

Applications de l'imagerie et du traitement d'images aux systèmes d'aide à la conduite automobile

Jean-François BOISSOU

PSA Peugeot Citroën

Direction de la Recherche et de l'Ingénierie Avancée – UEI Sécurité et Visibilité

jeanfrancois.boissou@mpsa.com

S'appuyant sur les progrès des capteurs et des technologies de traitement d'images, et dopés par les évolutions consuméristes et réglementaires, les systèmes d'imagerie investissent de manière croissante les véhicules automobiles. Leur contribution est indispensable à de nombreuses fonctions qui viennent assister le conducteur, dans les domaines du confort comme de la sécurité.

Un déploiement favorisé par de multiples facteurs

L'idée d'exploiter la vidéo et le traitement d'images pour aider le conducteur dans diverses tâches de conduite n'est pas récente, puisque des projets ont été menés sur le sujet dès les années 70.

C'est toutefois plus récemment, à la fin des années 90, que sont apparus les premiers systèmes embarqués. Ils n'ont cessé de se déployer depuis, sous l'effet conjugué de plusieurs facteurs :

- les progrès des technologies des capteurs, en particulier des imageurs CMOS haute dynamique qui permettent l'acquisition d'une image exploitable sur la totalité d'une scène pouvant présenter de très forts contrastes ;
- l'augmentation constante des puissances de calcul disponibles sous des volumes et des consommations compatibles des applications automobiles (une caméra multi-fonctions, intégrant son calculateur de traitement d'images, est en général montée en haut de pare-brise, au niveau du pied de rétroviseur ; sa consommation est de quelques W) ;
- la démocratisation des systèmes d'aide à la conduite, auparavant cantonnés aux véhicules très haut de gamme et qui maintenant trouvent leur place dans les segments inférieurs, tirés dans ce sens par la

baisse des coûts et par la demande croissante des marchés.

Il faut signaler sur ce dernier point l'importance cruciale que vont revêtir à l'avenir les technologies des capteurs tels que les radars et les caméras pour contribuer à la sécurité des véhicules. En effet les moyens dits de sécurité secondaire, qui

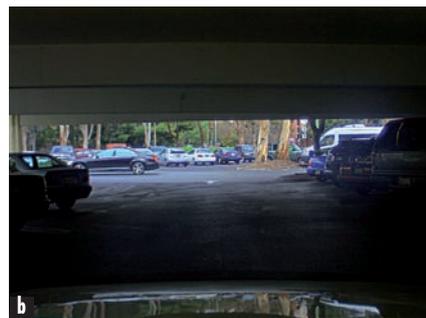


Figure 1. Scène à fort contraste vue par un capteur standard (a) et par un capteur haute dynamique (b) (Aptina).

sont efficaces au cours du choc (airbags, ceintures de sécurité, optimisation de la structure du véhicule...), ont atteint un très haut niveau d'efficacité et il faut chercher ailleurs un relai d'amélioration. Ce potentiel se trouve dans les systèmes de sécurité primaire, actifs dans les quelques secondes précédant un accident (alertes, freinage automatique, action sur la direction...) ; et dans les systèmes informatifs qui anticipent encore plus et préviennent le conducteur des risques potentiels (limitations de vitesse, zones à risques...). Cette capacité d'anticipation est apportée par les capteurs extéroceptifs, au premier rang desquels figurent les systèmes d'imagerie (figures 1 et 2).



Figure 2. Caméra multi-fonctions Kostal équipant la Citroën DS5.

On peut distinguer deux principaux types de fonctions d'assistance qui exploitent des capteurs vidéo : les aides à la vision périphérique, exploitées pour les manœuvres à basse vitesse et qui impliquent

en général une restitution au conducteur de l'image de la scène ; et les aides à la conduite, potentiellement actives sur toute la plage de vitesse du véhicule, et qui s'appuient quasi-exclusivement sur un traitement automatique des images.

