

Détection et suivi d'obstacles en temps réel par un système embarqué multi-capteurs.

Antonio DOMINGUES¹⁻³, Yves LUCAS², David BAUDRIER¹⁻³, Pierre MARCHE¹

¹ Laboratoire Vision & Robotique - ENSI de Bourges

10 Bd Lahitolle, 18000 BOURGES - France

² Laboratoire Vision & Robotique - IUT de Bourges

63, av. de Lattre de Tassigny 18020 BOURGES cedex - France

³ EADS

8 rue Le Brix, 18000 BOURGES - France

Yves.Lucas@bourges.univ-orleans.fr

Résumé – Cet article expose la conception d'un module embarqué capable de détecter et de classifier des obstacles routiers à l'avant d'un véhicule pour évaluer la sévérité et les conditions cinématiques d'une collision. L'originalité de ce travail réside dans l'utilisation complémentaire d'une caméra haut débit et d'un télémètre laser à balayage, ainsi que dans l'intégration des algorithmes de traitement d'images dans une carte temps réel et flot de données. Nous présentons ici les premiers résultats de reconnaissance des obstacles routiers les plus courants par fusion des données images et télémétriques ainsi que l'intégration du système dans un véhicule expérimental Peugeot 406.

***Abstract** – This paper deals with the design of an embedded module able to detect and classify road obstacles in front of a vehicle in order to estimate the severity and the cinematic conditions of a crash. The originality of this work lies in the combined use of a high speed video camera and of a scanning laser range system, and also in the integration of image processing algorithms in a real time and data flow electronic PC board. Here we present the first recognition results obtained on the most common road obstacles using image and range data fusion and the integration of the whole system in a prototype Peugeot 406 car.*

1. Sécurité passive automobile

1.1 Electronique embarquée

Dans le domaine des transports routiers, la sécurité est devenue un axe prioritaire de développement, marquée par l'intégration en série d'équipements tels que coussins gonflables, freinage ABS, pré-tensionneurs de ceinture, renforts d'habitacle Si la régulation de distance inter-véhicules par radar est déjà proposée par quelques constructeurs, le suivi automatique de trajectoire est encore à l'étude dans les laboratoires [1]. En effet, le guidage sur route au moyen de capteurs embarqués est généralement basé sur le couplage stéréoscopique de deux caméras CCD [2]. Cette méthode montre ses limites dans les applications temps réel (quantité d'informations trop importante et sensibilité des algorithmes aux conditions climatiques) et n'offre pas une fiabilité suffisante pour confier à un système électronique le droit de remplacer le conducteur dans sa tâche de pilotage, surtout dans une situation d'urgence. Comme dans le cas du régulateur automatique de vitesse, c'est surtout un confort apporté au conducteur, qui reste seul maître à bord. Voilà pourquoi les systèmes de sécurité dits passifs (on améliore le

comportement du véhicule dans une situation d'accident, sans action spécifique pour éviter l'accident) sont particulièrement étudiés. Notons cependant que les grands constructeurs envisagent sérieusement les possibilités de solutions à base de radar ou de vision infra-rouge pour la surveillance frontale d'un véhicule, avec des objectifs d'intervention dans la tâche de pilotage [3-6] Certains systèmes envisagent aussi un contrôle de l'attention du conducteur, pour prévenir l'hypovigilance nocturne.

1.2 Détection de collision

Nos travaux se déroulent dans le cadre du projet SPINE [7] (Sécurité Passive INtelligentE) dont l'objectif est la réalisation d'un système améliorant la protection des occupants avant d'un véhicule lors d'une collision frontale, par un déclenchement intelligent d'air-bags (mais c'est toujours le capteur d'accélération qui autorise le déclenchement d'air-bags, en aucun cas le système de vision), en fonction des conditions cinématiques de la collision. Notre objectif est donc d'anticiper et de définir la sévérité du choc et les paramètres de la collision, en se basant sur la

reconnaissance et le suivi dynamique des obstacles routiers. Les conditions de collision sont définies par le temps restant avant l'impact et par l'angle et la vitesse relative d'approche du véhicule. L'ensemble de ces paramètres est en effet déterminant pour piloter le mode de déclenchement de systèmes de sécurité passive évolués, contribuant à une protection renforcée des passagers au moment du choc.

2. Chaîne de traitement

2.1 Architecture matérielle

2.1.1 Capteurs

Les limitations précédentes des systèmes stéréoscopiques nous ont conduit à la mise au point d'un système composé d'une caméra haut débit prototype (FIG. 1) et d'un télémètre laser à balayage de série (FIG. 2). La caméra haut débit (116 images/sec) fournit des images 512 x 256 sur 8 bits. Le télémètre balaie 180° en 26.6 ms avec une résolution de 0.5 m. La caméra est fixée derrière le pare-brise, au dessous du tableau de bord ; le télémètre est monté au dessus du pare-choc avant du véhicule. La complémentarité de ces deux capteurs autorise une compréhension beaucoup plus fine de la scène, sans pénaliser la rapidité de la détection d'obstacles.

