeur) ;
 - Mémoire ;
 - Disque dur ;
 - Écran, imprimante, clavier, souris. . .
 - Archivage : disquette, bande magnétique, disque optique. . .

Architecture générale et blocs fonctionnels III

- L'informatique, ce n'est pas que les PC. Elle est maintenant embarquée (électroménager, automobile, distributeur de billets, console de jeux, smartphone, tablette. . .). Ces dispositifs utilisent les mêmes blocs fonctionnels.
- Imbrication matériel/logiciel (jeu d'instructions du processeur).
- Description de ces blocs à partir des portes logiques.

Plan

- 1 Architecture des ordinateurs
 - L'informatique d'aujourd'hui
 - Architecture générale et blocs fonctionnels
- 2 Historique
 - Calcul mécanique
 - Calcul électromécanique
 - L'ère de l'électronique
- 3 Premières notions d'architecture des ordinateurs
 - Les principaux composants
 - Les grands types d'architecture

Calcul mécanique I

- *calculi* : cailloux en latin
- numérotation décimale liée au nombre de doigts. Calcul digital : compter sur ses doigts.
- Codage des nombres depuis l'antiquité
- Par exemple, des simples traits chacun valant 1.
- Un symbole représentant 10 apparaît en Égypte en 3400 av. J.-C. Puis d'autres symboles pour 100, 1000 et 10000.
- Numération cunéiforme à Babylone (base 60).
- Premier système binaire, 3000 av. J.-C. : Le Yin et le Yang chinois (octogone à trigramme de Fou-Hi).
- Outils de calcul : Boulier en Chine, abaqes dans le Monde Méditerranéen.

Calcul mécanique II

- Notation positionnelle : valeur différente du symbole selon sa place dans le nombre. Cette notation n'est possible qu'avec un symbole représentant le zéro.
- Système développé en Inde (300 av. J.-C.) puis introduit en Europe par les Arabes (Islam étendu de la Chine à l'Espagne) suite à la traduction en 820 des ouvrages du mathématicien Bagdad Al-Khuwarizmi, auteur du livre "Al jabr".
- La notation dite arabe ne remplace la notation romaine en Europe qu'au XIV^{ème} siècle \Rightarrow notation plus compacte et calculs simplifiés.
- XVII^{ème} siècle : premiers systèmes mécaniques de calcul (roues dentées comme dans les horloges et automates).

Calcul mécanique III

- 1614 : John Napier (Neper) invente les logarithmes \Rightarrow multiplications et divisions se ramènent à des additions et des soustractions. Machines à multiplier basées sur le déplacement de tiges (Bâtons ou Os de Napier). Il fut un des premiers à utiliser le point décimal.
- 1622, William Oughtred : Règle à calcul (utilisant les logarithmes), précision suffisante pour les calculs scientifiques jusqu'à la première moitié de XX^{ème} siècle, mais inadaptée à la comptabilité.
- 1623, Wilhelm Schickard invente pour Kepler une "horloge calculante" (éphéméride). Utilisation de roues dentées, report de retenue. Disparue en 1624 (guerre de Trente Ans en Allemagne du Sud), elle est reconstruite en 1960 d'après les plans originaux.

Calcul mécanique IV

- 1642, Blaise Pascal (19 ans) construit pour son père (commissaire pour l'impôt à Rouen) une "machine arithmétique". Addition et soustraction à 6 chiffres. La Pascaline est le premier additionneur à retenue automatique. Une roue à 10 crans pour chaque chiffre. Quand une roue a fait un tour complet, elle décale d'un cran la roue supérieure. Multiplication par additions successives comme montré par Moreland en 1666.
- 1673, Gootfried Leibniz améliore la Pascaline (ajout d'un chariot et d'un tambour à dents inégales). Automatisation par l'intermédiaire d'une manivelle des additions et soustractions répétitives utilisées dans les multiplications et divisions. Leibniz invente également le système binaire et montre la simplicité de l'arithmétique binaire.

Calcul mécanique V

- 1728, Falcon (mécanicien français) construit le premier métier à tisser commandé avec une planchette de bois percée de trous. Perfectionné par Joseph-Marie Jacquard en 1805 : cartes cartonnées et articulées, contrôle et exécution séparés. Reproduction avec une qualité égale de motifs compliqués. 5 ouvriers en moins par métier à tisser. Révoltes des canuts de Lyon. En 1812, il y a 10000 métiers à tisser Jacquard.
- 1820, Charles Xavier-Thomas de Colmar réalise le premier "arithmomètre" (+, -, \times , \div) sur la base de la machine de Leibniz. D'abord 3 chiffres pour les opérandes et 6 pour le totaliseur, puis jusqu'à 30 chiffres. Employée jusqu'à la Première Guerre Mondiale.

Calcul mécanique VI

- 1820-1830, Charles Babbage, mathématicien anglais rapproche les machines à calculer et les machines de Jacquard pour effectuer des calculs complexes (séquences de plusieurs opérations arithmétiques). Prototype partiel (difficultés techniques) de la “machine à différences” (table de navigation ou de tir). Puis “machine analytique” : opérations arithmétiques en fonction d'instructions données par l'utilisateur. La machine contient une unité de traitement (moulin), une unité de contrôle, une mémoire (magasin), une unité d'entrée (cartes perforées) et une unité de sortie.

