

De l'assistance au remplacement du conducteur : le véhicule cognitif s'appuie sur les données essentielles à haut niveau d'intégrité collectées par de multiples capteurs

Chris Jacobs, Vice-président, Transport autonome et sécurité, Analog Devices Inc.

C'est l'un des projets majeurs de notre époque, l'équivalent du programme lunaire lancé en 1961 par le président Kennedy. Des capteurs à l'intelligence artificielle (IA), la chaîne d'approvisionnement électronique classique forme un modèle collaboratif qui vise la sécurisation des véhicules autonomes. Dans cette optique, il reste encore beaucoup à faire, tant en matière de développement de matériels que de logiciels, pour garantir la protection des conducteurs, des passagers et des piétons. Si l'apprentissage automatique (*machine learning*) et l'intelligence artificielle ont un rôle à jouer, leur efficacité dépend de la qualité des données récoltées. En d'autres termes, aucun véhicule autonome ne peut être considéré comme sûr s'il ne repose sur l'association de signaux de capteurs alliant performances et intégrité élevées ; et ce, afin de fournir constamment les éléments les plus précis sur lesquels fonder des décisions de vie ou de mort.

À l'image du projet « Moonshot » initié par JFK, le chemin qui mènera à des véhicules autonomes parfaitement sûrs est semé de multiples obstacles. De récents incidents très médiatisés alimentent les discours les plus méfiants, selon lesquels les véhicules et l'environnement dans lequel ils opèrent sont trop complexes, les variables trop nombreuses, les algorithmes et les logiciels encore loin d'être au point. Quiconque a participé aux tests de conformité à la norme ISO 26262 relative à la sécurité fonctionnelle des véhicules routiers a le droit d'être sceptique ; cette méfiance est corroborée par les graphiques qui mettent en parallèle le kilométrage parcouru et le nombre de désengagements enregistrés par cinq constructeurs ayant expérimenté des véhicules autonomes dans la Silicon Valley en 2017 (Figure 1). Les chiffres de 2019 n'ont pas encore été compilés, mais les rapports des différentes entreprises sont disponibles en ligne.

Quoi qu'il en soit, l'objectif a été fixé et l'impératif est clair : les véhicules autonomes arrivent, et leur sécurité est capitale. Selon le ministère des Transports de Californie (DMV), les désengagements par mile parcouru (c'est-à-dire le nombre de fois où le conducteur a dû reprendre les commandes du véhicule) sont en baisse en 2018, ce qui signifie que les systèmes sont de plus en plus performants. Cette tendance doit cependant passer à la vitesse supérieure.

Privilégiant la coopération et les idées originales, les constructeurs automobiles s'adressent directement aux industriels du circuit intégré ; les fabricants de capteurs discutent de la fusion des données collectées avec les développeurs d'algorithmes d'IA. Les éditeurs de logiciels rencontrent enfin les fournisseurs de matériel pour tirer le meilleur parti des deux mondes. Les relations historiques évoluent et de nouveaux liens se tissent dynamiquement pour combiner et optimiser performances, fonctionnalités, fiabilité, coût et sécurité dans la conception finale.

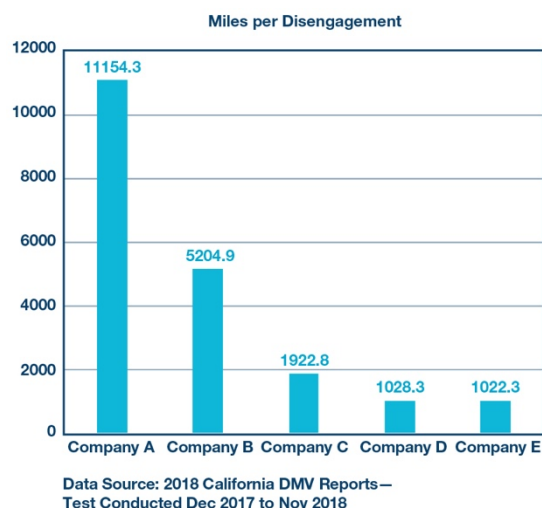


Figure 1. Kilométrage parcouru (en miles) avant désengagement pour les 5 principaux constructeurs de véhicules autonomes expérimentés en Californie de décembre 2017 à novembre 2018. Au total, 28 entreprises ont activement testé des véhicules en public au cours de cette période dans l'État de Californie, pour plus de 3 millions de km (2 036 296 miles) parcourus en mode autonome avec 143 720 désengagements.