Vision périphérique et aides à la manœuvre

Il s'agit dans ce cas de surveiller la proximité immédiate du véhicule (jusqu'à quelques mètres). Une image est restituée au conducteur, enrichie selon les cas d'incrustations qui matérialisent le gabarit et la trajectoire, ainsi que les obstacles les plus proches. La fonction la plus connue historiquement est l'aide visuelle au recul, qui consiste à afficher sur l'écran de navigation une image de la zone arrière du véhicule lorsque la marche arrière est enclenchée. En zone avant, on peut restituer une image de la zone frontale masquée par le capot, ou encore aider le conducteur à visualiser les zones latérales par exemple lorsqu'il sort d'une voie étroite sans visibilité sur le trafic. Enfin la « vision 360° » permet au conducteur d'avoir une vue aérienne de son véhicule sur toute sa périphérie (figure 3).

Ces systèmes exploitent des caméras grand champ (130° à 180° ou plus), de petite taille pour faciliter leur intégration en différents endroits de la carrosserie (volet arrière, face avant, pieds des rétroviseurs latéraux) (figure 4). Les enjeux techniques portent en premier lieu sur la qualité de l'image restituée (dynamique et distorsion), qui doit être directement exploitable par le conducteur. Au-delà, l'analyse automatique de l'image donne accès à un niveau d'assistance supplémentaire : détection des obstacles proches et des piétons, repérage des marquages au sol pour aider ou prendre en charge une manœuvre de stationnement... Le couplage avec les capteurs ultrasons d'aide au stationnement peut enfin être exploité pour améliorer la robustesse de détection des obstacles. Grâce à ces capacités de détection, les caméras de vision périphérique seront également amenées à contribuer de manière croissante aux fonctions d'aide à la conduite détaillées ci-dessous

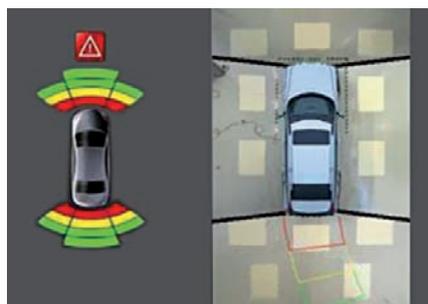


Figure 3. Comparaison des informations restituées au conducteur par un système ultrasons (à gauche) et par un système de vision périphérique (à droite).



Figure 4. Caméra de recul équipant la Citroën DS5.

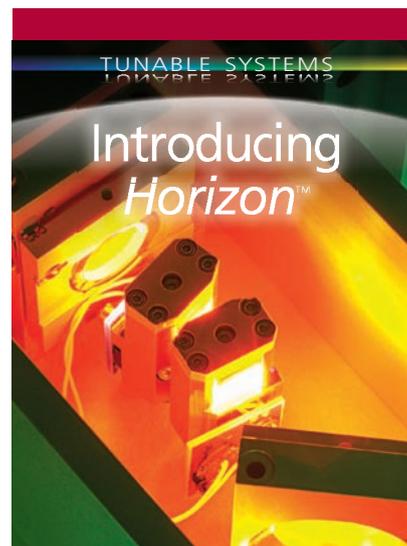
– au-delà de leur application première qui consiste à aider le conducteur à visualiser l'environnement proche de son véhicule.

Vision frontale et aides à la conduite

S'agissant de contribuer à la sécurité et au confort dans les situations de conduite normale du véhicule, la caméra doit alors être orientée vers l'avant et disposer d'une portée cohérente avec les capacités d'anticipation attendues du système. On privilégie donc la résolution limitant le champ à une quarantaine de degrés typiquement. Selon les obstacles considérés, la portée de détection peut alors atteindre une centaine de mètres avec un capteur au format WVGA comptant plus de 800 pixels par ligne.

