

L'INJECTION DE L'INFORMATIQUE DANS TOUS LES APPAREILS

Capacité à assurer des fonctions critiques et à mêler des composants hétérogènes, autonomie, réactivité... En insérant l'informatique dans les moindres recoins, les systèmes embarqués multiplient les exigences. D'où la nécessité de mêler les compétences pour créer des techniques et des méthodes de conception susceptibles de répondre simultanément à tous les défis techniques.

L'injection de l'informatique dans tous les appareils fournissant un service : c'est à ce défi qu'invitent les systèmes embarqués, ces composants qui intègrent du logiciel et du matériel conçus ensemble, pour remplir des fonctions spécifiques. Tous les appareils incluant des logiciels – visibles ou non – dans leur fonctionnement appartiennent à cette famille. Avec des applications larges : transport (avionique, espace, automobile, ferroviaire), appareils électriques et électroniques (appareils photo, jouets, postes de télévision, lave-linges, systèmes audio, téléphones portables), distribution d'énergie, automatisation, etc.

Un système embarqué capte des informations de son environnement, pour agir dessus, sans intervention humaine. Par exemple, un téléphone portable reçoit la qualité du signal, et "joue" de façon autonome sur les paramètres pour

obtenir la meilleure communication possible. Un poste de télévision détecte les caractéristiques essentielles de l'image, et intervient de multiples façons pour l'optimiser. Une voiture analyse l'état du moteur, et adapte la carburation pour réduire la pollution et améliorer son rendement énergétique. Dans la production et la distribution d'énergie, ils permettent de réaliser d'importants gains en efficacité et en sécurité. Dans l'avionique et le ferroviaire, ils permettent une circulation plus sûre, plus dense, et moins coûteuse à l'exploitation. Dans tous les secteurs de l'économie et de la société, ils améliorent grandement les activités existantes, ou en créent de nouvelles.

Nous considérons que l'utilisation étendue des systèmes embarqués, dans des produits courants, est une évolution majeure pour les technologies et la science de l'informatique.

Repenser l'ingénierie

Voilà une dizaine d'années, le nombre d'applications restait très limité, les processeurs à vocation généraliste étant les plus courants. Ces derniers étaient réservés aux applications critiques (spatial, avionique, ferroviaire, usines de production), pour des raisons de coûts et de temps de développement.

Aujourd'hui, la généralisation des systèmes embarqués dans les produits de masse modifie les contraintes de leur ingénierie. Les applications se situent en majorité dans l'électronique grand public (téléphonie mobile, automobile, hifi/vidéo, etc.) qui doit répondre à des exigences techniques et économiques, et à des niveaux de service différents selon le segment de marché visé.

Des contraintes appelées à devenir de plus en plus sévères, alors que, dans le même temps, les coûts et les délais se réduisent. Il faudra, par exemple, disposer de techniques d'ingénierie permettant d'estimer les coûts en fonction des choix de conception conjointe logiciel/matériel.

L'ingénierie devra aussi pouvoir facilement intégrer des composants fortement hétérogènes, parfois dans un milieu compétitif. L'enjeu est d'obtenir une coopération harmonieuse entre les systèmes, pour fournir des services globaux. Ce qui complique singulièrement la tâche des développeurs qui doivent prendre simultanément en compte un nombre important d'exigences techniques.

© AIRBUS S.A.S. 2005



Des exigences multiples parfois antagonistes

Quelles sont ces exigences ? En premier lieu, la majorité des systèmes embarqués remplissent des fonctionnalités dites critiques qui peuvent concerner la sûreté des personnes, des biens, des services, et qui rejaillissent sur la santé économique des sociétés qui les mettent en œuvre. Ainsi, le trafic aérien et ferroviaire, les télécommunications, ou la distribution d'énergie, dépendent aussi du fonctionnement optimal de leurs systèmes embarqués.

Autre contrainte : la réactivité vis-à-vis de leur environnement, avec la notion de temps réel. Dans ces systèmes, une réponse trop tardive équivaut à une réponse erronée. Exemples : l'airbag doit s'ouvrir à l'instant t, le contrôleur de machine de fabrication doit suivre la cadence.

L'autonomie constitue également une exigence forte. Ce qui explique la très grande complexité, en particulier en ce qui concerne leur validation. On compte pas moins d'un million de lignes de code dans un simple téléphone portable.

