Liaison Ethernet pour serveurs automobiles performants

L'Ethernet s'est désormais imposé en tant que réseau interne des véhicules. Ceci est dû en premier lieu à l'augmentation exponentielle des volumes de données à transférer à travers le véhicule ainsi qu'aux perfectionnements apportés aux modes de communication, passant de communications à base de signaux à des communications orientées service, comme cela avait été observé comme étant la norme dans le monde informatique depuis des années déjà. Jusqu'à présent, les communications dans les véhicules reposaient essentiellement sur des échanges sur les réseaux CAN. Aujourd'hui et demain, Ethernet offre désormais des possibilités totalement inédites.

1 Ethernet dans l'évolution de l'architecture E/E

Alors que les précédentes architectures E/E associaient des domaines d'application individuels (Figure 1 à gauche, « Domain Architecture »), une infrastructure basée sur Ethernet permet de partager des capteurs et des actionneurs nécessitant des volumes d'échange bien plus élevés qu'en CAN et de centraliser les applications. L'élargissement continu des fonctionnalités dans les véhicules contribuent toutefois à rendre les calculateurs électroniques (UCE) plus nombreux et complexes. Une solution est apportée par la centralisation des fonctions grâce à l'adoption des serveurs performants, permettant d'exécuter de nombreuses applications sur des processeurs haute performance. Ces serveurs, également connus sous le terme « High-Performance-Controller (HPC) », reposent habituellement sur des System-on-Chip (SoC) dotés de processeurs haute performance et de processeur de sécurité intégrés (ou indépendants) (Figure 1 au centre, « Centralized Architecture »). Ce concept sera complété à terme par des « serveurs de zone » décentralisés (Figure 1 à droite, « Zone Architecture ») destinés à améliorer la flexibilité et l'évolutivité. Ces serveurs de zone relient tous les calculateurs gérant les capteurs/actuateurs d'une zone du véhicule (« zone », par ex. avant gauche) et assurent une interface performante avec les serveurs via un backbone Ethernet. Cet environnement doit être visualisé de manière analogue aux usages informatiques de manière à permettre l'exécution des fonctions à des degrés de criticité variables, par différents constructeurs et dans différents systèmes d'exploitation.

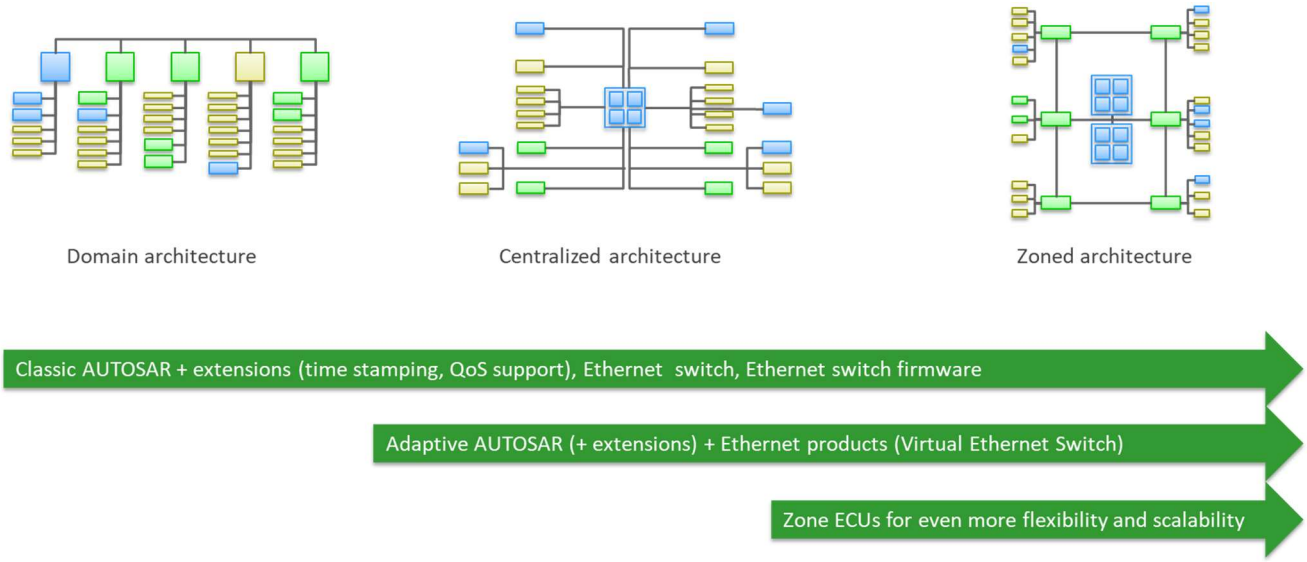


Figure 1: Évolution des architectures E/E. Approche orientée domaine classique (à gauche), architecture centralisée (au centre), future architecture par zone (à droite)

