FICHE 17

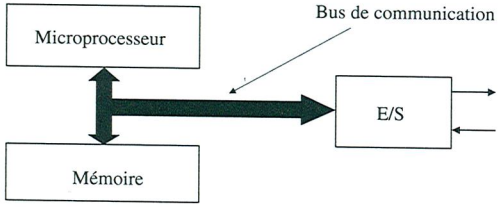
Architecture matérielle des systèmes informatiques

I Architectures de base

- **Définition**

Tout système informatique comporte au moins trois entités qui sont :
- le microprocesseur ;
- la mémoire ;
- les dispositifs d'entrée/sortie (interfaces avec l'écran, le clavier, la souris, les mémoires de masse, le réseau…).

La façon dont sont agencées ces trois entités de base s'appelle une architecture.
Il existe plusieurs types d'architectures.
L'architecture de base la plus répandue (car étant celle de la machine PC) est l'architecture de Von Neumann :

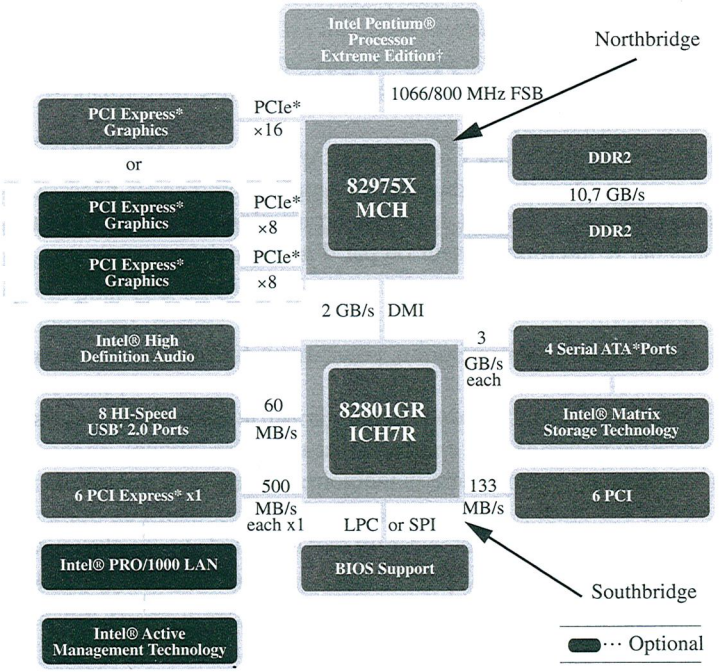


- **Bus de communication**

Les liaisons entre les trois entités de base d'une machine informatique se font à l'aide d'un bus de communication.
Un bus est un ensemble de n conducteurs qui véhiculent les signaux participant à la même fonction technique (représentation du mot binaire correspondant à la donnée, par exemple).
Le bus de communication est donc un chemin qui est partagé entre plusieurs unités du système : à un instant donné, une seule unité transmet une donnée sur le bus.
Dans le cas de l'architecture de Von Neumann, le bus de communication est unique (voir figure). Il va vite devenir un goulot d'étranglement : lorsqu'un dispositif d'entrée/sortie très lent va échanger des données, il occupera le bus obligeant les autres unités à attendre.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

C'est pourquoi d'autres architectures ont été développées qui sont toutes des architectures à bus multiples (architecture de Harvard, architecture DSP...).
Dans le cas de la machine PC, sa très grande diffusion implique aux nouvelles évolutions matérielles de rester compatibles au niveau logiciel : on n'achète pas forcément la machine avec la suite logicielle qui va avec, contrairement aux calculateurs industriels ou aux gros calculateurs.
De ce fait, l'architecture de la machine PC a évolué vers une architecture à bus multiples qui devait rester compatible au fonctionnement de l'architecture à bus unique, ce qui produit une architecture de compromis, aux performances plus réduites (voir document Intel ci-dessous) :



Remarques :

– Le chipset « *North Bridge* » interface les dispositifs rapides avec le microprocesseur ;
– Le chipset « *South Bridge* » interface les dispositifs relativement lents avec le microprocesseur ;

– La liaison « pont nord/pont sud » : ses caractéristiques dépendent des chipsets utilisés et correspond à une solution propriétaire (ici, bus DMI d'Intel) ;
– « DDR2 » désigne une technologie de mémoire principale où les accès mémoire se font sur le front montant et sur le front descendant de l'horloge.

