

Connexions ultra rapides d'écrans et de capteurs dans les véhicules automobiles

Auteurs : Carrie Browen et Kevin Kershner, Keysight Technologies

Ce n'est un secret pour personne, le rythme de l'innovation dans le secteur automobile est en pleine effervescence. Si les 20 dernières années ont été linéaires pour le développement de l'électrification, on remarque une accélération exponentielle depuis 2 à 3 ans.

Autrefois, la voiture était un moyen de se rendre d'un point A à un point B. Nous pouvons affirmer sans risque que ce n'est pas le cas pour les véhicules d'aujourd'hui et encore moins pour les véhicules de demain. Presque toutes les nouvelles voitures sur le marché sont équipées d'une caméra de recul, d'une aide au stationnement et d'un système de surveillance de l'angle mort. Certaines offrent une vue à 360 degrés, d'autres permettent des mises à jour du trafic en temps réel, une assistance par téléphonie mobile pour détecter les dangers potentiels, les autres usagers de la route, les véhicules ou les piétons. Il est même possible de détecter si un conducteur est distrait ou fatigué. Pendant ce temps, les passagers ne sont souvent pas conscients des conditions de conduite, alors qu'ils profitent des systèmes d'infodivertissement. Toutes ces fonctionnalités sont fournies par un mélange de capteurs, de caméras et de réseaux.

À mesure que les exigences augmentent, les systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) de prochaine génération nécessitent des caméras et des radars d'une résolution de plus en plus élevée. Cela signifie plus de vitesse et de bande passante pour les réseaux, les commutateurs et les connexions qui transportent les données. L'innovation dans le domaine de la technologie automobile s'est rapidement développée pour permettre aux technologies avancées de fonctionner à des débits supérieurs à 1 Gbps sur les infrastructures de câblage existantes. Les réseaux à bande passante plus large et à faible latence joueront un rôle essentiel dans le traitement des technologies automobiles complexes et sensibles au temps à venir.

La plupart de ces exigences peuvent être satisfaites par l'Ethernet automobile avec une bande passante allant jusqu'à 10 Gbps. Si l'on considère que les exigences de certaines caméras peuvent atteindre 3 500 Mbps, nous devons également considérer une technologie alternative pour faire circuler ces données.

Besoins en bande passante

Pour mieux comprendre les besoins en bande passante, il faut se rappeler que le débit binaire approximatif d'un flux vidéo peut être calculé comme suit :

- Taille de l'image = Résolution x Profondeur de couleur
- Débit binaire = Taille d'image x Fréquence d'image

Ainsi, pour une caméra ADAS capturant une image 1080p, avec une profondeur de couleur de 24 bits et transmettant à 30fps, le débit binaire à supporter est égal à :

- Taille d'image = $1920 \times 1080 \times 24 = 49\,766\,400$
- Débit binaire = $49\,766\,400 \times 30 = 1\,493\,000\,000$ bits/s = 1 493 Mbps

Le tableau ci-dessous montre les volumes caractéristiques de données provenant des différents capteurs concernés par la conduite autonome :

Sensor	Bit rate/sensor
Camera	500-3500Mbps
Lidar	20-100Mbps
Radar	0.1-5 Mbps
Ultrasound	.01Mbps

Les exigences de l'industrie

Le marché automobile est influencé par de nombreux facteurs ; voici les plus déterminants :

- La demande croissante en matériel léger et à large bande passante.
- Hausse de la demande de systèmes d'aide à la conduite
- Essor de la demande de véhicules de luxe
- Des technologies à la pointe du progrès et capables de s'adapter à l'avenir
- Amélioration de la sécurité des données

Il a déjà été établi que les technologies à large bande passante et la réduction du poids sont nécessaires pour maximiser l'efficacité (du carburant ou de la batterie). Tous les capteurs pour les vues de recul, le stationnement et l'assistance à la conduite, sans oublier les nouveaux affichages tête haute et copilote, ainsi que tout système d'infodivertissement supplémentaire, découlent de la demande de technologies ADAS et de véhicules autonomes (AV).

