

Besoin, techniques et avantages de la fusion de données brutes des capteurs dans les systèmes ADAS et AD en matière de détection et de perception

Date de publication : 24 novembre 2023

Résumé analytique

Le présent livre blanc explique le besoin d'une solution de perception reposant sur la fusion de données brutes des capteurs pour les systèmes avancés d'aide à la conduite (systèmes ADAS) et de conduite autonome (systèmes AD). Ce document explique le principe, les configurations et le fonctionnement de la fusion de capteurs et en démontre une application pratique dans les systèmes ADAS grâce à l'estimation de l'attitude. Il conclut par la présentation de la solution commercialement disponible sur le marché aujourd'hui.

Qu'est-ce que la fusion de capteurs et la perception?

La fusion de capteurs est le fait de fusionner les données provenant d'un minimum de deux capteurs. Dans les véhicules autonomes, la perception fait référence au traitement et à l'interprétation des données générées par les capteurs afin de détecter, d'identifier, de classer et de suivre des objets. La fusion de capteurs et la perception permettent à un véhicule autonome d'élaborer un modèle 3D du milieu environnant qui alimente l'unité de commande du véhicule.

En quoi la fusion de capteurs sert-elle les solutions ADAS et AD?

Les solutions actuelles de fusion de capteurs pour les systèmes ADAS et AD font de la fusion de niveau objet, dans laquelle chaque capteur (p. ex., radar, caméra, LiDAR), avec les limitations qui lui sont propres, identifie et répertorie les objets individuellement. Cet état de choses n'est pas idéal et entraîne des performances médiocres, car aucun capteur ne peut à lui seul détecter tous les objets dans toutes les conditions. Chaque type de capteur comporte ses propres limitations, et le Tableau 1 ci-dessous donne un aperçu de ses forces et faiblesses respectives.

Tableau 1 – Comparaison des capteurs pour les applications ADAS et AD

	Caméra	Radar	LiDAR
Perception de la profondeur	Mauvaise	Supérieure	Bonne
Résolution	Supérieure	Mauvaise	Moyenne
Coût	Peu élevé	Peu élevé	Élevé
Performance par météo défavorable	Mauvaise	Supérieure	Bonne
Caractéristiques	Capacité de distinguer panneaux, voies de circulation, couleurs (RGB)	Longue portée, faible résolution	Portée moyenne, haute résolution

Une caméra est très efficace pour percevoir l'information RGB¹, identifier et distinguer les objets, et possède une haute résolution. Par contre, la performance des caméras diminue sensiblement dans des conditions météorologiques défavorables comme le brouillard, la neige, la pluie ou la lumière du soleil qui brille contre l'objectif, de même que dans des conditions de faible éclairage comme la nuit.

Un radar peut fournir de l'information sur la distance et la vitesse des objets dans l'environnement. De plus, les radars sont efficaces dans des conditions météo défavorables. Par contre, ils présentent un inconvénient majeur, à savoir une faible résolution. À grande distance, les radars sont incapables de distinguer deux objets faiblement espacés. Ce défaut compromet gravement la sécurité et la fiabilité des systèmes ADAS. Un radar incapable de faire la distinction entre deux objets différents pourrait faire en sorte que le véhicule continue de se déplacer alors qu'il aurait dû s'arrêter.

Les LiDARs compensent les faiblesses des radars en offrant une meilleure résolution à grande distance. Cependant, le coût des LiDARs est élevé.

Les solutions de perception traditionnelles prennent des décisions sur la base de la compréhension de l'environnement par chaque capteur. La fusion de capteurs utilise les données brutes générées par toutes les modalités de capteurs, et permet d'atténuer les limitations de capteurs spécifiques (p. ex., limitations de la caméra par mauvais temps) en tirant parti des autres capteurs (radar et/ou LiDAR).

De plus, lorsque les données de capteurs ne sont pas fusionnées, le système risque de recevoir de l'information contradictoire des capteurs et de ne pas pouvoir déterminer avec un degré de certitude acceptable la marche à suivre. Par exemple, supposons qu'un obstacle est détecté par la caméra mais pas par le LiDAR ou le radar : le système hésitera à savoir si le véhicule doit s'arrêter ou non, ce qui peut entraîner un accident.

¹ Rouge, vert, bleu.