Cet article décrit comment Ethernet peut être interfacé virtuellement avec différentes machines virtuelles. L'accent est mis dans ce contexte sur les aspects efficacité et performance, importants pour l'industrie automobile.

2 Virtualisation et contraintes en termes de communication

Dans les conceptions classiques, différents calculateurs sont raccordés au réseau Ethernet à l'aide d'une interface Ethernet physique propre (Figure 2).

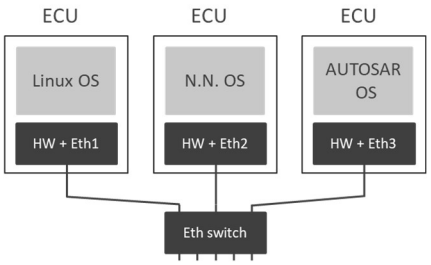


Figure 2: Calculateurs distincts raccordés via un switch Ethernet

L'étape suivante consiste alors à intégrer les différents calculateurs physiques, au sein d'un seul serveur. Dans ce contexte, le logiciel est alors exécuté dans des machines virtuelles (VM) séparées au moyen d'un hyperviseur avec une fonction de partitionnement spatio-temporel (Time-and-Space-Partitioning) (Figure 3).

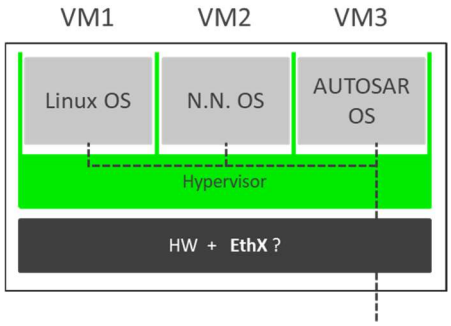


Figure 3 : Intégration de plusieurs calculateurs au sein d'un serveur au moyen d'un hyperviseur

Il n'est pas précisé ici quelles sont les modalités d'interfaçage de ces VM au réseau Ethernet. Ces communications doivent satisfaire un certain nombre de contraintes :

a. Les machines virtuelles (VM) doivent pouvoir communiquer de manière transparente sur le réseau entre elles et avec d'autres calculateurs externes.
b. L'implémentation doit répondre aux exigences spécifiques imposées aux systèmes embarqués en termes de performances et de besoins de ressources.
c. L'interfaçage des VM doit répondre aux contraintes de Qualité de Service (QoS).
d. Le système doit assurer une synchronisation des horloges entre les différentes VM et le réseau Ethernet.
e. L'interface de communication ne doit ni interférer avec les erreurs entre les VM ni occasionner elle-même de dysfonctionnement dans les VM – la Freedom From Interference (FFI) telle que définie par la norme ISO 26262 doit être assurée.
f. Les exigences en termes de sécurité (confidentialité, intégrité, disponibilité) doivent être satisfaites.

Il est ensuite possible d'aborder les aspects des différentes variantes matérielles de l'interface EthX illustrée par la Figure 3.

3 Interfaçage de machines virtuelles au réseau Ethernet

Un switch est chargé de transmettre les paquets Ethernet dans la « couche 2 » telle que définie dans le modèle de communication OSI, tout en respectant les contraintes de Qualité de Service (QoS) et en assurant des services supplémentaires tels que la synchronisation des horloges. En appliquant cette définition au modèle abstrait d'interfaçage des machines virtuelles (VM), ceci correspond à un switch. S'agissant d'une part de l'interfaçage des VM et d'autre part des fonctionnalités, qui doivent nécessairement être assurées au niveau matériel, la fonction d'interfaçage des VM au réseau Ethernet est appelée *Virtual Switch*. Les considérations ci-dessus permettent d'envisager la conception de trois types de *Virtual Switch* (Figure 4) :

(1) un matériel assurant l'interface Ethernet, partagé entre plusieurs VM, ou
(2) un matériel distinct assurant l'interface Ethernet (chaque VM comporte sa propre interface), ou
(3) un switch Ethernet (matériel) offrant un port d'hôte spécifique à chacune des VM.