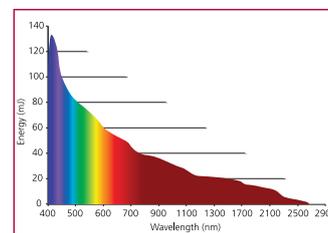
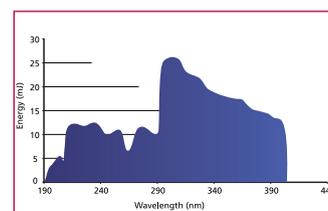
Apports de la vidéo et du traitement d'images

Des algorithmes de traitement spécifiques ont aujourd'hui atteint un niveau de performance élevé et permettent d'extraire, de jour comme de nuit, les informations



Beyond Power and Performance

Using our new integrated optical design, **Horizon** OPO offers the highest conversion efficiency of any mid-band OPO and the widest gap-free tuning range, from 192–2750 nm, all in a single monolithic platform. To explore the new Horizon visit: continuumlasers.com



Continuum®

22 Avenue de la Baltique
ZAC de Courtaboeuf
91 140 Villebon sur Yvette
France
info@continuumlasers.com
Tel: +33 (0)1 69 74 13 80

visuelles présentes dans la scène. Au premier plan de ces informations figurent :

- les limites des voies de circulation (marquages) et de la chaussée,
- les panneaux de signalisation,
- les obstacles et autres usagers (camions, voitures, deux-roues motorisés ou non, piétons...),
- les éléments d'infrastructure en général,
- les points lumineux (éclairage urbain, projecteurs et feux de signalisation des véhicules...) et de manière croissante des éléments utiles à l'interprétation de l'environnement et à la compréhension du scénario de conduite.

Il convient de rappeler que les caméras ne sont pas les seuls capteurs extéroceptifs utilisés pour les fonctions d'aide à la conduite automobile. On a cité plus haut les systèmes ultrasons, davantage adaptés aux manœuvres à basse vitesse, et dont la portée est limitée à quelques mètres. Pour les applications plus dynamiques, on utilise en général un radar dont la portée peut atteindre 150 à 200 m, et qui fournit une mesure précise de la distance (temps de vol) et de la vitesse relative (effet Doppler) des objets.

Le tableau ci-dessous récapitule les points forts des technologies radar et vidéo pour la détection d'obstacles. Il apparaît clairement qu'elles sont complémentaires, raison pour laquelle les systèmes les plus performants s'appuient sur la fusion des données fournies par ces deux types de capteurs (figure 5).

Si l'on ajoute à cela que seuls les capteurs vidéo peuvent analyser les nombreuses informations visuelles spécifiques à l'environnement routier (marquages, panneaux de signalisation, feux des véhicules...), il apparaît clairement que la

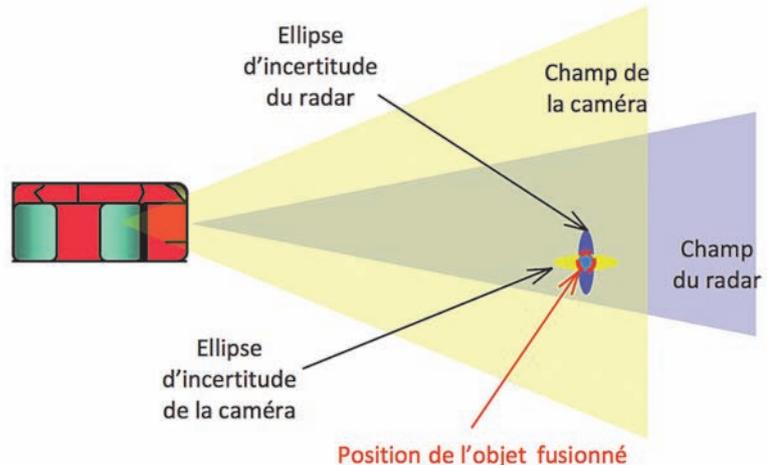


Figure 5. Amélioration des performances par fusion radar - caméra (échelles non respectées).

vidéo associée au traitement d'images, constitue un système de détection indispensable au développement des systèmes d'aide à la conduite automobile (figures 6 et 7).