Calcul mécanique VII

- Babbage fut aidé par Ada Lovelace (Fille de Lord Byron) qui définit le principe d'enchaînement d'opérations successives pour la réalisation d'une opération : algorithme (Al-Khuwarizmi).
- 1854, George Boole propose la formulation mathématique des propositions logiques qui appliquée au système binaire est à la base du fonctionnement des ordinateurs.

Calcul électromécanique I

- 1890, Hermann Hollerith construit un calculateur de statistiques utilisé dans le recensement américain. Il développe la carte perforée et le système de codage des informations qui porte son nom. La détection d'un trou se fait par des aiguilles qui ferment un circuit électrique trempant dans un godet de mercure. 1896, Hollerith fonde la Tabulating Machine Company pour produire cartes et machines mécanographiques, qui devient en 1924 l'International Business Machine Corporation (IBM).
- 1914, Leonardo Torres y Quevedo propose de réaliser la version électromécanique de la machine de Babbage. Échec faute de moyens.

Calcul électromécanique II

- 1930, Vannemar Bush construit au MIT un analyseur différentiel (résolution d'équations différentielles liées aux circuits électriques). George Stibitz réalise en s'appuyant sur les travaux de Boole, un additionneur binaire à relais, le "modèle K".
- 1936, Alan Turing (travaux théoriques) énonce le principe d'une machine virtuelle pouvant réaliser tous les calculs mathématiques dont les instructions conditionnelles.
- 1938, Claude Shannon, à partir des travaux de Leibniz et Boole, met en évidence l'analogie entre algèbre binaire et circuits électriques. Plus tard, il montre que tout calcul logique ou arithmétique peut être réalisé avec trois opérations logiques de base (ET, OU et NON). Il invente le terme *bit* (binary digit).

Calcul électromécanique III

- 1938, Konrad Zuse crée avec des moyens modestes le Z1, un ordinateur binaire programmable mécanique. En 1939, il perfectionne (Z2) en remplaçant certaines pièces mécaniques par des relais électromécaniques. En 1941, Z3 et Z4 sont utilisés pour des calculs aeronautiques.
- 1939, John Atanasoff et Clifford Berry réalisent un additionneur binaire à 16 bits avec des tubes à vide.
- 1941, le Mark 1 ou ASCC (Automatic Sequence Control Calculator) développé par IBM et Harvard sous la direction de Howard Aiken.
 - 5 tonnes ;
 - 25 m² ;
 - 25kW ;
 - 3000 relais ;

Calcul électromécanique IV

- 760000 pièces mécaniques.

Programmes lus sur une bande de papier, les données sur une autre. Puis plusieurs lecteurs pour permettre les sauts conditionnels et les sous-programmes. En 1945, un insecte coince un relais provoquant un dysfonctionnement. C'est le premier *bug*.

L'ère de l'électronique I

- 1941, Atanasoff et Berry réalisent le premier ordinateur binaire à lampes : l'ABC (Atanasoff-Berry Computer). Considéré comme le premier ordinateur avec sa mémoire de 60 mots de 50 bits et son unité arithmétique et logique (programme non stocké).
- 1945, mise en service de l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator) proposé en 1942 par Prosper Eckert et John Mauchly. 19000 tubes, 1500 relais, 170 kW, 30 tonnes, 72m², 330 multiplications par seconde (500 fois plus rapide que Mark 1). Programmation (plusieurs jours) par fiches à brancher sur un tableau.

L'ère de l'électronique II

- 1945, John Von Neumann, consultant sur ENIAC, propose de coder le programme sous forme numérique et de l'enregistrer en mémoire \Rightarrow souplesse et rapidité.
- Des querelles de paternité et de brevets entre Eckert, Mauchly et Von Neumann retardent le projet EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer) devancé en 1948 par un prototype Manchester Mark 1, puis en 1949 par l'EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer) construite par Maurice Wilkes.
- 1948, William Shockley, John Bardeen et Walter Brattain inventent le transistor bipolaire qui remplacera les lampes dans les ordinateurs \Rightarrow fiabilité et rapidité : ordinateurs de seconde génération. La taille et la consommation diminuent.

L'ère de l'électronique III

- 1955, TRADIC est le premier ordinateur utilisant des transistors.
- IBM commercialise le premier disque dur. 5 disques de 61 cm de diamètre, 5 Mo. Il existe également des mémoires à tores de ferrite.
- DEC commercialise un mini-ordinateur en grande série, le PDP-8 (50000 exemplaires).
- Les années 1970 et les circuits intégrés correspondent à la troisième génération.
- 1971, l'Intel 4004 est le premier microprocesseur à 4 bits, et le premier circuit intégré comprenant une unité de calcul, de la mémoire et une gestion des entrées-sorties (2300 transistors). Un an plus tard, le 8008.

L'ère de l'électronique IV

- 1973, le premier micro-ordinateur, le Micral N est construit par une entreprise française R2E.
- On parle de quatrième génération depuis les années 80 avec le niveau d'intégration (densité et surface) des puces.