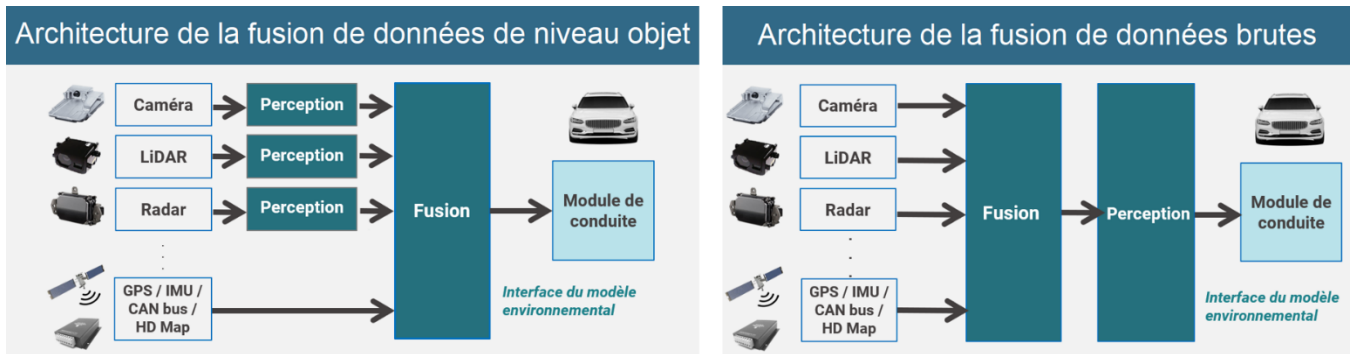


Figure 1 – Comparaison entre l’architecture de la fusion de niveau objet et la fusion de données brutes

Les solutions existantes de fusion de capteurs et de perception sont centrées sur la caméra, tandis que la fusion des autres capteurs se fait généralement au niveau de l’objet. Ces solutions axées autour de caméras 2D affichent des performances médiocres en termes de :

- Positionnement
- Précision
- Estimation de la taille et de l’orientation des objets
- Détection des objets dans des conditions d’éclairage dégradées

Configurations de la fusion de capteurs dans les systèmes ADAS et AD

Comme il a été établi que les solutions de perception sont plus efficaces grâce au parti qu’elles tirent de la fusion de capteurs, cette section explore plus en détail certaines techniques utilisées. Tel que décrit dans la littérature scientifique², la fusion de capteurs fonctionne sous trois configurations principales.

- **Fusion complémentaire** : dans une configuration complémentaire, les données de chaque capteur sont *assemblées* pour fournir toute l’information requise. Par exemple, plusieurs radars installés sur différents côtés du véhicule peuvent s’associer pour avertir le conducteur d’un objet à proximité immédiate du véhicule, offrant ainsi une protection à 360 degrés.
- **Fusion concurrentielle** : dans une configuration concurrentielle, chaque capteur fournit la même mesure, que le système traite ensuite pour donner une lecture plus fiable. Un avantage important d’un tel système est une redondance accrue puisque, en cas de défaillance d’un capteur, l’autre peut être utilisé pour fournir la même mesure. Par exemple, un véhicule peut être équipé de deux compteurs de vitesse (analogique et numérique), et sa vitesse réelle déterminée en faisant la moyenne des mesures générées par chacun des capteurs.

Un autre exemple de fusion concurrentielle de capteurs est l’utilisation d’un radar et d’un LiDAR pour mesurer la distance jusqu’au prochain véhicule. Les deux capteurs mesurent le même paramètre, et l’algorithme de fusion de capteurs traite les données générées par les deux types de capteurs. Cette souplesse d’intégration de plusieurs modalités (types de capteurs) dans l’algorithme de fusion de données est critique pour la fiabilité et la sécurité d’un système ADAS ou AD. Les solutions futures de fusion de capteurs et de perception pour l’ADAS et l’AD devront être assez souples pour pouvoir s’adapter à n’importe quelle combinaison de capteurs sans qu’il soit nécessaire de réécrire les algorithmes.

