

Cours SET (Master 1 ST)

Chapitre 1 : Introduction aux systèmes embarqués

1.1 Définition des systèmes embarqués et fonctionnalités :

Définition

Un système embarqué est défini comme un système électronique et informatique autonome, spécialisé dans une tâche bien précise. Il contient généralement un ou plusieurs microprocesseurs destinés à exécuter un ensemble de programmes définis lors de la conception, ces programmes sont stockés dans des mémoires. Les systèmes embarqués comportent souvent des contraintes temps réel, de plus que leurs ressources sont généralement limitées.

Fonctionnalités

Un système embarqué est un système complexe qui intègre du logiciel et du matériel conçus ensemble afin de fournir des fonctionnalités données. L'attrait principal des systèmes embarqués vient du fait qu'ils permettent d'implémenter à faible coût des fonctions complexes dont la réalisation était inimaginable il y a quelques années seulement. Aujourd'hui, la tendance générale est d'utiliser les systèmes embarqués pour incorporer des fonctionnalités complexes.

1.2 Historique des systèmes embarqués :

Fin des années 1940 : premier processeur (Whirlwind au MIT)

Années 1960 : systèmes de guidage

- I Systèmes de guidage des missiles Minuteman (1961) et Minuteman II (1966)
- I Systèmes de guidage des capsules Apollo (1966)
- I développement de circuits intégrés

Années 1970 : premiers microprocesseurs et microcontrôleurs

- I Intel 4004 (1971) : microprocesseur conçu pour calculatrices et autres petits dispositifs
- I Texas Instrument TMS 1000 (1974) : premier microcontrôleur, combinant un microprocesseur, de la mémoire et des lignes d'entrée/sortie

Années 1980-1990 : développement des systèmes d'exploitation

- I QNX (1982) : système d'exploitation temps réel commercial, reconnu pour sa stabilité
- I VxWorks (1987) : un autre système d'exploitation temps réel commercial
- I Linux (1991) : clone de Unix, open source

Années 1990 à aujourd'hui : avènement d'une industrie nouvelle, utilisant la puissance, la miniaturisation et la robustesse des puces électroniques pour rendre intelligents, communicants et sûrs tous les objets de notre quotidien

1.3 Spécificités d'un système embarqué :

- Exécution temps réel (souvent) : Les systèmes embarqués fonctionnent généralement en Temps Réel (TR) : c'est-à-dire qu'au moment où on excite le système on a une réponse
- Dédié à une application spécifique

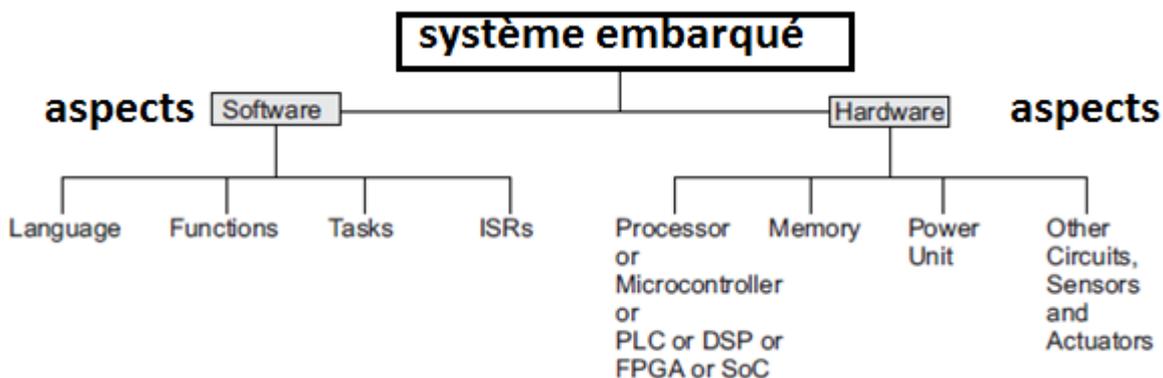
- Coût réduit, maximisation rapport performance/prix : utilisation de faibles capacités mémoires et de petits processeurs (4 bits ou 8 bits), mais en grand nombre
- Volume restreint (compact, pas modulaire)
- Capacité de calcul appropriée à l'application ainsi la consommation d'énergie est maîtrisée
- Fiabilité et sécurité de fonctionnement
- Capacité mémoire adaptée

Différences avec un ordinateur de bureau :

- L'interface IHM (Interface Homme machine) est adaptée selon l'application (leds et boutons jusqu'à un écran tactile).
- Généralement: pas de clavier, écran réduit.
- Le système embarqué dispose de périphériques et capteurs spécifiques pour son application:
 - Carte SD, mémoire flash, ...
 - Wifi, Bluetooth, module GSM-GPS, ...
 - Température, pression, actionneurs (moteurs, ...).