On parlera ci-dessous des applications accessibles avec les caméras frontales actuelles.

Fonctions d'aide à la conduite exploitant la caméra frontale

La première application historique est la **détection des marquages au sol** qui matérialisent les limites de la voie de circulation du véhicule.

Les données extraites de l'image sont principalement la position latérale du véhicule par rapport à chaque ligne, son orientation par rapport à l'axe de la voie, la courbure de la route, le type de marquage, l'indice de confiance associé à la qualité de la détection. Ces informations sont exploitées par les fonctions LDW (lane departure warning) ou LKA (lane keeping assistance). Dans les deux cas,

l'objectif est de fournir une assistance si le véhicule dérive vers l'extérieur de sa voie, par exemple en cas de baisse de vigilance du conducteur. Cette assistance prend la forme d'une alerte, voire d'une légère correction de trajectoire qui contribue à maintenir le véhicule dans sa zone de sécurité. L'enjeu est d'assurer une détection fiable en présence de marquages de types et de qualités très variés, avec un bon taux de réjection des lignes non pertinentes (sorties d'autoroutes...).



Figure 6. Détection de véhicules, de marquages au sol et de panneaux (Mobileye).



Figure 7. Détection de piétons (Mobileye).

Points forts des technologies radar et caméra pour la détection d'obstacles.

	Caméra	Radar
Portée	+	++
Capacité à détecter les piétons	+	
Précision de la mesure de distance	+	++
Précision de la mesure de vitesse relative		++
Résolution angulaire	+	
Mesure de la taille de l'obstacle	+	
Classification du type d'objet (véhicule, piéton...)	+	
Fonctionnement par conditions de visibilité dégradée (nuit, nébulosité, soleil rasant...)		+

La **détection des points lumineux** est exploitée pour le contrôle des projecteurs. Lorsque la caméra détecte la présence d'autres véhicules, elle peut forcer le passage en feux de croisement pour éviter d'éblouir les autres conducteurs. D'autres fonctions, plus sophistiquées et exploitant également les données issues de la caméra, assurent l'anti-éblouissement en optimisant l'éclairage par les projecteurs. Ce sont les fonctions *progressive beam*, qui adaptent l'orientation verticale du faisceau lumineux pour le maintenir en dessous du champ de vision des autres conducteurs ; et *non-glaring high beam*, qui pilote des obturateurs conçus pour générer un « tunnel » sombre autour des véhicules croisés ou suivis.

La reconnaissance des éclairages urbains est enfin exploitée pour passer en codes en agglomération.

L'enjeu principal est ici d'assurer la réactivité de la détection sans confondre les feux des autres véhicules avec des points brillants sur lesquels la fonction ne doit pas réagir (panneaux de signalisation, réflecteurs...).

La **détection des panneaux de signalisation** concerne pour l'instant surtout les limitations de vitesse. Les panneaux sont détectés et identifiés par des modules logiciels spécifiques, qui savent également interpréter certains panneaux associés (flèches, symboles « poids lourds »...). L'information fournie par la caméra peut être complétée par celles issues des bases de données de navigation. Celle-ci apporte une connaissance de l'infrastructure, alors que la caméra contribue par une détection en temps réel, indépendante des délais de mise à jour des bases cartographiques.

Aujourd'hui purement informatifs, les systèmes liés à la limitation de vitesse devraient de manière croissante et sous la pression des instances consuméristes (Euro NCAP), être capables d'alerter le conducteur voire de prendre la vitesse réglementaire comme consigne pour le régulateur d'allure (fonction *smart speed assistance*).