² H. F. Durrant-Whyte. “Sensor Models and Multisensor Integration.” International Journal of Robotics Research, 7(6):97–113, Dec. 1988. <https://netwerkt.wordpress.com/2011/03/30/the-different-types-of-sensor-fusion-complementary-competitive-and-cooperative/>

- **Fusion coopérative** : dans une configuration coopérative, deux capteurs fournissent des données qui n'auraient pas été disponibles avec le recours à un seul capteur. Dans le contexte du véhicule autonome, cela peut prendre la forme de caméras stéréoscopiques qui seraient utilisées pour l'imagerie 3D et la compréhension de la profondeur, autant d'information impossible à déterminer avec une caméra seule.

Un autre exemple de fusion coopérative de capteurs est l'utilisation d'une caméra avec un radar ou d'une caméra avec un LiDAR pour élaborer un modèle environnemental RGBD³ 3D afin de réaliser la détection, la classification et le suivi des objets.

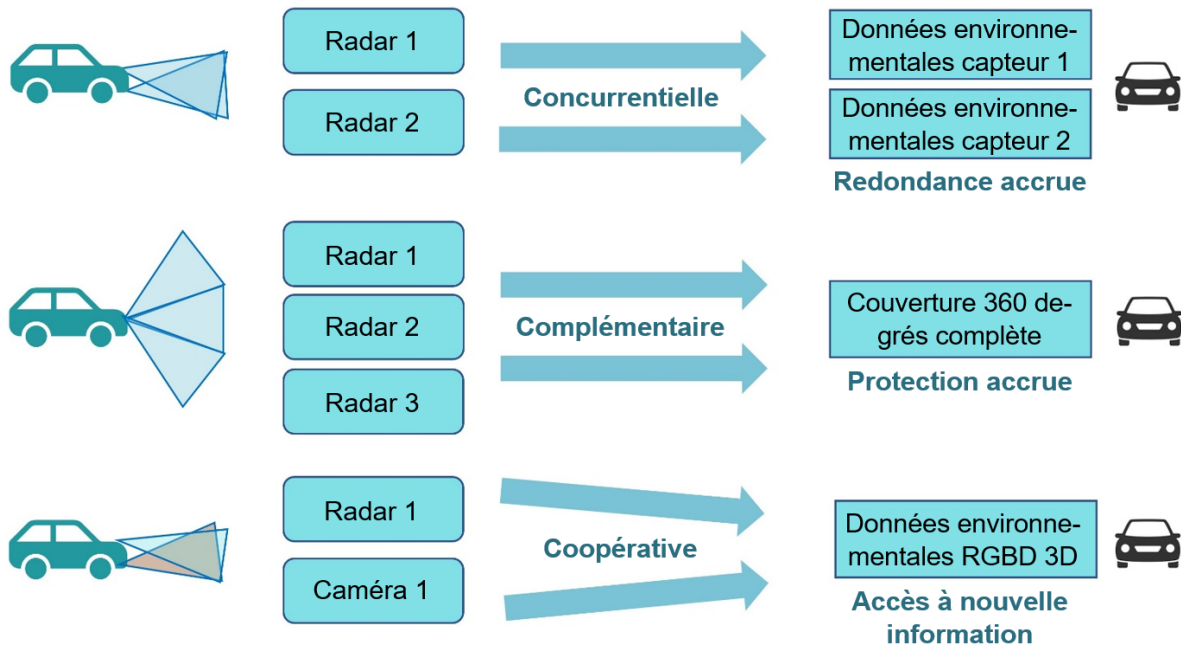


Figure 2 – Fusion concurrentielle, complémentaire et coopérative

Une approche théorique de l'estimation de l'attitude grâce à la fusion de capteurs

L'estimation de l'attitude, ou estimation de l'orientation, constitue la base des systèmes d'unités de mesure inertielle (IMU). Quelques définitions sont fournies ci-dessous, avant une description de la manière dont la fusion de capteurs est utilisée dans les systèmes UMI.

- **Magnétomètre** : appareil qui mesure un champ magnétique (dans cette application, le magnétisme terrestre).
- **Gyroscope** : appareil qui mesure ou maintient la vitesse angulaire et l'orientation d'un objet.
- **Accéléromètre** : appareil qui mesure l'accélération d'un objet.
- **Roulis** : rotation autour de l'axe longitudinal. Exemple de mouvement de roulis : le côté (gauche ou droit) d'un véhicule se soulève sous l'effet d'un virage à grande vitesse.
- **Tangage** : rotation autour de l'axe transversal. Exemple de mouvement de tangage : l'avant ou l'arrière d'un véhicule se soulève en raison de la présence de nids-de-poule.
- **Lacet** : rotation autour de l'axe vertical.