En outre, les concepteurs de réseaux doivent comprendre comment le système du véhicule devra évoluer au fur et à mesure que la technologie se développera. Aujourd'hui, on considère que le temps de conservation moyen d'une voiture est de 10 à 15 ans. Si les solutions d'interconnexion rentables peuvent prendre en charge une bande passante supplémentaire, ils devront peut-être envisager de les penser dès aujourd'hui pour permettre l'ajout de fonctions ADAS/AV lourdes dont les clients souhaiteront bénéficier pendant la durée de vie du véhicule. Et bien sûr, la sécurité est également un domaine essentiel pour la conception des véhicules. Alors que de plus en plus de fonctions AV et ADAS prennent le relais des fonctions humaines, la sécurité des passagers fait l'objet d'une attention toute particulière.

Architecture par zone

Les ingénieurs essaient toujours de réduire la complexité, et cela s'applique également aux réseaux embarqués.

La figure 1 est une version abstraite d'un véhicule utilisant plusieurs débits de données différents dans le backplane. Il s'agit d'une simplification excessive, mais pour les besoins de cette discussion, elle nous aide à imaginer comment certaines de ces technologies et normes fonctionnent ensemble.

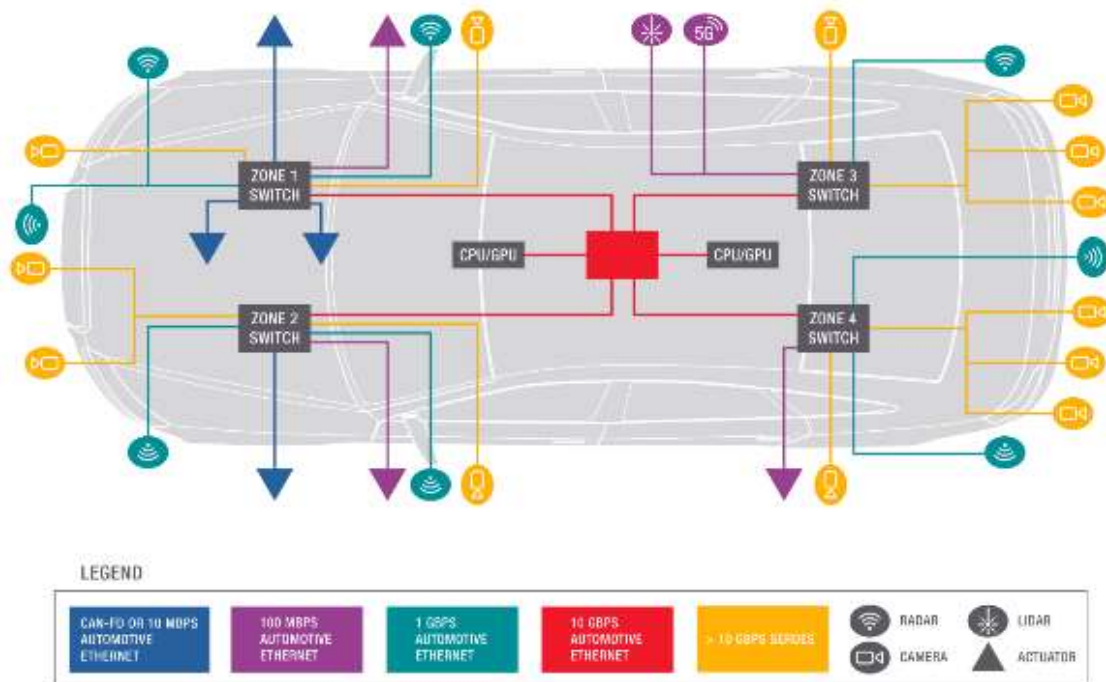


Figure 1. Schéma conceptuel d'une architecture de réseau embarqué par zones.

Une architecture par zone regroupe des entrées multiples pour réduire la complexité, le coût et le poids du harnais de câblage, en passant d'une architecture " many to one " à une architecture en marguerite (daisy-chained). Il s'agit d'un exemple d'architecture basée sur une zone, tandis que d'autres envisagent une architecture basée sur un domaine. Dans les deux cas, les données des caméras et des capteurs seront regroupées et le réseau Ethernet servira d'interconnexion entre chaque zone ou domaine. Étant donné qu'un complexe informatique central est relié aux capteurs et aux dispositifs par des passerelles zonales en réseau, une approche zonale peut offrir une meilleure évolutivité ainsi qu'une fiabilité et une capacité fonctionnelle accrues.

