Les systèmes embarqués et les tendances technologiques: une évolution constante, une innovation continue !

Vasiliki Sfyrla

Une approche des systèmes embarqués

Les systèmes embarqués existent depuis longtemps. L'Apollo Guidance Computer, développé en 1961 au laboratoire d'instrumentation du MIT, est le premier système embarqué. Il était utilisé en temps réel par les astronautes afin de recueillir et de fournir des informations sur le vol, mais aussi pour effectuer des contrôles automatiques de toutes les fonctions de navigation du vaisseau spatial. De nos jours, on retrouve des systèmes embarqués « cachés » dans de nombreux objets de la vie quotidienne : les téléphones portables, les lecteurs MP3, les imprimantes, le GPS, le PDA, les appareils médicaux, les robots, les systèmes de transport, etc. Chacun d'entre nous utilise environ 250 puces par jour. Rien qu'une voiture contient à elle seule au moins 20 systèmes embarqués : les systèmes de freinage, le contrôle du moteur, le contrôle des fenêtres, l'ABS (Anti-lock braking system), etc.

Les systèmes embarqués sont en forte croissance. Plus de 95% des puces produites aujourd'hui, le sont pour être intégrées au sein de systèmes embarqués. Ces systèmes jouent un rôle de plus en plus important dans de nombreux domaines d'applications. On citera par exemple le domaine de la santé avec la conception des technologies innovantes pour construire des systèmes de soin pour détecter des comportements anormaux, comme les chutes, des comportements inattendus qui peuvent être liés à un problème de santé, l'aide à l'autonomie des personnes dépendantes en raison de maladie ou de handicap, l'aide au diagnostic ou à l'acte chirurgical. Dans le domaine de la domotique, on citera des systèmes embarqués qui sont intégrés à des équipements afin d'apporter une surveillance intelligente d'une maison, économiser l'énergie, contrôler le stock des aliments, etc.

On peut définir les systèmes embarqués comme des composants électroniques issus de la combinaison de matériel, de logiciel qui interagissent avec l'environnement. Ils sont modélisés pour effectuer des tâches spécifiques plutôt que des tâches multiples comme c'est le cas pour les systèmes traditionnels tel que l'ordinateur. Contrairement aux systèmes traditionnels qui utilisent des fonctions pour transformer des données d'entrée en des données de sortie, les systèmes embarqués doivent prendre en compte, en plus des données en entrée, des contraintes physiques.

En général les systèmes embarqués ne sont pas autonomes et font partie d'un système plus grand. La plupart des systèmes embarqués se composent de parties dédiées à des tâches spécifiques. C'est le cas par exemple des systèmes d'ouverture des fenêtres ou de l'ABS dans une voiture. Le fait de faire partie d'un système plus grand oblige les systèmes embarqués à avoir une petite taille et un poids négligeable afin d'éviter un surcoût de production de ces systèmes.

La plupart des systèmes embarqués étant alimentés par des batteries, il est aussi très important d'être en mesure de minimiser leur consommation énergétique afin d'assurer leur fonctionnement le plus longtemps possible.

Exigences fonctionnelles

Les systèmes embarqués fonctionnent en général en temps réel. Les opérations de ces systèmes sont faites en réponse à un évènement extérieur. Les opérations doivent avoir lieu dans des délais précis et avant une date, appelée échéance, afin de garantir le bon fonctionnement du système. Ces délais sont définis selon l'application et ainsi on distingue deux types de systèmes embarqués. En premier, les systèmes temps réel stricts où le non-respect des échéances peut avoir des conséquences graves sur le fonctionnement du système ou sur son environnement. Par exemple, les systèmes embarqués utilisés dans les moyens de transports ou les systèmes embarqués utilisés pour des opérations de contrôles dans le milieu industriel interagissent en permanence avec leur environnement et à une vitesse imposée par ce dernier. Ensuite, les systèmes temps réel où le non-respect des échéances ralentit le système sans conséquences graves. Par exemple une défaillance dans un distributeur automatique de billets. Ces systèmes doivent répondre au mieux et le plus rapidement possible.

En même temps, les systèmes embarqués sont utilisés dans des applications de plus en plus critiques dans lesquelles leur dysfonctionnement peut générer des nuisances, des pertes économiques ou des conséquences inacceptables pouvant aller jusqu'à des pertes en vies humaines. Prenons par exemple le cas de l'équipement médical ou du système de freinage d'une voiture, la moindre défaillance de ces systèmes peut avoir de très graves conséquences pour les biens et les personnes. Ce type de systèmes doit garantir une très haute fiabilité et doit réagir en cas de panne de l'un de ses composants.

Enfin, la sécurité des systèmes embarqués est critique et les besoins de sécurité deviennent encore plus intenses avec l'intégration des systèmes embarqués dans « l'informatique en nuage » (Cloud computing). Le terme sécurité réfère ici à la protection contre les attaques malveillantes soit physiques soit à distance.