- **Unités fonctionnelles du bus de communication**

Les fonctions techniques sous-tendues par la mise en œuvre des échanges sur le bus de communication ont amené les concepteurs d'architectures de systèmes informatiques à décomposer le bus de communication en trois unités fonctionnelles :
– le bus de données (ou *Data Bus*), qui est un bus bidirectionnel dont la taille est une des caractéristiques du microprocesseur de la machine ;
- le bus d'adresses (ou *Address Bus*), qui est un bus unidirectionnel (les signaux représentant l'adresse transitent du microprocesseur vers les autres unités du système) dont la taille est une caractéristique des performances possibles du système informatique ;
- le bus de commande (ou *Control Bus*), qui est un bus bidirectionnel à liaisons unidirectionnelles, il distribue les différentes commandes nécessaires au fonctionnement du système et à la synchronisation des échanges qu'elles soient émises par le microprocesseur ou par d'autres unités.

- **Adressage mémoire**

L'accès à un emplacement-mémoire, pour lire ou écrire une donnée, se fait par son adresse.
L'adresse est un mot binaire de n bits émis par le microprocesseur sur le bus de communication et désigne un emplacement-mémoire unique.
Traditionnellement, on considère la mémoire comme un ensemble de cellules de 1 octet (1 octet = 8 bits).
Une donnée peut être représentée par un mot binaire de un ou plusieurs octets. Une donnée peut donc occuper plusieurs cellules de 1 octet mais est désignée par une seule adresse. C'est l'organisation et la structure du matériel qui permettent ce fonctionnement.

Adressage binaire

1. bit pouvant prendre 2 états (« 0 » ou « 1 »), 1 bit peut donc désigner 2 emplacements-mémoire différents : l'emplacement-mémoire« 0 » et l'emplacement-mémoire « 1 ».
2 bits peuvent prendre 4 états (2^2), donc une adresse de 2 bits peut désigner 4 emplacements-mémoire différents (« 00 », « 01 », « 10 » et « 11 »).
Si l'adresse comporte n bits, on peut désigner 2^n emplacements-mémoire différents.
Si on ajoute 1 bit à l'adresse, on double l'espace-mémoire adressable.

- **Mise en œuvre des échanges**

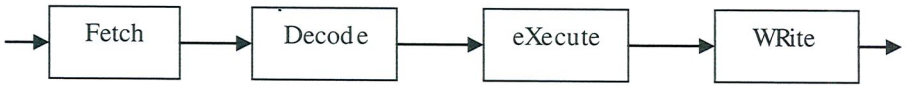
Pour accéder à un emplacement-mémoire, il ne suffit pas que de l'adresse. Il faut également disposer de signaux de commande indispensables à la chronologie d'une opération de lecture ou d'écriture de données en mémoire.
La notion de chronologie nécessite le recours à un signal d'horloge pour la gestion temporelle des échanges entre les différents éléments du système.
Il est également nécessaire d'activer une commande pour préciser s'il s'agit d'une opération de lecture ou d'écriture afin de positionner les structures électroniques des éléments concernés dans le bon sens (le bus de données est bidirectionnel).
C'est le microprocesseur qui est responsable de la mise en œuvre des échanges. C'est donc lui qui génère et active les différents signaux nécessaires à la mise en œuvre des échanges.

II Éléments de mise en œuvre

- **Le microprocesseur**

Élément fondamental de toute architecture informatique, le microprocesseur est responsable du traitement des données et des échanges entre les différentes unités du système.
Il comporte pour cela un certain nombre d'unités fonctionnelles que l'on retrouve systématiquement, parfois sous différentes formes, de par le fait que l'exécution d'une instruction se déroule pratiquement toujours en au moins quatre étapes principales qui sont :
- la recherche du code de l'instruction en mémoire (ou *Fetch*) ;
- le décodage de l'instruction et sa traduction en micro-commandes internes au microprocesseur (ou *Decode*) ;
- l'exécution de l'instruction (ou *eXecute*) ;
- l'écriture ou sauvegarde du résultat (ou *Write*).