Définition de SerDes

Dans les systèmes d'infodivertissement actuels, il est courant que les caméras et les écrans embarqués soient connectés à l'unité de commande électronique (ECU) de traitement de l'image via une connexion SerDes (sérialiseur/désérialiseur). Aujourd'hui, ils sont fournis par des constructeurs indépendants qui utilisent des normes exclusives et protégées.

Pour étendre la portée des liaisons SerDes riches en fonctionnalités, il peut être nécessaire d'utiliser des débits en Bauds inférieurs et des modulations d'ordre supérieur (par exemple, PAM-4). En outre, il faudra utiliser des liaisons Ethernet à plus grande largeur de bande comme interconnexions primaires entre les zones, peut-être avec des supports 802.3ch jusqu'à 10 Gbps de débit.

Les normes SerDes émergentes telles que l'interface processeur de l'industrie mobile (MIPI) A-PHY (MIPI A-PHY est une spécification de couche physique destinée aux applications de capteurs d'environnement ADAS/ADS et aux applications d'affichage d'info-divertissement dans l'automobile) et l'Automotive SerDes Alliance (ASA) sont appelées à être mises en place par de nombreux fournisseurs de semi-conducteurs. Cela créera un marché concurrentiel qui

permettra de réduire les coûts tout en offrant des fonctionnalités spécifiques aux applications. Il existe également un désir de disposer de méthodes de test standardisées dans l'ensemble de l'écosystème, qui établissent les exigences d'interopérabilité. Pour les opérateurs et les fournisseurs de tests, cela permettrait d'unifier les exigences pour le processeur, les fournisseurs de rang 1 et les fabricants d'équipements originaux (OEM). Les exigences de test unifiées permettent aux vendeurs de silicium, aux fournisseurs de niveau 1 et aux OEM d'accélérer leur cycle de développement, de réduire les coûts et d'améliorer l'interopérabilité avec d'autres dispositifs commerciaux.

La figure 2 est un exemple de cas d'utilisation pour les écrans automobiles. Ce diagramme provient de l'Alliance MIPI et fait référence à la norme A-PHY récemment publiée.

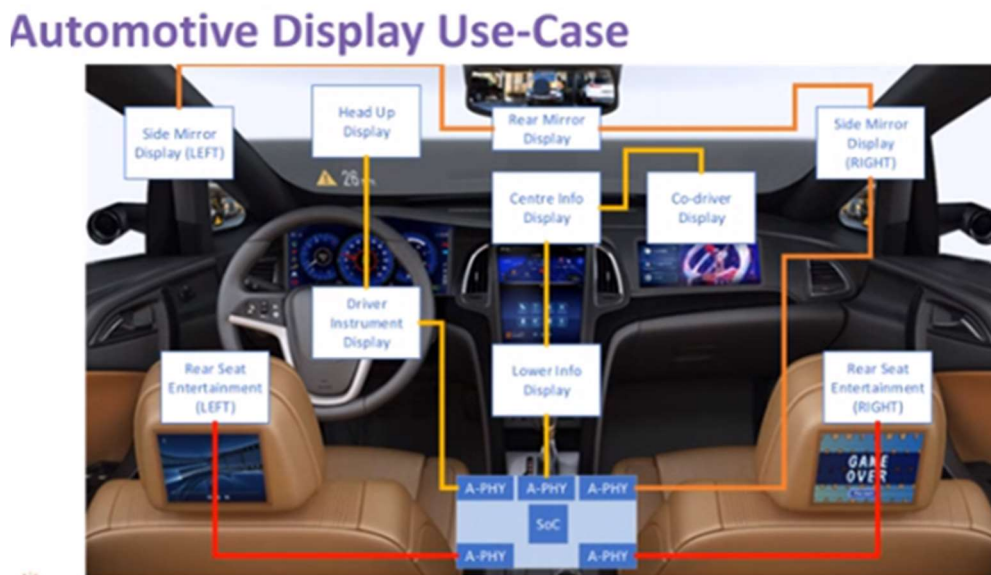


Figure 2. Cas d'utilisation de l'affichage automobile. © 2021 MIPI Alliance, Inc.
<https://groups.vesa.org/wg/AES/document/16623>