Exigences extra-fonctionnelles

Les systèmes embarqués doivent satisfaire à certaines *exigences techniques* telles que:

- Réactivité : réagir dans des délais connus et garantis.
- Autonomie : être capables de fournir des services sans intervention humaine.
- Robustesse : garantir un minimum de services dans tous les cas en dépit des erreurs éventuelles d'exécution ou des défaillances possibles du matériel.

Les systèmes embarqués doivent aussi satisfaire des *exigences de type économiques* :

- Rapport coût/efficacité : ils doivent garantir fonctionnalité et qualité à un coût de construction acceptable

Recherche sur les systèmes embarqués

Comme nous l'avons vu plus haut, les systèmes embarqués diffèrent des systèmes traditionnels du fait qu'ils sont très fortement dépendants de leur environnement. On a bien compris que les systèmes embarqués doivent effectuer des opérations critiques, en temps réel et dans n'importe quel type de conditions environnementales. Il est bien évident que tels systèmes sont des systèmes complexes qui doivent garantir la sureté à tout prix, même en cas de conditions extrêmes.

Le domaine « Systèmes Embarqués » fait apparaître la nécessité d'une analyse spécifique des systèmes complexes critiques répondant à des exigences de qualité et de sûreté de fonctionnement très strictes. Il est impératif de définir des méthodes et des outils rigoureux pour la conception des systèmes embarqués. La recherche sur les systèmes embarqués est vaste et aborde des aspects variés tels que :

- Modélisation : Conception du logiciel embarqué, méthodes et langages de programmation et de spécification, modèles à base des composants.
- Architecture : Conception de l'architecture, exploration et optimisation, interaction de matériel/logiciel, architecture des systèmes à grandes échelles, systèmes multiprocesseurs.
- Analyse : Méthodes de simulation, de validation et de vérification formelle, analyse temporelle, analyse de puissance, analyse de temps d'exécution, optimisation, correction, exigences de sécurité.
- Implémentation : Modèle de transformation en plateformes d'exécution spécifiques, compilateur, génération du code, simulation.

Nous focalisons nos recherches sur l'étude des systèmes embarqués complexes. La construction de ces systèmes pose un grand nombre de problèmes : par exemple, comment s'assurer qu'un système respecte un certain nombre de propriétés telles que faisabilité, , sureté, réactivité, disponibilité, confidentialité (si nécessaire) et qu'il soit aussi optimal par rapport à la consommation d'énergie, au coût, au temps de développement, etc... Pour construire de bons systèmes, il faut utiliser de bonnes pratiques de conception des systèmes, par exemple la conception par modélisation et à base de composants. Selon ces problématiques, on définit les thèmes de recherche suivants:

- *Modélisation à base des composants :*

  De nos jours, les systèmes hétérogènes apparaissent partout sous forme de systèmes embarqués (répondeurs, TVs, caméscopes, fours, PDAs, ABS, etc.). Ces systèmes sont fréquemment composés de parties différentes et hétérogènes (numériques, analogiques, mécaniques, etc.) et ils doivent satisfaire de nombreuses contraintes : temps, consommation d'énergie (portable, PDA), sécurité (automobile, avion), poids et taille. Ils peuvent avoir des comportements différents liés à leur nature ou à l'environnement dans lequel ils évoluent. Ces systèmes deviennent de plus en plus complexes, ce qui se traduit au niveau de l'architecture par la croissance du nombre de composants, de la taille du code embarqué et de la puissance de calcul. La modélisation de ces systèmes doit donc englober l'ensemble de ces caractéristiques.
  Pour ce faire, on explore différentes approches fondées sur le modèle des composants pour modéliser ce type de systèmes. Cela, afin de permettre une réutilisabilité à tous les niveaux

(objet, composant, fonctionnalité, comportement, etc.) et facilitera ainsi la prise en compte de l'hétérogénéité des systèmes et la gestion de leur complexité croissante.

- *Vérification des systèmes embarqués* :

  La majorité des systèmes embarqués qui sont extrêmement complexes et hétérogènes assurent des fonctions de sécurité et de confort. Ils sont constitués de parties électroniques qui communiquent avec des composants physiques de différentes natures (mécanique, mécanique des fluides) et des applications logicielles. Le problème pour les concepteurs d'un tel système est que les outils de développement et de vérification disponibles ne sont pas capables de traiter l'hétérogénéité des interfaces entre le monde analogique et le monde numérique. C'est pourquoi une stratégie de vérification globale reste à définir.
  Notre but est de proposer des méthodes, techniques et outils en mesure d'optimiser les coûts et d'attester de la fiabilité de systèmes complexes.

- *Gestion de l'énergie* :

  Dans la conception d'un système embarqué qui a des contraintes temps réel, ils existent plusieurs attributs dont le développeur doit tenir compte. La gestion de l'énergie est évidemment un tel attribut, surtout pour les systèmes sur puce car nous n'avons pas la possibilité d'agir directement et instantanément sur les ressources disponibles.
  D'autre part, la gestion thermique est cruciale puisqu'elle permet d'affiner la gestion de l'énergie mais également d'optimiser le comportement du circuit par rapport aux performances souhaitées tout en minimisant l'augmentation de la température. Ainsi, on constate que se développent de plus en plus des méthodes pour gérer l'énergie soit au niveau du composant lui-même, soit au niveau du matériel en général, soit encore au niveau applicatif avec le développement de standards matériels.
  Ce thème de recherche consiste, entre autres, à étudier et développer des modèles formels pour la gestion de l'énergie dans les systèmes sur puce et permettre aux constructeurs de réduire la consommation dans leurs circuits.