1.4 Aspects matériels et logiciels des systèmes embarqués :

Un système embarqué est une combinaison de matériel informatique et de logiciel, soit fixe, soit programmable, conçu pour une fonction spécifique ou pour des fonctions spécifiques au sein d'un système plus important. Ainsi, un système embarqué se compose de hardware et de software travaillant en collaboration.



a) Aspect matériels :

- Le processeur et les DSP ,FPGA :

Il y a tout d'abord le *processeur* (*CPU : Computer processing Unit*), notamment caractérisé par son *jeu d'instructions*, c'est-à-dire l'ensemble des instructions qu'il est capable d'exécuter, par sa *fréquence d'horloge* (Hz) et au nombre d'instructions exécutables par secondes (MIPS). Ces deux dernières caractéristiques permettent d'établir ses capacités et sa puissance de calcul.

On retrouve également des *circuits spécifiques* : *DSP : Digital Signal Processing*, *FPGA : Field programmable gate array*) qui implémentent des fonctions directement câblées en hardware. Ce

deuxième type d'unité de calcul est moins générique, mais plus rapide, performant et généralement plus compact que les processeurs.

- Mémoire : Un autre type de composant que l'on retrouve dans tous les systèmes embarqués est la *mémoire*. Il existe de nombreux types de mémoire pouvant être permanentes ou volatiles, internes ou externes. Concernant les systèmes embarqués, on retrouve notamment les trois types suivants :

-La *Read-Only Memory* (mémoire morte, ou mémoire à lecture seule) (ROM) est une mémoire permanente et en lecture seule utilisée pour stocker le programme exécuté par le système embarqué. Le processeur y récupère les instructions à exécuter. On y retrouve également d'autres données comme le code de démarrage et d'initialisation du système, des pointeurs vers une série de routines, etc.

-La *Random-Access Memory* (mémoire vive, ou mémoire à accès aléatoire) (RAM) est une mémoire volatile utilisée comme mémoire de travail. Elle stocke les variables créées par le programme et est utilisée comme mémoire tampon d'entrée/sortie pour le traitement de son ou d'images, par exemple.

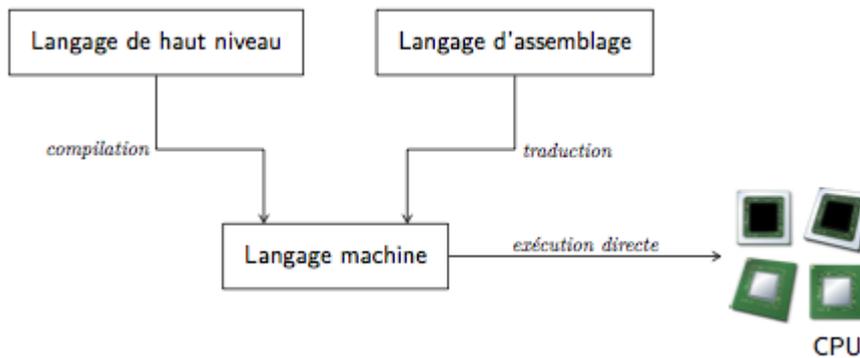
-Enfin, l'*Electrically Erasable Programmable ROM* (mémoire ROM effaçable électriquement) (EEPROM) est une mémoire permanente, mais dont le contenu peut être modifié en flashant la mémoire à l'aide d'un procédé électrique. On l'utilise notamment comme mémoire cache, pour stocker une copie des instructions et données chargées à l'avance depuis une mémoire externe ou des résultats temporaires de calculs pour du traitement rapide.

- Unité d'alimentation : Plusieurs options sont possibles pour *alimenter en énergie* un système embarqué. S'il ne doit pas être portable, on peut utiliser un adaptateur secteur AC/DC et sinon, il peut être alimenté par une batterie. Dans les deux cas, plusieurs plages de fonctionnement doivent être disponibles pour les éventuels besoins différents des composants d'un même système embarqué.
- Autre circuit capteur actionneur : Le système embarqué doit être capable de communiquer avec des *dispositifs externes*, comme des capteurs, boutons et circuits transducteurs, à travers des ports d'entrée. Ces différents dispositifs sont identifiés par des ports possédant une adresse. Dans l'autre sens, la communication d'information vers le monde extérieur se fait via des ports de sortie. Des exemples de sorties sont les LEDs, écrans LCD, etc. Un port de sortie est également identifié par une adresse.

b) Aspect logiciel : Le software est la partie la plus importante d'un système embarqué, du moins pour ceux basés sur un processeur. En effet, il représente la fonction réalisée par le système, son cerveau en quelque sorte. Un système embarqué est aussi un *système réactif*, c'est-à-dire qu'un comportement sera exécuté en réaction à des événements provenant de son environnement.