D'abord, le télémètre pallie à l'incapacité de la caméra de fonctionner dans de mauvaises conditions climatiques (nuit, brouillard, averse, soleil direct ..) qui rendent l'image inexploitable par manque de contraste ou la saturation du capteur. Il faut ici rappeler qu'une portée réduite de quelques dizaines de mètres est suffisante (le brouillard absorbe le faisceau laser), puisqu'il s'agit uniquement de renseigner sur l'imminence d'une collision, et non de tenter une action d'évitement. De plus, il apporte directement une information dimensionnelle sur les obstacles rencontrés, non disponible dans un système de vision monoculaire. Il donne accès aux paramètres cinématiques de la collision. Enfin, la couverture de l'avant du véhicule est ainsi réalisée grâce à un balayage de 180 degrés, élargissant le champ de 40° de la caméra.



FIG. 1 : caméra embarquée

Cependant, la caméra reste indispensable pour mener à bien la détection et la classification des obstacles. En effet, le télémètre ne délivre qu'un signal monodimensionnel, qui ne peut rendre compte de la pertinence et de la nature d'un obstacle potentiel. Il n'est pas capable d'informer à la fois sur les voies de circulation et sur le contenu de la scène et

plusieurs balayages sont nécessaires pour percevoir la totalité des informations concernant l'environnement [8].

2.1.2 Circuits spécialisés

Nos méthodes de détection sont basées sur l'approche contours [9]. Deux composants électroniques ASIC de traitement d'images ont été développés par EADS : l'ASIC OREC (Opérateur Reconfigurable d'Extraction de Contours) et l'ASIC OPNI (Opérateur Programmable de Niveau Intermédiaire). Intégrés dans le module RVS (Reconfigurable Vision System) sur bus PCI, ces composants sont capables d'effectuer des traitements d'image bas niveau (l'extraction de contours) et moyen niveau (le chaînage de contours) en temps réel, avec une fréquence d'horloge de 20 MHz, autorisant un débit maximal de 152 images/sec [10]. La sélection des lignes verticales/horizontales est ensuite confiée à un DSP. Le PC industriel qui sert de plate-forme communique les paramètres de collision par bus CAN au système central chargé aussi de gérer les capteurs ultrasonores de détection de posture des passagers et la commande pyrotechnique des air-bags.



FIG. 2 : télémètre laser à balayage

2.2 Architecture logicielle

2.2.1 Images

En effectuant une extraction et un chaînage de contours sur l'image d'un véhicule, un certain nombre de lignes groupées, parallèles et de tailles équivalentes apparaissent [11]. En parallèle, des données télémétriques sont filtrées et appariées à ces lignes. (Voir figure 3 l'organigramme complet des traitements). On procède ensuite au regroupement de ces lignes en familles afin de reconnaître des types d'obstacles connus dans la scène observée et d'en mesurer les propriétés intéressantes dans une fenêtre active. Les rectangles englobants créés ensuite pendant l'étape de fusion isolent les obstacles potentiels des obstacles réels. Chaque obstacle répondant aux critères de classification appartient à une classe dont les sévérités de choc sont équivalentes (ex : les piliers de ponts, les poteaux ...). Les critères de classification sont basés sur les dimensions et le contenu du rectangle englobant.