À tous les niveaux, l'écosystème recherche les bons modèles qui permettront de construire et tester des véhicules entièrement autonomes destinés à des applications émergentes, telles que les robots taxis ou les transports par camion sur de longues distances. L'automatisation augmente rapidement grâce aux améliorations apportées aux capteurs, qui font évoluer les systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS — *Advanced Driver-Assistance Systems*).

Ces technologies de capteurs sont incluses dans des caméras, des lidars (détection et mesure de la distance à l'aide de rayons laser), des radars (détection et télémétrie par ondes radio), des microsystèmes électromécaniques (MEMS), des centrales inertielles (IMU), des ultrasons et le GPS. Toutes ces dernières fournissent aux systèmes d'intelligence artificielle les données essentielles pour piloter des véhicules autonomes réellement cognitifs.

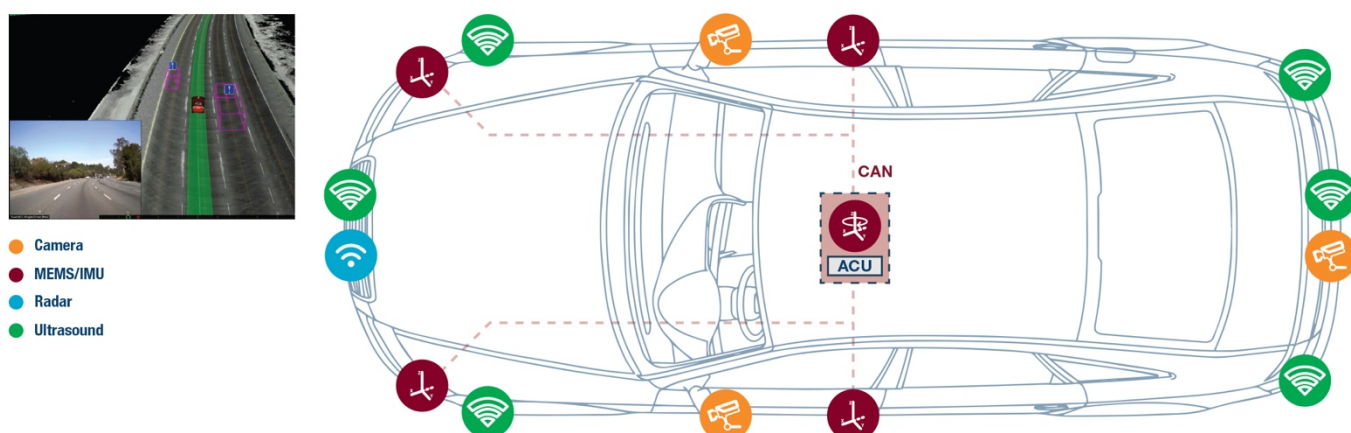


Figure 2. Différentes modalités de détection sont utilisées pour la perception et la navigation des véhicules (ADAS). Elles opèrent généralement de manière indépendante et envoient des alertes aux conducteurs pour qu'ils puissent prendre les mesures adaptées.