- *Technologies et signaux radiofréquences* :

  Les systèmes embarqués sont des dispositifs intelligents qui ont des puissances de calcul de plus en plus grandes, et dont les moyens de communication leur permettent d'interagir avec le monde environnant. Leur forme peut se varier, des plus petits (étiquettes électroniques (dites TAG) placées sur des objets ou sous la peau (reconnaissance/ comptage d'animaux)) jusqu'aux plus gros (satellites), en passant par les téléphones portables, PDA, montres, vêtements, appareils électroménagers, consoles de jeux vidéo, automobiles, etc. Ils sont munis de capteurs, d'actionneurs, d'écrans tactiles et de dispositifs de communication reliés à un microcontrôleur ou un microprocesseur qui fonctionne avec un système d'exploitation temps réel.
  Cette voie de recherche a pour objectif d'étudier des problématiques liées à la conception de tags et la caractérisation expérimentale des paramètres fonctionnels.

Le positionnement de VISEO vis-à-vis des technologies embarqués

Les systèmes embarqués sont un des domaines des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication les plus porteurs en termes de génération d'applications innovantes.

On l'a vu, les systèmes embarqués ne se limitent pas au domaine des systèmes temps réel critiques liés aux applications classiques du transport, des téléphones portables. Ils touchent aussi de très nombreux autres domaines qui embarquent du matériel et du logiciel complexe à réaliser en résolvant les contraintes fortes de prix, sécurité, fiabilité, efficacité et de qualité de services offerts comme : les cartes à puce, la mobilité, la gestion des immeubles, la gestion des énergies, l'intelligence ambiante, le contrôle-commande et les applications tournées vers la personne.

Aujourd'hui toute entreprise innovante traitant de systèmes d'informations doit être en mesure d'offrir à ses clients des technologies pour la mise en place d'applications embarquées sûres et développées de manière sécurisée. Parmi ces applications on peut citer des technologies pour la santé, des technologies mobiles, des technologies pour l'aide à l'autonomie des personnes dépendantes etc.

Le groupe VISEO, grâce à ses recherches en systèmes embarqués va pouvoir élargir son offre et proposer à ses clients de nouvelles technologies dans différents domaines. Nous proposons quelques études de cas :

- *Développement de fiabilité assurée de logiciel médical*

  Le but est d'effectuer une étude sur la vérification et la validation de systèmes critiques (c'est-à-dire les systèmes dont le dysfonctionnement aurait des conséquences graves) en mettant l'accent sur l'équipement médical. Nous nous intéressons à améliorer la fiabilité des systèmes critiques tels que les systèmes médicaux. La plupart du temps les dysfonctionnements sont causés par des défauts logiciels qui ont été introduits lorsque des modifications ont été apportées au logiciel après sa distribution initiale. Différentes pratiques de génie logiciel telles que la vérification et la validation jouent un rôle important pour éviter de tels défauts. La vérification est utilisée au niveau du modèle pour démontrer le fonctionnement correct du logiciel. Lorsque la vérification peut ne pas être effectuée compte tenu du niveau de détails du modèle, le logiciel est validé au niveau de l'intégration, c'est à dire que son fonctionnement est rapporté aux besoins et exigences des utilisateurs de façon à prouver sa correction. Une autre direction est le développement de façon systématique des méthodes pour démontrer ces propriétés et améliorer des outils déjà existants afin de satisfaire les défis rencontrés par des études de cas spécifiques.

- *Mobilité et le nuage* :

  Le but est de concevoir des solutions mobiles qui facilitent le travail des commerciaux au quotidien. Telles applications peuvent être des outils qui peuvent faciliter certains processus et répondre à des besoins réels. Parmi ces besoins on citera : géolocalisation du commercial pour voir les clients à et les entreprises de livraisons à proximité pour mieux organiser sa tournée et sa prise de commandes, sa faire la promotion de ses produits avec des photos, des vidéos, des zooms etc.

Ces technologies gèrent la mobilité des personnes et des produits pour créer un flux optimal d'informations entre toutes les entités. Les bénéfices sont multiples : amélioration de processus de vente, réductions des coûts, augmentation des prises de commande, amélioration de l'image de l'entreprise en montrant un aspect dynamique, etc.

Aujourd'hui, le nuage informatique joue un rôle très important dans le domaine des technologies mobiles grâce à ses nombreux avantages comme l'agrégation des données, l'accès aux données difficiles à atteindre physiquement ou de la possibilité qu'il offre d'en effectuer des traitements complexes etc. En revanche avec l'informatique en nuage les risques peuvent être plus élevés ; il est donc important d'intégrer la sécurité dans ces différents couches afin d'assurer le bon fonctionnement de chaque système.