Ajoutez à cela la capacité à gérer des qualités "extra-fonctionnelles", souvent en conflit les unes avec les autres : qualité du service rendu, sécurité, fiabilité, performance et optimisation des ressources (consommation d'énergie, bande passante de communication, charge de calcul, sécurité, taille/poids, etc.). Leur prise en compte peut varier selon le marché visé.

La performance concerne les aspects dynamiques du comportement du système, tels que vitesse, jigue (jitter), efficacité, temps de réponse, temps de latence, etc. La fiabilité englobe la sûreté, la sécurité, la disponibilité, la réparabilité, et toute autre propriété assurant la capacité du système à fournir un service en présence de fautes, erreurs, surcharge, ou incident susceptibles de perturber son fonctionnement nominal. Il s'agit aussi de répondre aux contraintes d'implémentation physique, liées à la consommation de ressources et au contexte de déploiement : poids,

Les priorités de recherche

La prise de conscience des défis et des enjeux se traduit à plusieurs niveaux.

- À l'échelle européenne, la mise en place de la plate-forme technologique européenne (European Technology Platform) ARTEMIS (<http://www.cordis.lu/ist/artemis/>) réunit les principaux acteurs industriels et académiques en Europe, pour définir des grandes lignes de travail et de coopération.
- Au niveau national, les systèmes embarqués figurent parmi les priorités de plusieurs pôles de compétitivité, et font également partie des priorités du programme RNTL (<http://www.telecom.gouv.fr/rntl/>).
- La région Rhône-Alpes occupe une place majeure en ce domaine, avec la présence d'acteurs tels que ST Microelectronics, le LETI/CEA, et des activités de recherche de visibilité mondiale à l'INRIA, et aux laboratoires LSR, TIMA, et VERIMAG. Le rôle de leader Européen de Grenoble est attesté par la coordination de deux réseaux européens : le réseau européen EuroSoC coordonné par TIMA, et le réseau européen d'excellence ARTIST2 coordonné par VERIMAG (<http://www.artist-embedded.org/FP6/>).

Le pôle de compétitivité grenoblois Minalogic (Micro NANotechnologies et LOGiciel Grenoble-Isère Compétitivité), un des 6 pôles français récemment labellisés "pôle mondial de compétitivité", a pour ambition de construire un centre de dimension internationale pour les puces miniaturisées intelligentes grâce à la mise en commun de moyens issus à la fois de l'industrie, de la recherche et de la formation en micro nanotechnologies et technologies du logiciel. *(extrait du dossier de candidature)*

taille physique, résistance aux vibrations, ou aux irradiations, etc. Il s'avère essentiel d'utiliser au mieux les ressources disponibles, soit pour minimiser les coûts (par exemple, la mémoire), soit pour améliorer l'autonomie (par exemple, en réduisant la consommation d'énergie). Reste l'adéquation du produit à un marché cible et son délai de mise à disposition auprès du consommateur.

Une discipline à part entière

On comprend mieux le besoin de techniques de conception capables de traiter conjointement toutes ces exigences. Voilà pourquoi nous plaçons pour que les systèmes embarqués deviennent une discipline à part entière, réunissant des compétences de l'informatique, de l'électronique, de l'automatique, de l'architecture des systèmes, des mathématiques.

Actuellement, nous ne disposons ni de méthodes ni d'outils permettant d'englober toutes ces contraintes. Le développement de telles approches soulève des problèmes fondamentaux, à l'origine d'une théorie émergente rapprochant l'informatique et la physique.

L'informatique prend en compte des modèles de calcul fondés sur des notions abstraites de machines (par exemple : automates, algorithmes, théorie de la complexité et de la calculabilité, etc.), ignorant les propriétés physiques du calcul (temps d'exécution, retards, latence, etc.). De ce point de vue, le logiciel reste abstrait et se caractérise par des propriétés fonctionnelles. Il n'existe pas de théorie unifiée permettant de prédire le comportement d'un logiciel pour une plate-forme d'exécution donnée. Cette dernière détermine la vitesse d'exécution, et les autres propriétés dynamiques de l'application.

Nous avons besoin d'un cadre théorique unifiant les concepts de calcul et les propriétés dynamiques héritées du système d'exécution sous-jacent. Son absence soulève un défi scientifique majeur, et demeure un obstacle à l'émergence de méthodes de développement rigoureuses et intégrées. ●

Joseph Sifakis et Bruno Bouyssou
Laboratoire VERIMAG - Centre Équation
2, avenue de Uignat - 38610 Gières
Tél. : 04 56 52 03 41 - Fax : 04 56 52 03 50