³ Rouge, vert, bleu + profondeur.

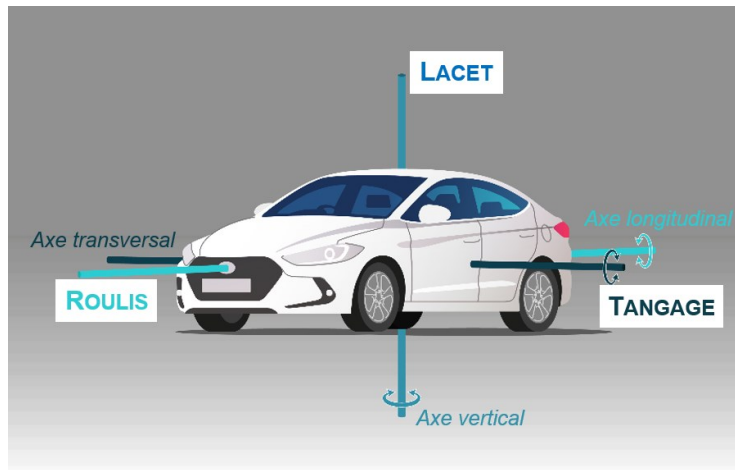


Figure 3 – Illustration de l'axe de roulis, de tangage et de lacet d'un véhicule

La position d'un objet dans un environnement tridimensionnel peut être représentée en attribuant une valeur aux axes x, y et z. Le roulis, le tangage et le lacet définissent l'orientation 3D de l'objet. Au temps $t = 0$, si l'orientation de l'objet est connue, alors au temps $t = 5$ (5 secondes plus tard) l'orientation de l'objet sera connue si les valeurs du gyroscope, de l'accéléromètre et du magnétomètre (c.-à-d., roulis, tangage et lacet) sont connues pendant cet intervalle.

Un gyroscope fournit les données de roulis, de tangage et de lacet. Les gyroscopes se caractérisent par leur faible bruit. Cependant, ils souffrent d'instabilités de biais, ce qui entraîne une dérive de la valeur vraie dans le temps.

Les accéléromètres fournissent des données d'accélération le long des axes x, y et z. À partir de là, les données de roulis et de tangage peuvent être calculées à l'aide des formules mathématiques ci-dessous :

$$\text{Roulis} = \phi = \arctan(a_y/a_z)$$

a_y = accélération dans la direction y

a_z = accélération dans la direction z

$$\text{Tangage} = \theta = \arcsin(a_x/g)$$

a_x = accélération dans la direction x

g = gravité

De même, il est possible d'effectuer des calculs mathématiques sur les lectures du magnétomètre pour obtenir les données de lacet.

Tandis qu'un gyroscope seul pourrait fournir toutes les données requises (roulis, tangage et lacet), le capteur gyroscopique n'est pas fiable seul, vu les faiblesses qu'il présente telles que des instabilités de biais et une dérive de la valeur vraie dans le temps. D'autre part, un accéléromètre peut fournir des données sur le roulis et le tangage; cependant, les accéléromètres souffrent d'un bruit élevé. Par conséquent, pour obtenir des données précises et fiables, on fusionne les données des deux capteurs (accéléromètre et gyroscope) pour pouvoir compenser les faiblesses de l'autre capteur. Toutefois, puisqu'on ne peut pas utiliser les accéléromètres pour calculer le lacet, la valeur de lacet obtenue par le gyroscope seul serait inexacte; il est donc utile de combiner les données d'un magnétomètre pour ajouter de la fiabilité et de la confiance aux résultats.