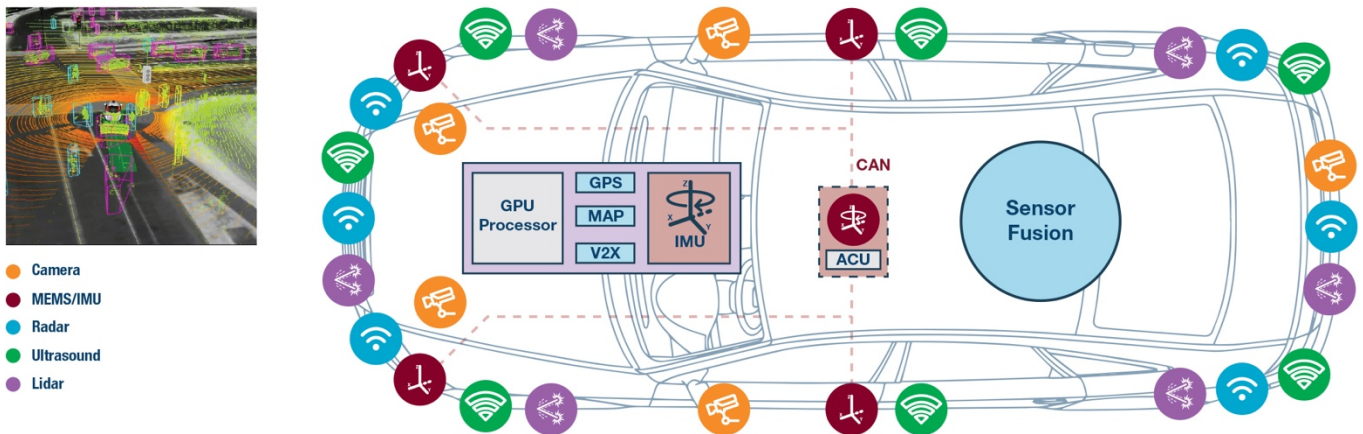


Figure 3. Un véhicule entièrement cognitif est conscient de l'état et de la nature actuels et historiques de son environnement, ainsi que de son propre état (position, vitesse, trajectoire et état mécanique) ; c'est la clé du développement d'une conduite autonome parfaitement sûre.

Véhicules cognitifs et sécurité prédictive

L'intelligence des véhicules est généralement déclinée en niveaux d'autonomie. Les niveaux 1 et 2 (L1/L2) correspondent à des systèmes chargés d'avertir le conducteur. Au niveau L3 et supérieur, le véhicule sera habilité à prendre des décisions pour éviter un accident. Vers le niveau L5, le volant disparaît et la voiture fonctionne de manière totalement autonome.

Dans les premières générations (L2), les systèmes de capteurs sont indépendants les uns des autres. Ils se caractérisent par un taux élevé de « fausses alertes » et sont souvent désactivés, car ils constituent une nuisance.

À bord des véhicules entièrement autonomes sur le plan cognitif, les capteurs vont se multiplier considérablement. Leurs performances et leurs temps de réponse doivent s'améliorer de façon significative (Figures 3 et 4).

L'augmentation du nombre de capteurs dans les véhicules facilite également la surveillance et la prise en compte des conditions mécaniques courantes, telles que la pression des pneumatiques, un changement de masse (véhicule chargé ou non, présence d'un ou de plusieurs passagers), et autres facteurs d'usure pouvant affecter les performances de freinage et la conduite. Plus il y a de modes de détection externes, plus le véhicule devient conscient de son propre état et de son environnement.

Les progrès réalisés dans les méthodes de détection permettent à un véhicule automobile de reconnaître son environnement à un instant « t », mais également son historique, selon les principes élaborés par Joseph Motola, responsable de la division Ingénierie et Sciences Aéronautiques d'ENSCO. Il est ainsi possible de connaître les spécificités d'une route (présence et emplacement de nids-de-poule...) ou de manière plus détaillée, de savoir quels types d'accidents se sont produits au fil du temps dans une région donnée.

Au moment où ces concepts cognitifs ont été élaborés, le niveau de détection, de traitement, de capacité mémoire et de connectivité nécessaire les rendait improbables, mais la situation a évolué. Désormais, ces informations historiques sont accessibles et peuvent être ajoutées à celles collectées en temps réel par les capteurs du véhicule ; l'objectif étant de prendre des mesures préventives et d'éviter des collisions avec un degré d'exactitude de plus en plus élevé.