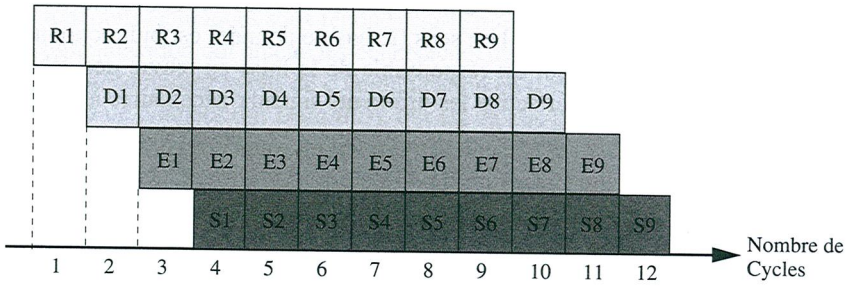
Chaque étape de l'exécution d'une instruction correspond à un ensemble d'opérations réalisées par des unités fonctionnelles du microprocesseur :



Le temps nécessaire pour passer d'une unité fonctionnelle à l'autre s'appelle le « cycle-machine ».
L'étude du diagramme des cycles-machines met en évidence le fait suivant : chaque unité fonctionnelle du microprocesseur est utilisée pendant une durée T et

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

est inutilisée pendant chaque durée T d'utilisation des autres unités fonctionnelles. Aussi, les concepteurs de microprocesseurs, afin d'accélérer le processus de traitement, ont cherché à faire travailler simultanément les différentes unités fonctionnelles, au prix d'un accroissement de la complexité de la structure : c'est la technique du « pipe-line ». La technique du « pipe-line » est une technique dans laquelle plusieurs instructions se chevauchent au cours de leur exécution.
Le diagramme temporel des cycles-machines du microprocesseur prend alors l'allure suivante :



Dans cette structure, la machine débute l'exécution d'une instruction à chaque cycle et le pipeline est pleinement occupé à partir du quatrième cycle. Le gain obtenu dépend donc du nombre d'étages du pipeline. En effet, pour exécuter n instructions, en supposant que chaque instruction s'exécute en k cycles d'horloge, il faut :

$n.k$ cycles d'horloge pour une exécution séquentielle ;

k cycles d'horloge pour exécuter la première instruction puis $n - 1$ cycles pour les $n - 1$ instructions suivantes si on utilise un pipeline de k étages.

Le gain obtenu est donc de :

$$G = nk/(k + n - 1)$$

Si le microprocesseur possède plusieurs « pipes », plusieurs ensembles d'exécution, on parle alors d'architecture superscalaire.

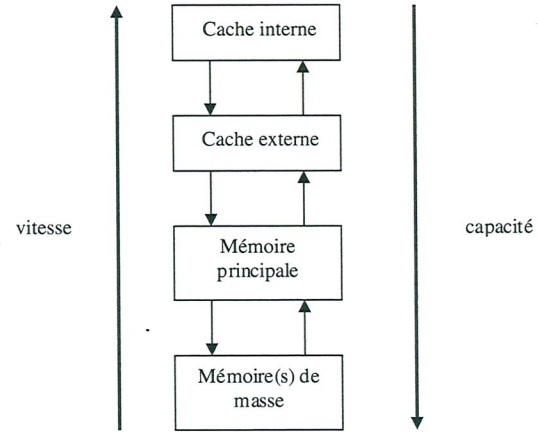
- **Mémoire**

Un dispositif mémoire est caractérisé par :
- son temps d'accès ;
- sa capacité ;
- sa technologie.

Les principales innovations technologiques pour améliorer les performances des systèmes informatiques ont essentiellement porté sur les microprocesseurs.
Mais, si celui-ci est plus efficace et plus rapide, il est nécessaire de l'alimenter en instructions.
Les instructions à exécuter par le microprocesseur sont situées en mémoire.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Les applications informatiques étant de plus en plus volumineuses en instructions, il est nécessaire de disposer de dispositifs mémoire de très grande capacité. Or, technologiquement, on ne sait pas réaliser des dispositifs mémoire de grande capacité et de temps d'accès très faible : il est plus facile de réaliser des dispositifs mémoire très rapide en petite taille. Inversement, la réalisation d'un dispositif mémoire de très grande capacité imposera un temps d'accès important (c'est le cas des disques durs, par exemple).
Pour pallier à ce problème, les concepteurs d'architectures de système informatique ont élaboré le concept de « hiérarchie-mémoire ».
La réalisation d'une hiérarchie-mémoire dans un système informatique repose sur un axiome simple de la conception du dispositif mémoire : *le plus rapide est le plus petit*.
Le microprocesseur a besoin d'être alimenté en instructions souvent : il fera alors sa recherche d'instruction dans un dispositif mémoire rapide, au temps d'accès très court, la mémoire cache. Mais, pour obtenir des mémoires rapides, il faut faire « petit » afin de limiter les délais dus à la propagation des signaux dans le dispositif. La mémoire cache n'aura donc pas une taille suffisante pour toujours contenir l'ensemble des instructions d'une application.
Le cache sera donc alimenté par la mémoire principale, de plus grande capacité mais d'un temps d'accès plus grand.
De même, la mémoire principale sera alimentée par le dispositif de mémoire de masse, comme le disque dur.
L'ensemble constitue la hiérarchie-mémoire :