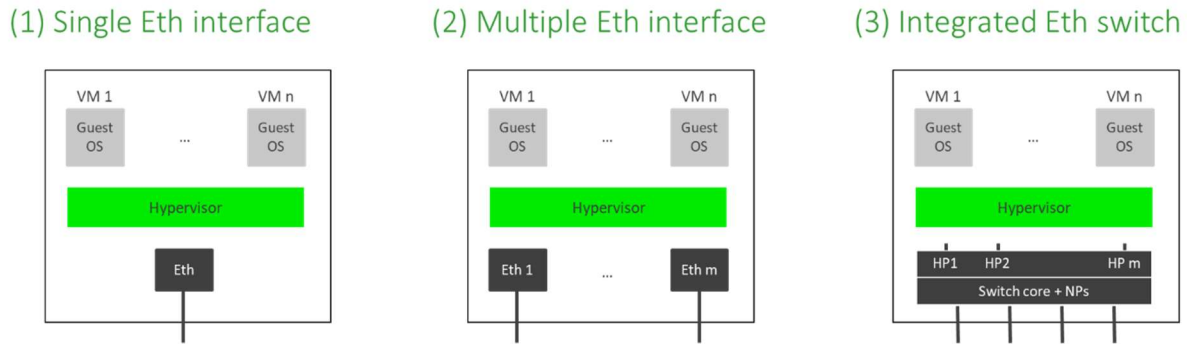


Figure 4 : Trois variantes d'interfaçage matérielle

Dans la variante (1), utilisant un serveur avec un matériel formant une interface Ethernet unique, le *Virtual Switch* est chargé de distribuer l'interface Ethernet entre les VM. Cette fonctionnalité est réalisée avec les moyens propres à Linux en instanciant une VM dédiée avec Linux en bridge Ethernet (VM bridge Eth). Cette VM obtient un accès exclusif au matériel Ethernet et est autorisée à communiquer avec l'extérieur pour l'envoi et la réception de données. La distribution interne avec les différentes VM passe alors par l'hyperviseur qui assure les opérations de copie dans la VM bridge Eth. Cette dernière fonction est imposée par le fait que l'hyperviseur doit isoler les différentes VM. Cette variante est simple à mettre en œuvre mais est peu performante en raison du temps processeur nécessaire pour copier les données, parallèlement à la mise en place d'un VM bridge Eth propre. Par ailleurs, le respect des autres contraintes évoquées plus haut s'avère difficile ou ne peut être assuré que moyennant une charge supplémentaire.

Une approche plus performante consiste à implémenter l'envoi et la réception sur plusieurs canaux DMA du matériel constituant l'interface Ethernet, de manière à exécuter les opérations de copies des processeurs (*EB corbos Virtual Ethernet Switch*). La communication entre les VM et la redirection des messages Broadcast ou Multicast à certaines ou à toutes les VM est assurée par le *Virtual Switch* au moyen d'un contrôleur DMA local (User DMA). Dans cette variante, le *Virtual Switch* ne doit pas nécessairement avoir une fonction d'hyperviseur, il peut également être exécuté dans un noyau de sécurité (Safety Core).

Dans la variante (2), chaque VM comporte son propre matériel constituant l'interface Ethernet, qui lui est assigné directement par l'hyperviseur, ainsi qu'une connexion propre sur le switch Ethernet. Bien qu'elle soit peu évolutive et très coûteuse, cette variante simple correspond, sur le plan de la structure, à la Figure 2. Chaque VM comporte un pilote Ethernet pour le pilotage direct de son matériel dédié assurant l'interface Ethernet. La communication entre les VM est assurée à l'aide du switch Ethernet raccordé.