Ainsi, les centrales inertielles (IMU — *Inertial Measurement Unit*) sont capables de détecter une bosse ou une embardée soudaine indiquant la présence d'un nid-de-poule ou d'un obstacle. Si de telles informations étaient jusqu'à présent inutiles, la connectivité en temps réel permet désormais de les transmettre à une base de données centrale et de les exploiter pour avertir d'autres véhicules. Il en va de même pour les données enregistrées par les caméras, radars, lidars et autres capteurs.

Ces données sont compilées, analysées et fusionnées afin de fournir en amont des informations qui permettront au véhicule de mieux connaître l'environnement dans lequel il évolue. Ce dernier se comportera comme une machine autoapprenante qui peut potentiellement prendre des décisions plus judicieuses et plus sûres qu'un conducteur humain.

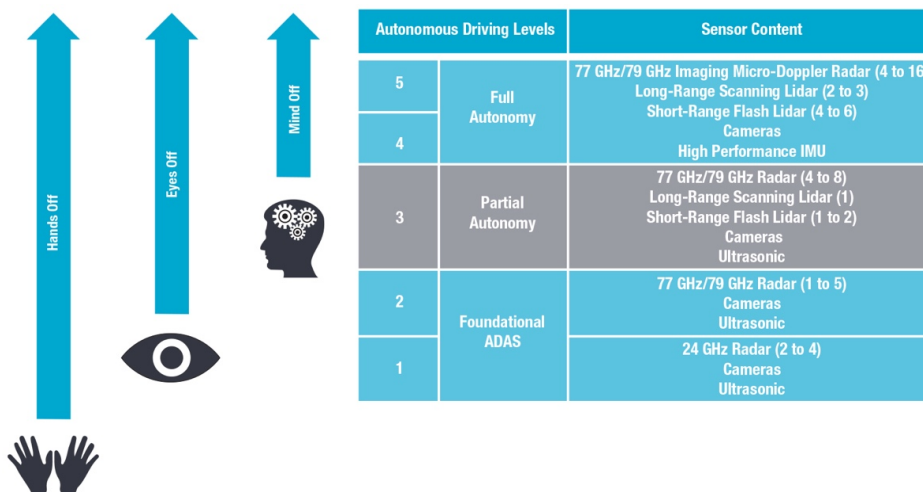


Figure 4. Les cinq niveaux de la conduite autonome et les exigences des capteurs.

Prise de décisions et analyse multifacettes

D'importants progrès ont été accomplis dans l'amélioration du niveau de perception des véhicules. L'accent porte actuellement sur la collecte des données transmises par les différents capteurs et l'application de stratégies de fusion visant à maximiser leur complémentarité et compenser leurs faiblesses respectives dans divers cas de figure (Figure 5).

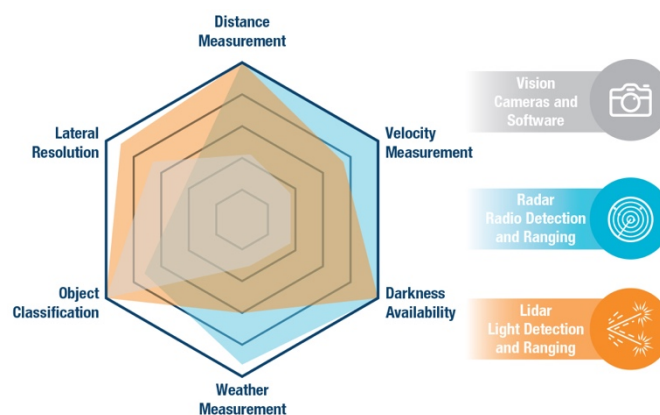


Figure 5. Chaque mode de détection possède ses propres forces et faiblesses. En déployant des stratégies de fusion appropriées, les atouts peuvent être complémentaires et les faiblesses compensées.