Certaines des fonctions des prochaines générations de SerDes prennent en charge l'architecture orientée services du futur avec la tunnelisation et l'adaptation des protocoles qui permettront aux normes SerDes émergentes de transmettre les protocoles automobiles existants le long de liaisons en marguerite vers le calculateur ou le dispositif de pontage approprié. La duplication de flux permet aux systèmes critiques en matière de sécurité de se dupliquer en cas de défaillance de la liaison primaire. Le chaînage en marguerite permettra à plusieurs ports SerDes d'être connectés dos à dos, en agrégeant les données sur la liaison, avant qu'elles n'arrivent au calculateur. Enfin, la sécurité opérationnelle est prise en compte en fournissant des mécanismes de protection de bout en bout conformes à la norme ISO 26262.

Ces caractéristiques sont les bienvenues dans la prochaine génération de voitures développées dans le cadre de l'ADAS/AV, mais il y a également quelques défis à résoudre, notamment les différents câbles et connecteurs de l'interface dépendante du support (MDI), la sécurisation du réseau, l'interopérabilité avec d'autres fournisseurs et les préoccupations techniques des tests Tx assurant la linéarité et la PSD des réseaux PAM-N. Il sera également essentiel de garantir la fiabilité des récepteurs contre les interférences électromagnétiques (EMI) afin d'assurer leur fonctionnement dans un environnement automobile particulièrement

contraignant. Il s'agit d'une mesure complexe qui consiste à injecter des niveaux de bruit prédéfinis et calibrés sur la broche RX du SerDes tout en contrôlant sa capacité à cadencer les symboles dans des limites d'erreur acceptables.

Test de la couche physique

L'interopérabilité est une préoccupation majeure. Les émetteurs-récepteurs sont des dispositifs sensibles qui doivent fonctionner dans l'environnement automobile réputé difficile qui combine chaleur, vibrations, décharges électrostatiques (ESD) et EMI.

Les tests sont catégorisés en trois domaines différents :

- la transmission : l'assurance que ce qui est envoyé correspond à ce que vous attendez.
- la capacité de réception : fiabilité avec laquelle votre dispositif (passerelle, module, commutateur, PHY) peut recevoir les bons signaux.
- les performances de l'interconnexion passive entre les émetteurs-récepteurs, appelée segment de liaison.

Le but ultime de tous ces tests est l'interopérabilité entre les fournisseurs de différents appareils. Il peut y avoir plus de 100 fournisseurs différents qui contribuent à une voiture et il existe des organismes de normalisation qui créent des spécifications. Ces applications sont un moyen d'évaluer par rapport à des normes connues pour s'assurer que l'intégrité des données est maintenue.

Test de l'émetteur

Dans le cas de l'émetteur, il faut s'assurer que la caractéristique du signal est bonne. Pour cela, on utilise un outil qui agit comme un récepteur - dans ce cas, un oscilloscope. Le dispositif à tester (DUT) est placé dans une série d'états connus et le récepteur agissant s'assure que le signal est "valide".



Figure 3 : exemple de vue d'une caméra de recul avec des lignes. Ces lignes correspondent à des trous dans la transmission, à des paquets abandonnés. Une ou deux et on peut toujours voir l'image, mais on ne veut certainement pas qu'elle clignote en noir quand il y a un enfant derrière.

La caméra est fabriquée par un fournisseur, le câble par un autre, le commutateur qui achemine le signal, de même que le GPU ou ECU qui traite les données, puis les freins qui

doivent finalement arrêter la voiture. Ces éléments sont fabriqués par différents fournisseurs et doivent fonctionner ensemble, ce qui souligne l'importance de l'interopérabilité.