Plan

- 1 Architecture des ordinateurs
 - L'informatique d'aujourd'hui
 - Architecture générale et blocs fonctionnels
- 2 Historique
 - Calcul mécanique
 - Calcul électromécanique
 - L'ère de l'électronique
- 3 Premières notions d'architecture des ordinateurs
 - Les principaux composants
 - Les grands types d'architecture

Les principaux composants I

- Le processeur
- La mémoire
- Le bus
- Les dispositifs d'entrée/sortie

Le processeur I

- Unité de traitement qui réalise les instructions d'un programme.
- Réalise en boucle le cycle suivant :
 - 1 lecture de l'instruction
 - 2 décodage de l'instruction
 - 3 lecture des données de l'instruction (opérandes)
 - 4 exécution de l'instruction
 - 5 sauvegarde du résultat
 - 6 passage à l'instruction suivante
- Le processeur est composé de :
 - une **unité de commande** : permet de décoder et de séquencer l'exécution d'une instruction

Le processeur II

une unité arithmétique et logique : partie réellement opérative, réalise des opérations arithmétiques et logiques nécessitées pour l'exécution d'une instruction

registres : petites unités de mémoire interne au processeur et d'accès rapide. Certains de ces registres sont dédiés à certaines fonctions (compteur ordinal, registre de données, registres d'adresse, accumulateur. . .)

bus interne : ou chemin de données interne, permet de véhiculer les informations au sein du processeur.

- Les éléments du processeur sont cadencés au rythme d'une horloge.

Le processeur III

- A chaque cycle, se produisent des ouvertures ou fermetures de portes pour déplacer, lire, écrire, comparer, additionner. . . des données
- La fréquence est exprimée en Hertz (Hz).

La mémoire I

- Dispositif permettant de stocker des informations (données ou instructions).
- Écriture mémoire : mémorisation
- Lecture mémoire (destructive ou non) : restitution de l'information mémorisée.
- Une mémoire est caractérisée par :
 - sa capacité
 - son temps d'accès
 - son temps de cycle
- La cadence ou débit est le volume d'information par unité de temps.
- La mémoire est composée de cases ou cellules, chacune est identifiée par une adresse

La mémoire II

- Une adresse exprimée sur n bits permet de référencer 2^n cases mémoire.
- La capacité de la mémoire en puissances de 2, multiples de $2^{10} = 1024$, en bits, octets (byte) ou en nombre de mots mémoire.
- Les mémoires se caractérisent par la façon dont on accède à l'information :
 - accès aléatoire ou direct : Le temps d'accès ne dépend pas de l'adresse (RAM).
 - accès séquentiel : Lecture des éléments les uns après les autres jusqu'à arriver à l'éléments recherché (bande magnétique).
 - accès semi-séquentiel : disque-dur

La mémoire III

- Les mémoires sont dites volatiles lorsque l'information est altérée en cas de coupure d'alimentation électrique.
- Il existe une grande variété de dispositifs de mémorisation. Le débit est caractérisé par son temps d'accès, mais les mémoires à accès rapide sont les plus chères. Elles sont donc le plus souvent en nombre restreint.
 - Les registres : très rapides, internes au microprocesseur.
 - La mémoire cache : petit volume de mémoire incluse dans le processeur accessible rapidement.
 - La mémoire centrale : accessible par l'intermédiaire du bus (RAM et ROM).
 - Les mémoires de masse : accessible par l'intermédiaire de dispositifs d'entrée/sortie :
 - disques magnétiques : disque dur, disquette...

La mémoire IV

- Bandes magnétiques : utilisée pour la sauvegarde. Grande capacité mais temps d'accès très long.
- disques optiques numériques : CD, DVD

Le bus

- Moyen de communication entre les différents composants
- Composé de fils véhiculant des informations binaires
- Plusieurs parties :
 - Bus d'adresse : sert à indiquer les adresses des données à lire ou écrire
 - Bus de données : sert à véhiculer les données
 - Bus de contrôle : permet le contrôle des échanges.

Les entrées/sorties

Permettent à l'ordinateur de communiquer avec l'extérieur :

utilisateur : terminaux, écran, clavier, souris, imprimante, lecteur. . .

autres ordinateurs : interface réseau

autres appareils : appareils de mesure, actionneurs. . .

Architecture Von Neumann

- Processeur et mémoire sont liés par un bus.
- La mémoire contient les instructions des programmes et les données.
- Lecture :
 - 1 Le processeur affiche sur le bus d'adresse l'information demandée
 - 2 La mémoire positionne sur le bus de donnée l'information demandée
 - 3 Le processeur lit la donnée sur le bus de donnée
- Ecriture :
 - 1 Le processeur écrit la donnée sur le bus de donnée et l'adresse sur le bus d'adresse
 - 2 La mémoire lit ces informations et positionne à l'adresse lue la donnée.

Architecture de Harvard

- Mémoire divisée en 2 parties :
 - une pour les données
 - une pour les instructions
- 2 bus distincts
- Accès simultané \Rightarrow augmentation du débit