Il reste encore un long chemin à parcourir avant que des solutions soient réellement capables de résoudre les problèmes auxquels l'industrie est confrontée. Les caméras savent ainsi calculer la vitesse latérale (vitesse d'un objet se déplaçant selon un axe perpendiculaire à celui du véhicule). Les meilleurs algorithmes d'apprentissage automatique ont néanmoins besoin d'environ 300 ms pour détecter un mouvement latéral avec des taux de fausses alertes suffisamment bas. Pour un piéton se déplaçant devant un véhicule circulant à plus de 90 km/h (60 miles par heure), quelques millisecondes peuvent faire la différence entre des blessures superficielles et un choc potentiellement mortel. Ce temps de réaction est critique.

Ce retard de 300 ms est la durée requise pour effectuer les calculs du vecteur delta à partir de trames vidéo successives. Dix images consécutives ou plus sont indispensables pour une détection fiable : pour donner au véhicule le temps de réagir, ce nombre doit être ramené à un ou deux, ce qu'autorise la technologie radar.

Le radar offre beaucoup d'avantages pour la détection de la vitesse et des objets, à savoir un haut degré de résolution en azimuth et en élévation, ainsi que la possibilité de « voir » autour des objets ; mais il doit aussi donner plus de temps au véhicule pour qu'il réagisse. Avec un objectif en matière de « détermination de la vitesse sans ambiguïté » fixé à 400 km/h ou plus, de nouvelles optimisations apparaissent dans la plage de fréquence comprise entre 77 et 79 GHz. Ce niveau de détermination de la vitesse peut sembler extrême, mais il est requis pour prendre en charge les cas complexes d'utilisation partagée des autoroutes. Les véhicules peuvent circuler dans des directions opposées à des vitesses supérieures à 200 km/heure.

Le lidar, qui associe les fonctionnalités des radars et des caméras, offre des caractéristiques qui en ont fait un élément viable et essentiel des véhicules entièrement cognitifs (Figure 6). Mais cette technologie doit encore relever certains défis.

La technologie lidar évolue vers des conceptions à semiconducteurs compactes et peu onéreuses qui peuvent être placées en plusieurs endroits autour du véhicule afin d'assurer une couverture sur 360 degrés. Elle complète les systèmes radars et les caméras en ajoutant une résolution angulaire et une perception de profondeur supérieures pour établir une carte 3D plus précise de l'environnement.

Cependant, son fonctionnement dans le proche infrarouge (IR), c'est-à-dire entre 850 et 940 nm, peut être nocif pour la rétine, de sorte que sa production d'énergie est régulée à 200 nJ par impulsion à 905 nm. Mais en migrant vers l'infrarouge à ondes courtes (SWIR) au-delà de 1500 nm, la lumière est absorbée sur toute la surface de l'œil. Cela permet d'assouplir les exigences réglementaires de 8 mJ par impulsion. À 40 000 fois le niveau d'énergie d'un lidar à 905 nm, les systèmes lidars pulsés à 1500 nm offrent une portée 4 fois plus élevée ; ils peuvent également être plus robustes dans certaines conditions environnementales, telles que la brume sèche, la poussière ou les aérosols fins.

Le défi avec le lidar à 1500 nm est lié au coût du système, lequel est dans une large mesure déterminé par la technologie de photodétection utilisée (elle est actuellement basée sur l'arséniure d'indium-gallium, l'InGaAs). La réalisation d'une solution de qualité conjuguant une sensibilité élevée, un faible courant d'obscurité et une capacité peu élevée est la clé du lidar à 1500 nm. De plus, à mesure que les lidars progresseront vers les 2^e et 3^e générations, il sera indispensable d'intégrer des circuits applicatifs optimisés afin de réduire les dimensions, la consommation et le coût global du système.

Outre les ultrasons, les caméras, les radars et les lidars, d'autres procédés de détection jouent un

rôle essentiel en faveur du développement de modes de transport autonome entièrement cognitifs. Le GPS permet à un véhicule de savoir à tout instant où il se trouve. Toutefois, les signaux GPS ne sont pas toujours disponibles, par exemple dans les tunnels et les immeubles de grande hauteur. C'est dans ce contexte que les centrales inertielles peuvent tirer leur épingle du jeu.