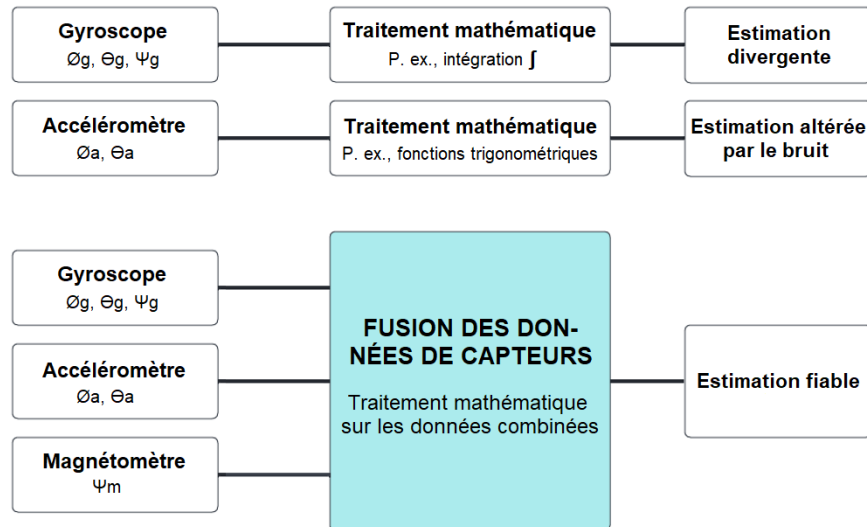


Figure 4 – Avantage de la fusion gyroscope + accéléromètre + magnétomètre pour l'estimation de l'attitude

Solution de perception commerciale pour systèmes ADAS et AD basée sur la fusion de capteurs

[LeddarVision™](#) est une solution de fusion de données brutes des capteurs et de perception qui génère un modèle environnemental RGBD 3D intégré multicapteurs pour architectures GPS, IMU, caméra, radar et LiDAR dédiée aux systèmes ADAS et aux véhicules autonomes.

LeddarVision pour l'ADAS et l'AD

LeddarVision repose sur la fusion de données brutes des capteurs et offre quatre avantages distincts aux équipementiers et aux fournisseurs automobiles de rang 1 et 2.

- **Performance accrue** : détection, classification et suivi précis des objets.
- **Flexibilité** : une solution indépendante des capteurs compatible avec de multiples jeux et architectures de capteurs (caméras, radars et LiDARs).
- **Évolutivité** : une solution conçue pour être évolutive et satisfaire aux exigences des systèmes ADAS de niveau 2, 2+ et 3 et de conduite autonome de niveau 4 et 5.
- **Fiabilité** : fonctions de redondance intégrée, autodiagnostic et pratiques de gestion de la qualité et de développement de produit conformes aux exigences de l'industrie automobile.



Les capacités de fusion de données brutes des capteurs de LeddarVision, alliées aux fonctionnalités de synchronisation des capteurs et de suréchantillonnage, sous-tendent la performance supérieure de LeddarVision en termes de détection des objets et de reconstruction d'un modèle environnemental RGBD 3D précis. LeddarVision ajoute des données temporelles (c.-à-d., de l'information générée par de multiples images) et réalise des mesures multiples sur chaque objet individuel, ce qui permet de réduire les erreurs de mesure et d'augmenter la précision des résultats. De toutes les soumissions faites à nuScenes™ entre 2019 et 2021, le RCF360v2 de LeddarVision est la solution radar/caméra la plus performante pour la détection des objets 3D. LeddarVision se caractérise par :

- Détection exacte et précise
- Réduction des faux positifs
- Réduction des faux négatifs
- Égomouvement et planification de la trajectoire
- Performances supérieures dans des conditions défavorables
- Résolution de l'information contradictoire en provenance des capteurs
- Redondance intégrée

Des ressources complémentaires sur la fusion de données brutes des capteurs et LeddarVision sont disponibles sur leddartech.com :

- [Vidéos de démonstration](#)
- [Brochure](#)
- [E-book sur la fusion de capteurs et la perception](#)
- [FAQ sur la perception](#) (en anglais)

Le présent livre blanc ne constitue pas un modèle de référence. Les recommandations contenues aux présentes sont fournies « en l'état » et sans garantie quant à leur exhaustivité ou leur exactitude.

LeddarTech® a tout mis en œuvre pour s'assurer que les renseignements contenus dans le présent document sont exacts. La totalité des renseignements contenus aux présentes sont fournis « en l'état ». LeddarTech ne pourra être tenue pour responsable d'aucune erreur ou omission dans le présent document ni d'aucun préjudice découlant de l'information contenue aux présentes ou y afférent. LeddarTech se réserve le droit de modifier la conception ou les caractéristiques de ses produits à tout moment, sans préavis et à sa seule discrétion.