- Language de programmation : Un système embarqué doté d'un processeur a besoin de *code* pour faire quelque chose. Ce dernier est placé dans une mémoire accessible par le processeur afin de pouvoir être exécuté, instruction par instruction. Typiquement, le software d'un système embarqué sera présenté sous la forme d'une *image ROM*, définitive et non modifiable. Pour chacun des emplacements mémoire, il faut en définir le contenu binaire représentant des instructions à exécuter. Ces instructions sont écrites en respectant le jeu d'instructions du processeur utilisé. Il existe trois principaux langages : le *langage d'assemblage*, *langage de haut niveau* (par exemple le langage C), et le langage machine. La

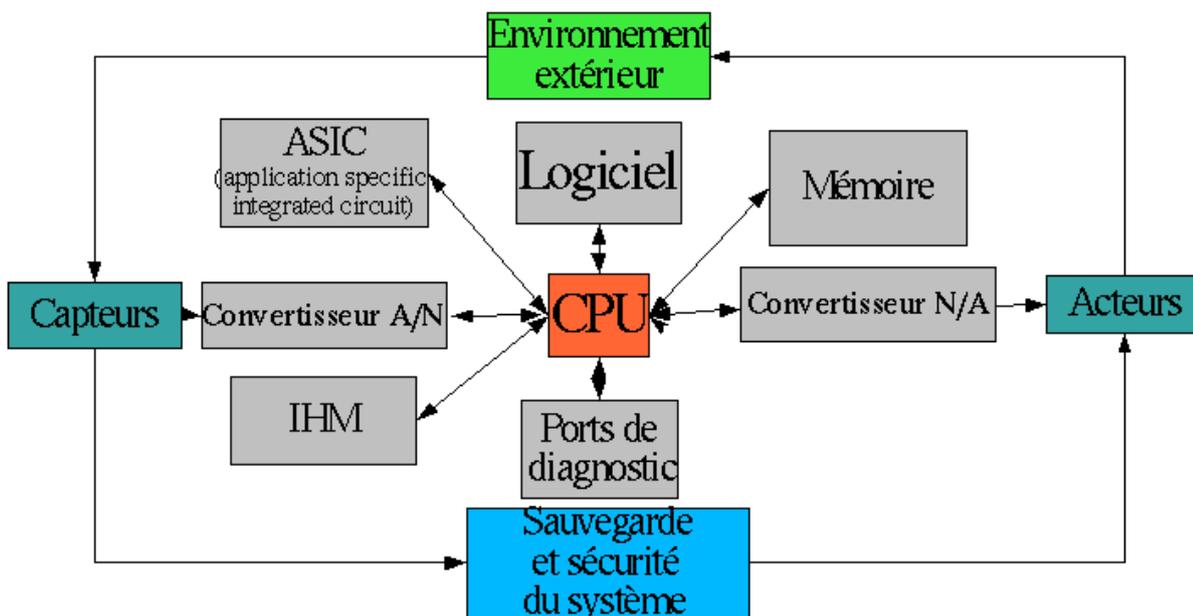
figure suivante résume les trois principales possibilités de programmation d'un système embarqué :



- Fonctions et tâches : les systèmes embarqués remplissent des fonctions diverses selon leur type d'application afin de répondre aux besoins spécifiques : par exemple un distributeur automatique remplit la fonction d'émettre de l'argent au propriétaire.
- ISR : Les événements peuvent interrompre le processus cyclique en déclenchant une interruption. La routine de service d'interruption (abréviation en anglais : ISR) est ainsi appelée en temps réel pour traiter l'événement. Le déroulement du programme devient ainsi quasi parallèle et événementiel.

1.5 Description fonctionnelle et architecture des systèmes embarqués :

Le modèle fonctionnel décrit un système à travers un ensemble d'éléments fonctionnels en interaction. L'architecture d'un système embarqué se définit par le schéma suivant:



l'architecture de base est la plupart du temps composée d'une unité centrale de traitement (CPU), d'un système d'exploitation qui réside parfois uniquement en un logiciel spécifique (ex: routeur), ou une boucle d'exécution (ex: ABS).

Le fonctionnement du système se résume ainsi:

- Il reçoit des informations de l'environnement extérieur qu'il convertit en signal numérique
- L'unité de traitement composée du CPU, de la mémoire, du logiciel, de l'ASIC et éventuellement de systèmes externes traite l'information

- Le traitement génère éventuellement une sortie qui est envoyée vers la sortie, les ports de monitoring ou l'IHM (Interface Home Machine).

1.6 Exemple de systèmes embarqué :

Systemes temps-réel embarqués

Domaines d'application

- **Produits de grande consommation**
 - Cafetière, machines à laver, fours à micro-onde
- **Electronique grand public**
 - Caméras numériques, appareils photo numérique
 - Multimédia, téléphonie : décodeurs vidéo,
 - téléphones portables, PDA, consoles de jeu
- **Automobile**
 - Systèmes anti-blocage de freins,
 - contrôle moteur, informatique de confort
- **Contrôle de procédés industriels**
- **Avionique, spatial, production d'énergie (nucléaire)**
- **Périphériques informatique** : FAX, imprimantes