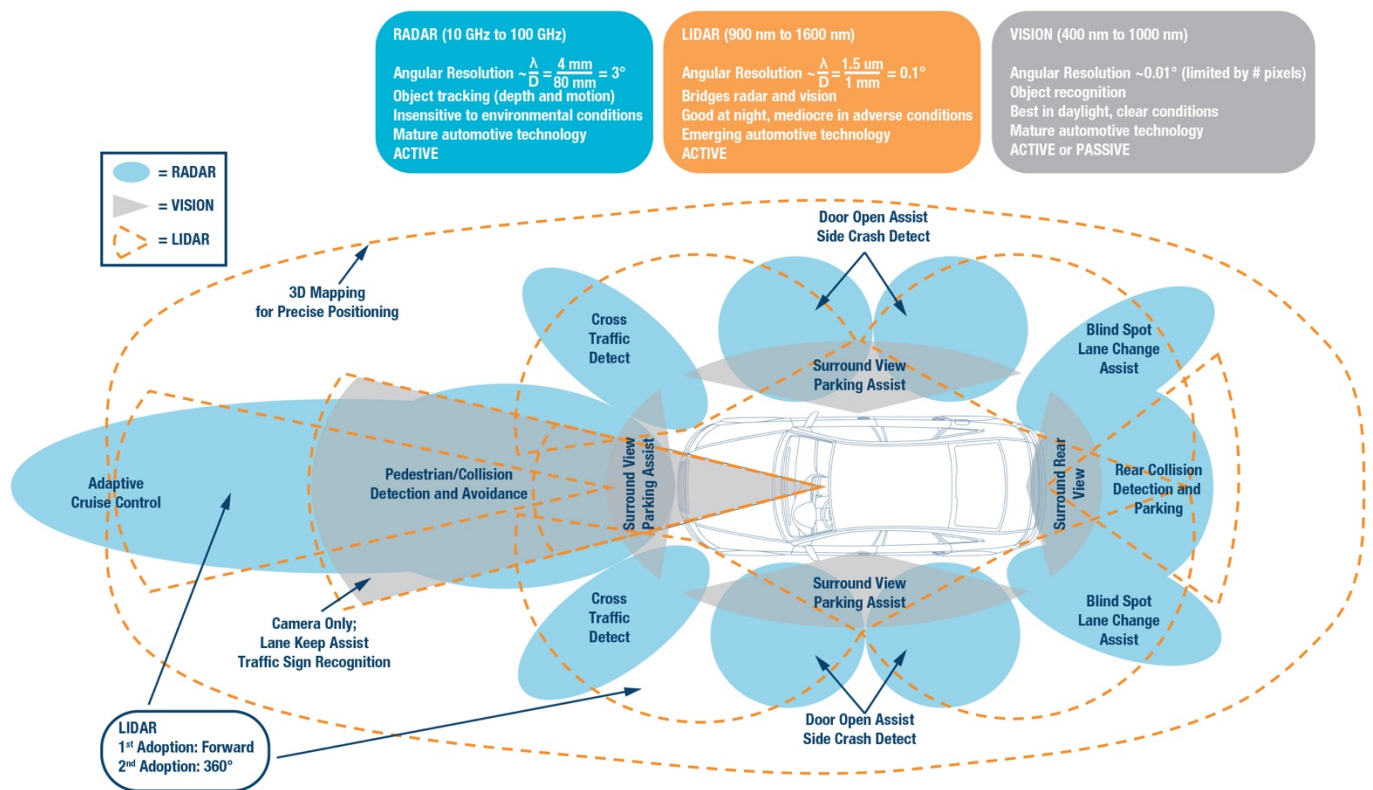


Figure 6. Le véhicule entièrement cognitif sera en grande partie rendu possible grâce à la visibilité sur 360 degrés et à l'utilisation de radars, de lidars et de caméras de haute technologie, ainsi que de centrales inertielles et d'ultrasons.