En outre, le débit de données augmente $>100X \rightarrow 1000X$ plus vite que le CAN et devient beaucoup plus complexe lorsqu'il y a un signal à plus grande vitesse. Le type de modulation est devenu de plus en plus complexe. Les anciennes normes comme CAN utilisent NRZ ou PAM-2, par rapport à PAM-3 ou PAM-4 4 pour l'Ethernet automobile et les SerDes automobiles. Ainsi, ces tests Tx doivent également vérifier l'intégrité des données, ce qui inclut :

- Des tests de gigue, car les erreurs d'horloge peuvent provoquer une gigue de l'émetteur.
- La densité spectrale de puissance, qui est une mesure du bruit (à l'aide d'une transformée de Fourier rapide (FFT) ou d'un analyseur de spectre) sur une gamme de fréquences, car les traces du PCB peuvent se comporter comme des antennes à des vitesses élevées.
- Test de linéarité pour rechercher toute distorsion causée par des réflexions, qui peuvent à leur tour provoquer des erreurs de transmission et des erreurs de bits.

Au final, il faut veiller à ce que les données ne provoquent pas d'émissions de rayonnement, de réflexions ou d'atténuations, et qu'elles n'interfèrent pas avec d'autres circuits. Si elles ne passent pas l'un de ces tests, il en résulterait des erreurs de symbole ou de paquet qui entraîneront des trames perdues au niveau du récepteur, ou des lignes sur l'écran comme nous l'avons vu précédemment.

Test de canaux

Le câble, le connecteur, le dispositif ou le harnais qui relie ces appareils entre eux constitue le lien ou le canal.

Un analyseur de réseau vectoriel (VNA) peut caractériser l'impact du canal sur le signal, en s'assurant que l'intégrité du signal est maintenue entre l'émetteur et le récepteur. Compte tenu des longueurs de câble utilisées dans l'environnement automobile complexe, il est essentiel d'examiner l'impédance en fonction de la fréquence pour prévoir comment le canal se comportera dans le véhicule.

Un segment de liaison se compose de câbles et de connecteurs en ligne, ainsi que de connecteurs d'accouplement à chaque extrémité. En fin de compte, le faisceau de câbles est responsable du déplacement des données de contrôle et de la charge utile, ainsi que de l'alimentation en courant continu des capteurs distants.

La caractérisation du canal pour la liaison SerDes consiste en une analyse dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel. Pour ce faire, il faut examiner le système de câblage, le MDI, ainsi que les exigences en matière de fixation et de configuration des tests.

Le connecteur MDI proprement dit n'est pas standard, mais il existe certaines spécifications rigides permettant de s'assurer que les interactions entre le MDI et le câble sont minimisées. La figure 4 donne un exemple de connecteur H-MTD qui est utilisé pour l'Ethernet automobile multi-gig et pourrait également être utilisé pour les normes SerDes émergentes.

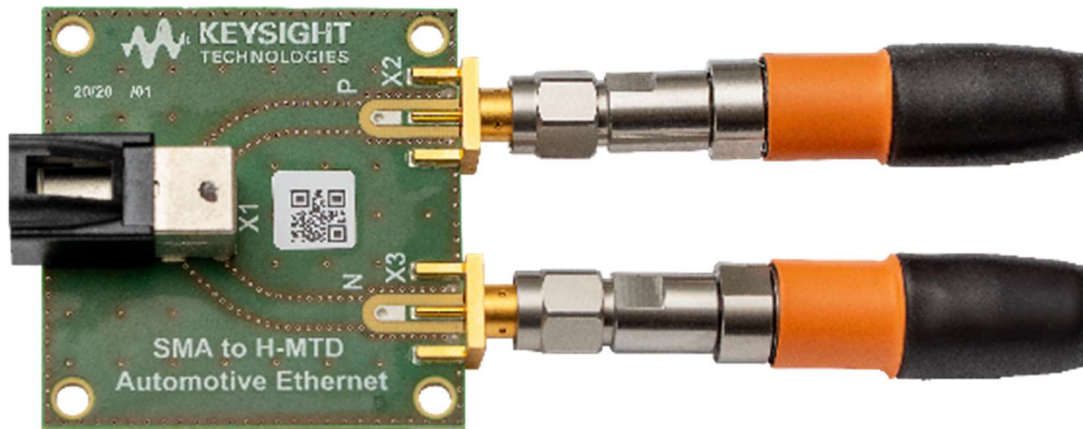


Figure 4. Exemple de connecteur MDI avec H-MTD et SMA.