Dans le cas de la variante (3), un switch Ethernet matériel intégré ou couplé étroitement fournit un port hôte (HP) dédié à chaque VM (Figure 4, à droite). Un switch externe est alors connecté au SoC par l'interface PCIe. L'interfaçage est alors assuré via l'extension PCIe « Single-Root Input-Output-Virtualization » (SR-IOV). Une fonction

virtuelle dédiée correspondant à un port hôte dédié est alors fournie à chaque VM (Figure 5, « VirtFun »). Ceci permet au *Virtual Switch* d'assurer l'envoi et la réception tout en respectant les contraintes imposées pour chaque VM, en employant des canaux DMA distincts, et en passant directement par la liaison PCIe rapide.

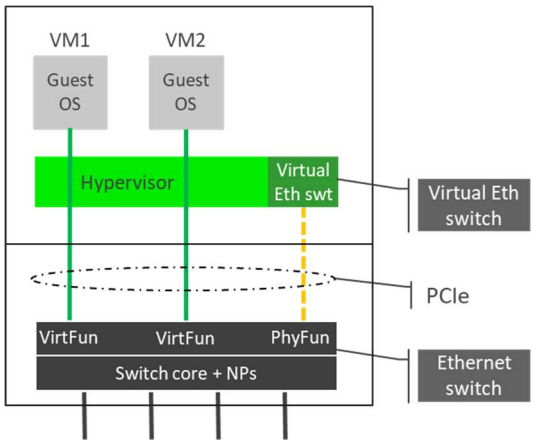


Figure 5 : Virtual Switch avec liaison PCIe d'un switch Ethernet matériel

4 Comparaison des solutions

La virtualisation sur les serveurs s'est imposée afin de faire face à la complexité accrue et d'assurer une flexibilité et une évolutivité accrues. Trois variantes matérielles sont disponibles pour la liaison Ethernet des machines virtuelles. Le Tableau 1 compare ces variantes et les évalue en prenant en compte de manière spécifique des aspects liés à la complexité, à l'efficacité des ressources, à l'évolutivité et aux performances. Elektrobit propose une solution logicielle performante pour toutes ces variantes avec ses gammes de produit EB tresos et EB corbos.

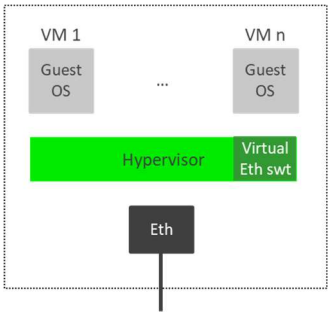
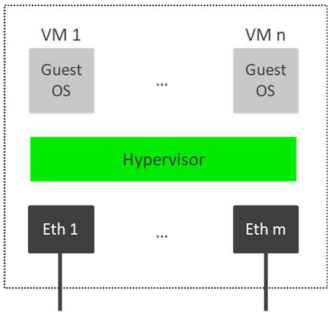
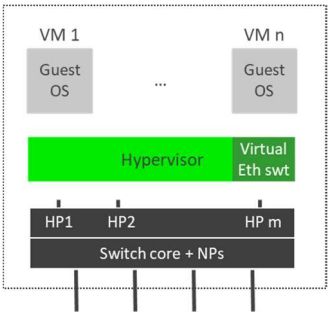
Aspect	**Multiplexage d'une interface Ethernet**	**Interface Ethernet dédiée par VM**	**Switch Ethernet intégré**
Variante matérielle	(1)	(2)	(3)
Architecture			
Complexité matérielle	Simple	De simple à complexe	Complexe
Interfaçage avec le processeur	Bus de processeur interne	Bus de processeur interne	Bus de processeur interne, PCIe ou PCIe SR-IOV
Variantes logicielles	*Virtual Switch* avec Eth/User-DMA	Driver Ethernet	*Virtual Switch* avec PCIe ou PCIe SR-IOV
Logiciel	EB corbos Virtual Ethernet Switch	EB tresos ACM Eth Driver	EB corbos Virtual Ethernet Switch
Performance des ressources	★★★	★	★★
Évolutivité	★★	★	★★★
Performance	★	★★	★★★

Tableau 1 : Comparaison des variantes

Auteurs



Dr. Georg Gaderer est Technology Team Manager chez Elektrobit. Son équipe travaille au développement de produits visant une utilisation efficace des matériels de communication comme les switches et les contrôleurs Ethernet.



Dr. Michael Ziehensack est Managing Director d'Elektrobit Autriche et spécialisé dans les réseaux pour l'automobile.