Bien que souvent négligées, les centrales inertielles (IMU) sont liées à la gravité, une valeur qui demeure constante indépendamment des conditions environnementales. À ce titre, elles sont très utiles pour la navigation à l'estime (*dead reckoning*). En l'absence temporaire de signal GPS, la navigation à l'estime s'appuie sur des données issues de sources telles que l'indicateur de vitesse et les centrales inertielles pour détecter la direction et la distance parcourue, et superpose celles-ci sur des cartes haute définition. Ceci maintient un véhicule cognitif sur la bonne trajectoire jusqu'à ce qu'un signal GPS soit de nouveau disponible.

Des données de haute qualité pour gagner du temps et sauver des vies

Quelle que soit l'importance de ces modes de détection, les données fournies ne sont d'aucune utilité si les capteurs eux-mêmes ne sont pas fiables et si les signaux qu'ils transmettent ne sont pas perçus correctement et convertis en données de haute précision : jamais l'expression « garbage in, garbage out » n'a été aussi pertinente.

Pour ce faire, même les chaînes de signaux analogiques les plus avancées doivent être sans cesse améliorées pour détecter, acquérir et numériser les signaux produits en sortie des capteurs afin que leur exactitude et leur précision ne dérivent pas avec le temps ou en fonction de la

température. En utilisant les bons composants et les bonnes pratiques de conception, l'effet de difficultés notoires telles que la dérive du courant de polarisation avec la température, le bruit de phase, les interférences et autres phénomènes à l'origine d'instabilités peut être grandement minimisé. Des données de hautes précision et qualité sont indispensables pour que l'apprentissage machine et les processeurs d'intelligence artificielle soient correctement formés et prennent les bonnes décisions, une fois en service. Et dans ce domaine, les secondes chances sont rares.

Après vérification de la qualité des données, les différentes approches de fusion des capteurs et des algorithmes d'IA peuvent tendre de façon optimale vers un résultat positif. C'est un fait : quelle que soit la qualité de l'apprentissage dispensé à un algorithme d'IA, lorsqu'un modèle a été compilé et déployé sur des dispositifs en extrémité du réseau, son efficacité est intégralement liée à la fiabilité et à la précision des données collectées par les capteurs.

Cette interaction entre les modalités des capteurs, la fusion de leurs données, le traitement du signal et l'intelligence artificielle a des effets profonds sur l'évolution des véhicules autonomes cognitifs et intelligents, mais également sur la confiance avec laquelle nous pouvons assurer la sécurité des conducteurs, des passagers et des piétons. Cependant, cette approche demeurera vaine faute d'informations fiables, précises et exactes fournies par des capteurs de précision, véritable préalable à la sécurité des véhicules autonomes.

Comme pour toute technologie de pointe, plus nous progressons, plus les scénarios deviennent complexes et exigent des solutions sophistiquées. Cette complexité dépasse les capacités de la technologie existante, et nous allons devoir attendre la prochaine génération de capteurs et d'algorithmes de fusion des données pour résoudre ces problèmes.

Comme la première mission lunaire « Moonshot », en son temps, les initiatives menées en faveur des véhicules autonomes devraient avoir un impact durable et profond sur la société. Le passage de l'assistance au remplacement pur et simple du conducteur améliorera non seulement la sécurité des transports de façon spectaculaire mais il apportera également de formidables gains de productivité. Cet avenir repose sur un socle, les capteurs, sur lequel s'appuie l'ensemble de l'écosystème.

Analog Devices s'investit depuis 25 ans en faveur de la sécurité automobile et des technologies d'aide avancée à la conduite (ADAS). ADI jette aujourd'hui les bases d'un avenir autonome. Organisé autour de centres d'excellence dédiés à la navigation et à la surveillance inertiels ainsi qu'aux technologies radar et lidar de hautes performances, Analog Devices propose des capteurs et des solutions pour chaînes de signal/puissance. Ces outils augmenteront considérablement les performances et réduiront également le coût total de possession de l'ensemble de la plateforme. La concrétisation de cet avenir s'accélère.