La difficulté principale à laquelle sont confrontés les algorithmes n'est pas tant de détecter les panneaux – les performances en la matière sont excellentes,

dans un très grand nombre de pays ; mais plutôt de distinguer ceux qui ne sont pas pertinents car ne concernant pas le véhicule doté de la fonction. Par exemple, les informations de limitations de vitesse inscrites à l'arrière des poids lourds ne doivent pas être prises en compte ; la vitesse réduite sur les voies de sortie d'autoroute ne doit pas être validée pour un véhicule qui poursuit son trajet sans sortir... À l'avenir la liste des panneaux détectés s'enrichira pour inclure les différentes informations de danger ou d'interdictions, toujours dans le but d'informer le conducteur et de l'aider à prendre en compte les informations relatives à la sécurité.

L'analyse d'image est un contributeur majeur de la **détection d'obstacle**. Les applications sont essentiellement orientées vers la sécurité du véhicule : aide au maintien d'une distance de suivi, *forward collision warning* (alerte en cas de risque de collision), *automatic emergency braking* (déclenchement d'un freinage automatique dans les derniers instants avant un choc). Pour les besoins de cette catégorie de fonctions, les informations extraites de l'image sont principalement l'estimation de distance et de vitesse de l'objet, sa position angulaire et ses dimensions, son type (véhicule, deux-roues, piéton...), ainsi qu'une estimation de la qualité de détection. Des informations complémentaires telles que l'allumage des feux stop ou des clignotants peuvent également être fournies.

L'enjeu principal est ici d'éviter les fausses détections qui pourraient conduire à des déclenchements intempestifs d'actions inappropriées ; un soin tout particulier est donc apporté à la validation des caméras, notamment par des tests dans un grand nombre de scénarios et d'environnements. Pour améliorer la robustesse des décisions, la caméra peut être couplée à un radar pour certaines applications. Les progrès constants des algorithmes permettent d'envisager le recours croissant à la seule caméra, ce qui contribuera encore à la démocratisation de ces fonctions dont le déploiement est par ailleurs encouragé par les instances consuméristes et réglementaires. La portée de détection et le fonctionnement tout temps constituent toutefois encore un handicap pour les capteurs vidéo, par comparaison avec le radar.

La vision de nuit

Cette fonction a pour objectif de doter le conducteur de capacités de perception avec une portée équivalente à celle des feux de route, alors même qu'il roule en feux de croisement pour ne pas éblouir les autres usagers. Le bénéfice recherché est de permettre la détection des piétons ou des animaux suffisamment à l'avance pour que le conducteur puisse réagir. Les technologies utilisées sont l'imagerie thermique, fonctionnant en IR lointain et qui détecte le rayonnement émis par les corps sous l'effet de leur température ; et l'imagerie active, qui exploite des caméras plus traditionnelles couplées à des systèmes d'éclairage en IR proche. Initialement, les systèmes de vision de nuit se limitaient à restituer une image au conducteur. Ils sont maintenant dotés de capacités de détection automatique des piétons, afin de soulager celui-ci de la tâche de surveillance et de lui permettre de se concentrer sur la conduite.

Technologies émergentes

Comme on l'a souligné plus haut, les capacités des algorithmes de traitement d'images vont en s'améliorant continuellement, et l'on anticipe une progression des performances et des applications de la monovision. Cela permettra en particulier d'accéder avec la seule caméra à des fonctions proposées initialement avec une combinaison radar + imagerie, contribuant ainsi à leur démocratisation. Le radar gardera néanmoins un avantage indéniable en termes de mesures de distance et de dynamique relative, ainsi que de capacités tous temps. Des technologies d'imagerie, aujourd'hui encore confidentielles dans le domaine automobile, vont également venir compléter la palette accessible aux concepteurs pour permettre le déploiement de fonctions nouvelles. Il s'agit principalement de la stéréovision (exploitation de la disparité entre images acquises par deux caméras décalées) ; et de l'imagerie 3D (éclairage de la scène avec une source modulée, et démodulation intégrée à chaque pixel pour accéder à l'information de temps de vol donc de distance).