Lorsque nous examinons les tests de canaux, nous recherchons des erreurs telles que :

- Désadaptation d'impédance
- Distorsions ou défauts du signal
- Diaphonie entre les câbles

Test des récepteurs

Les récepteurs sont conçus pour donner un sens aux données envoyées par la liaison, puis les transmettre pour un traitement complémentaire dans un ordinateur ou un dispositif d'affichage. Les erreurs de bits au niveau du récepteur se traduisent par des données perdues ou corrompues provenant de capteurs essentiels à la sécurité tels que la caméra, le radar et le Lidar.

Le bon fonctionnement du récepteur devient de plus en plus difficile pour les modulations complexes comme le PAM-4, surtout lorsqu'elles sont envoyées sur de longs canaux exposés à de nombreuses sources de bruit simultanées. Pour caractériser les capacités du récepteur, il faut mesurer les niveaux d'erreur en présence de multiples sources de bruit, notamment :

- Interférence à bande étroite
- Injection de courant de masse
- Transitoires en ligne
- Diaphonie entre faisceaux de câbles étrangers.

La configuration de la mesure peut inclure des sources de bruit, des amplificateurs et des circuits de couplage qui permettent d'injecter des niveaux précis de bruit sur une liaison SerDes active. Les registres de qualité du signal de l'objet sous test sont ensuite interrogés pour vérifier si le récepteur peut interpréter correctement les symboles en présence de bruit. L'accent est mis sur le test du récepteur pour s'assurer qu'il peut toujours maintenir les taux BER.

Même si une pénurie de semi-conducteurs bouleverse le secteur automobile actuellement, il ne fait aucun doute qu'à l'avenir les véhicules seront de plus en plus connectés. Les réseaux seront à la fois plus complexes, avec une demande pour plus de caméras, plus de connexions et plus de capteurs avec une plus grande précision, et soumis à diverses contraintes pour assurer la fiabilité du véhicule et le respect de l'environnement, comme la réduction du poids et une sécurité accrue. Ainsi, il ne fait aucun doute qu'un réseau embarqué sera nécessaire

pour relever ces défis de manière homogène et sans latences. Indéniablement, ces réseaux embarqués devront être testés, interopérables et sécurisés, d'où la nécessité pour les concepteurs de réaliser des tests précis et dans toutes les conditions, même les plus difficiles, afin de garantir l'expérience du conducteur et de ses passagers.

Références:

- https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/other/eipatd-presentations/2019/D1-04_KLAUS-Zonal_EE_Architecture.pdf
- <https://semiengineering.com/shedding-pounds-in-automotive-electronics/>
- <https://groups.vesa.org/wg/AES/document/16623>

Auteurs



Carrie Brown est chef de produit véhicules autonomes pour Keysight Technologies. Avec plus de 20 ans d'expérience dans le secteur, elle est chargée de traduire et d'articuler les solutions Keysight afin de transmettre les points les plus importants à ceux qui y trouveraient de la valeur. Carrie est titulaire d'une licence en génie électrique, vit dans les montagnes du Colorado, aime jardiner, est nulle en hula-hoop et peut être convaincue d'essayer de nouvelles choses, notamment par ses trois adolescents.



Kevin Kershner est chargé de définir les exigences des futures solutions IVN de Keysight. Kevin participe activement aux réunions sur les normes MIPI A-PHY, ASA et VESA. Avec 16 ans d'expérience dans l'industrie, il est particulièrement doué pour comprendre un problème technique sous tous les angles et l'expliquer aux autres. Kevin est titulaire d'une licence en génie électrique de l'UCLA et vit actuellement près de Chicago. En dehors du travail, Kevin se passionne pour la bicyclette, l'aviation générale et les voyages à travers le monde avec sa femme.