LeddarTech ne répond pas de l'installation de ses produits ni de l'usage qui en est fait, et décline toute responsabilité si un produit est utilisé pour une application pour laquelle il ne convient pas. Il vous incombe entièrement (1) de sélectionner les produits appropriés pour votre application, (2) de valider, concevoir et tester votre application, et (3) de vous assurer que votre application répond aux normes de sûreté et de sécurité en vigueur.

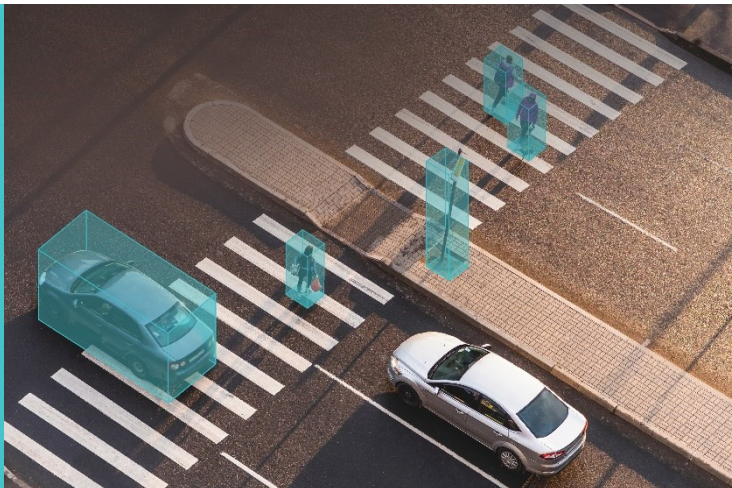
De plus, les produits LeddarTech sont assujettis aux conditions générales de vente de LeddarTech ou autres conditions applicables convenues par écrit. En achetant un produit LeddarTech, vous vous engagez également à lire attentivement l'information contenue dans le guide d'utilisation qui accompagne le produit acheté et à y être lié.

Leddar, LeddarTech, LeddarVision, LeddarSP, VAYADrive, VayaVision et les logos associés sont des marques de commerce ou des marques déposées de LeddarTech Holdings Inc. et de ses filiales. Tous les autres noms de marques, noms de produits et marques sont ou peuvent être des marques de commerce ou des marques déposées utilisées pour désigner les produits ou les services de leurs propriétaires respectifs.

À propos de LeddarTech

Entreprise mondiale de logiciels fondée en 2007, basée à Québec et disposant de centres de R&D supplémentaires à Montréal, Toronto et Tel Aviv (Israël), LeddarTech développe et propose des solutions logicielles complètes de fusion bas niveau de capteurs et de perception reposant sur l'intelligence artificielle qui permettent le déploiement d'applications ADAS, de conduite autonome (AD) et de stationnement. Le logiciel de classe automobile de LeddarTech applique des algorithmes d'intelligence artificielle et de vision numérique avancés afin de générer des modèles 3D précis de l'environnement, pour une meilleure prise de décision et une navigation plus sûre. Cette technologie performante, évolutive et économique permet la mise en œuvre efficace de solutions ADAS pour véhicules automobiles et hors route par les équipementiers et les fournisseurs de rang 1 et 2. Ayant déposé plus de 150 demandes de brevets (dont 80 accordées) qui améliorent les capacités des systèmes d'aide à la conduite, de conduite autonome et de stationnement, l'entreprise a contribué à plusieurs innovations liées à des applications de télédétection. Une meilleure perception sensorielle de l'environnement autour du véhicule est essentielle pour rendre la mobilité plus sûre, plus efficace, plus durable et plus abordable : c'est ce qui motive LeddarTech à vouloir devenir la solution logicielle de fusion de capteurs et de perception la plus largement adoptée.

Renseignements complémentaires : sales@leddartech.com



LeddarTech®

CANADA – ÉTATS-UNIS – AUTRICHE – FRANCE – ALLEMAGNE – ITALIE – ISRAËL – HONG KONG – CHINE

Siège social

4535, boulevard Wilfrid-Hamel, bureau 240
Québec (Québec) G1P 2J7, Canada
leddartech.com

Tél. : + 1-418-653-9000

Sans frais : 1-855-865-9900