L'efficacité d'une hiérarchie-mémoire repose sur la qualité de la gestion des trois dispositifs mémoire en faisant en sorte que le microprocesseur puisse accéder systématiquement à l'instruction dans le cache lorsqu'il en fait la demande, sans être

obliger d'attendre que l'instruction demandée soit réactualisée par la mémoire principale, ou pire encore par la mémoire de masse.

- **Dispositifs d'Entrée/Sortie**

Tout système informatique ne peut fonctionner sans dispositifs d'E/S.
Les dispositifs d'E/S sont très diversifiés et permettent l'échange de données avec l'environnement du système informatique, ou « périphérie ».
Au niveau matériel, on appelle « interface » tout dispositif dont le rôle consiste à adapter le flux d'informations spécifique du périphérique interfacé au système informatique.
L'interface doit jouer deux rôles :
- renseigner le microprocesseur de l'état du périphérique ;
- assurer l'échange des données avec le microprocesseur suivant le protocole d'échanges imposé par ce dernier.

L'interface comporte, pour ce faire, un certain nombre d'entités appelées « registres » qui sont à configurer ou à lire et écrire pour l'échange des informations nécessaires.

III Mise en œuvre des E/S

- **Fonctions techniques de base**

Tout système informatique présentera un certain nombre de dispositifs d'E/S mettant en œuvre les fonctions techniques de base.
Dans les applications industrielles, les fonctions techniques de base sont traditionnellement classées en quatre catégories :
- interface parallèle d'entrées/sorties numériques ;
- interface timer ;
- interface de conversion analogique/numérique et/ou de conversion numérique/analogique ;
- interface de communication série et interface de communication réseau.

- **Fonctions techniques spécifiques**

Certaines applications industrielles nécessitent de pouvoir disposer de fonctions techniques spécifiques. Parmi celles-ci, on peut citer :
- interface de commande de moteur DC ou pas à pas ;
- interface IEEE-488 (instrumentation de mesure) ;
- interface à isolation galvanique (par opto-coupleurs ou relais électromagnétiques) ;
- interfaces spécifiques à certains bus de terrain (I2C, X10, CAN…).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

- **Interfaçage**

Pour pouvoir lire ou écrire des données sur un dispositif d'E/S, plusieurs méthodes sont possibles pour mettre en œuvre l'interfaçage :
- la scrutation logicielle ;
- l'interruption matérielle ;
- l'accès direct en mémoire ou DMA (pour *Direct Acces Memory*).

L'interfaçage par scrutation logicielle est une méthode simple à mettre en œuvre. Elle consiste à faire opérations régulières de lecture sur un registre spécifique du dispositif d'E/S, appelé « registre d'état » (ou *Status Register*).
Dans ce registre, un certain nombre de bits sont positionnés suivant « l'état » du périphérique interfacé. La lecture du registre permettra donc de prendre en compte un état particulier (par exemple, « donnée reçue » ou « conversion terminée »).
La mise en œuvre de la scrutation logicielle amène le programme principal à lire régulièrement le registre d'état du périphérique concerné : il y a donc une perte de temps machine. Cet aspect de la méthode constitue son inconvénient majeur : si le nombre de dispositifs à scruter est important, le programme principal occupera toutes les ressources de la machine pour faire la scrutation et n'aura plus de temps pour exécuter son traitement.
La méthode par interruption matérielle présente l'avantage d'être à l'initiative du dispositif d'E/S : celui-ci génère un signal dit de « demande d'interruption » ou « IRQ » (pour *Interrupt Request*) lorsqu'un événement (défini par programme) se produit. Le signal sera détecté par le microprocesseur sur son entrée de demande d'interruption. L'avantage de la méthode par interruption devient alors évident : on demande au microprocesseur de s'occuper du dispositif d'E/S uniquement lorsque cela est nécessaire. Par contre, la mise en œuvre est plus délicate au niveau du programme.
Interrompre une séquence d'instructions (le « programme principal ») ne peut se concevoir que si l'état du microprocesseur est sauvegardé afin qu'il puisse reprendre ces travaux-là où il a été interrompu. C'est la « sauvegarde du contexte ».
L'accès direct en mémoire concerne les transferts de gros flux de données (échanges entre le disque dur ou le réseau et la mémoire, par exemple) pour lesquels il devient inconcevable de monopoliser les ressources du microprocesseur pour gérer ces échanges de données. Les échanges sont alors gérés par un circuit spécifique appelé « contrôleur de DMA ».

- **Dispositifs industriels de mise en œuvre des E/S**

La mise en œuvre des dispositifs d'E/S en automatismes industriels peut s'effectuer à partir :
- de cartes industrielles au format propriétaire (bus VME, CompactPCI…) ;
- de systèmes PC industiels ;
- d'automates programmables industriels.

VME est bien implanté, de part ses caractéristiques, en automatismes industriels et dans les applications militaires. CompactPCI a comme domaine d'application privilégié les télécommunications.
Les systèmes à base de PC industriels offrent l'avantage d'un très bon rapport qualité/prix et d'un vaste choix de logiciels tout en permettant de s'affranchir de solutions de mise en œuvre dites propriétaires. Mais la technologie est peu stable ce qui rend les solutions peu pérennes.
Les automates programmables industriels ne se distinguent pas vraiment des bus industriels, comme VME ou CompactPCI. Leurs avantages se situent dans leur robustesse, la présence d'E/S dédiées à la commande de puissance, au pneumatique.
Ainsi, le débat entre systèmes à cartes et automates pour la mise en œuvre des automatismes industriels est loin d'être clos.

Application

Extrait BTS Systèmes Électroniques
Au pied des pistes d'une station de montagne, se trouve un panneau d'affichage électronique commandé par un calculateur industriel, relié à distance par modem à un ordinateur de type PC. Le panneau affiche un certain nombre d'informations (heure, température extérieure, consignes de sécurité, état des pistes, messages...).
La liaison entre le panneau et le calculateur est une liaison parallèle. Le calculateur effectue la mesure de la température, de la force et de la direction du vent au moyen de capteurs appropriés. La température est mesurée par un capteur à semi-conducteur délivrant une tension de 20 mV/°C. La force du vent est mesurée par un anémomètre à disque qui fournit un signal numérique dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de rotation du disque. La direction du vent est fournie par une girouette dont l'électronique délivre un mot binaire de 4 bits, image de la direction du vent. De plus, le calculateur effectue un comptage des skieurs à l'entrée des télésièges à partir de barrières photo-électriques.
Établir les besoins du calculateur en E/S en précisant la nature de l'interface.

Solution

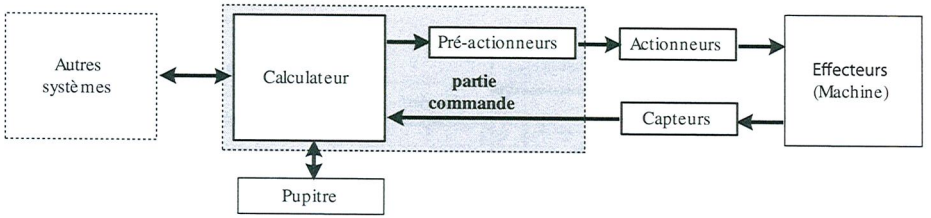
Dispositif	Interface retenu
Panneau d'affichage	E/S numériques
Modem	Interface de communication série
Capteur de T°	Convertisseur Analogique-Numérique
Anémomètre	Interface Timer
Girouette	E/S numériques
Barrières photo-électriques	Interface Timer

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

FICHE 18

Automates Programmables Industriels

L'organisation générale d'un système automatisé reprend le schéma suivant :



Il est constitué :

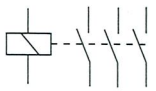
- d'un calculateur, organisé le plus souvent autour d'un automate programmable. Il est destiné :
  - à orchestrer les actions sur la partie opérative et à surveiller son bon fonctionnement ;
  - à prendre en charge le dialogue avec les différents intervenants ;
  - à communiquer avec d'autres systèmes.
- de capteurs qui fournissent une image de l'état de la partie opérative ;
- d'actionneurs (moteur, vérin, etc.) qui convertissent l'énergie afin de l'adapter au besoin des effecteurs ;

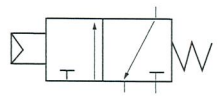


Moteur triphasé


Vérin simple effet

- de pré-actionneurs (contacteur, distributeur, etc.) qui adaptent le niveau électrique disponible en sortie de la partie commande au besoin des actionneurs.


Contacteur


Distributeur pneumatique