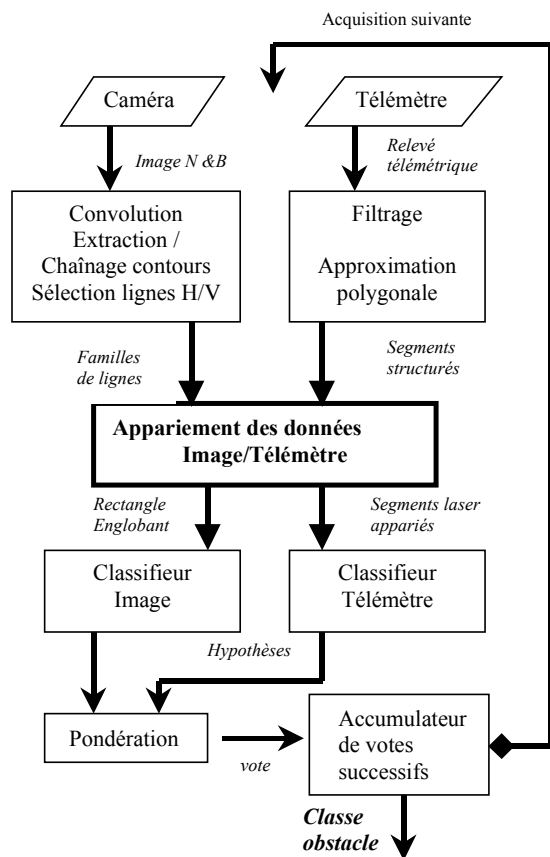


FIG. 3 : chaîne de traitement multi-capteurs

2.2.2 Relevés télémétriques

Le télémètre monté à l'avant du véhicule fournit une signature polaire sur 180° en 26.6 ms , obtenue par deux balayages successifs de résolution 1° décalés de 0.5° , introduisant un retard de 13.3 ms entre les deux trames dont il faut tenir compte à cause des vitesses relatives importantes de certains obstacles. Un filtrage des points laser est effectué pour isoler de l'arrière-plan les parties proches et structurées. Une approximation polygonale fournit ensuite les extrémités de ces segments. On obtient ainsi une information dimensionnelle sur les obstacles (taille, distance et orientation).

2.2.3 Calibrage

Les paramètres géométriques du système caméra/télémètre (position et orientation relative des deux capteurs) sont nécessaires pour permettre l'appariement des contours image pertinents avec des segments structurés extraits des relevés télémétriques. On initialise approximativement les paramètres de la transformation à l'aide d'un mètre et d'un inclinomètre. On les ajuste ensuite en interactif pour projeter les points télémétriques sur leur image. On se base sur des points de contrôles matérialisés par l'extrémité de piquets visibles à la fois par la caméra et le télémètre.

Une LUT logicielle de correction géométrique est également prévue en aval de la chaîne d'extraction de contours pour redresser l'image contour fortement distordue

par l'optique grand-angulaire. La mesure de distorsion est effectuée par auto-calibration à partir de l'image d'un damier.

2.2.4 Fusion et classification

Une première étape consiste à appairer les données images et télémétriques en projetant les segments structurés dans le plan image. La distance de l'obstacle et son azimuth délimitent une zone d'intérêt rectangulaire dans l'image. Cette zone est ajustée grâce à l'inclusion des familles de lignes pour constituer un rectangle englobant. Celui-ci nous renseigne sur le gabarit de l'obstacle. (Voir ci-dessous un exemple d'analyse de scène routière).

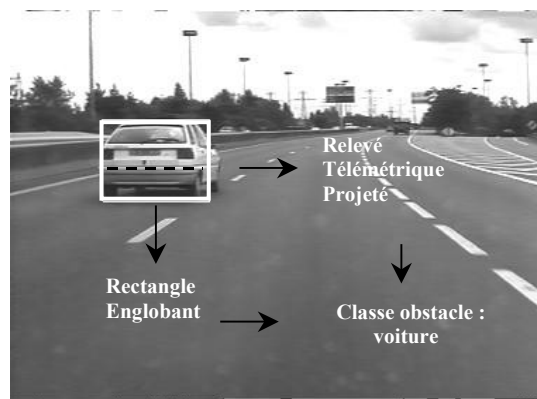


FIG. 4 : exemple d'analyse de scène routière

Chaque capteur dispose de son propre classifieur pour formuler une hypothèse sur la classe de l'obstacle. Celles-ci sont pondérées avant l'émission d'un vote final. A chaque acquisition, un nouveau vote est accumulé, renforçant la crédibilité de la classe sélectionnée.

En fusionnant les données issues des deux capteurs, on obtient une description plus riche et plus robuste, que l'addition brute des données issues séparément des deux capteurs : en effet, pendant l'élaboration de la description symbolique de l'image puis des obstacles par des familles de segments, le télémètre permet de sélectionner les lignes pertinentes et de lever des ambiguïtés, puis au moment de la classification de l'obstacle, il apporte des informations dimensionnelles décisives. L'appariement des données télémétriques avec celles de l'image permet à ce système de fonctionner en permanence, en mode normal ou dégradé. Au cours du temps, les obstacles peuvent surgir, disparaître et réapparaître, surtout lors de virages ou de déclivités de la route. Il faut gérer cette liste d'obstacles pour améliorer la détection (un obstacle détecté dans l'image précédente risque de se retrouver dans une zone voisine de l'image suivante) et renforcer la robustesse (un obstacle détecté dans une série d'images a moins de chances d'être un artefact). Un filtre de Kalman semble bien adapté au suivi des rectangles englobants.

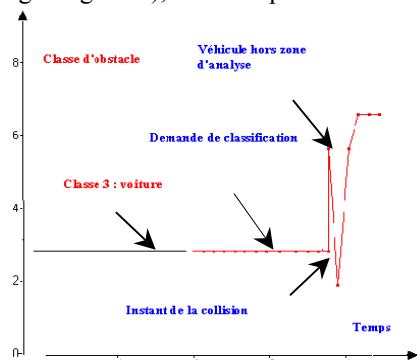
3. Essais sur véhicule test

3.1 Protocoles des essais

Des séquences d'images et de relevés télémétriques de scènes routières typiques ont d'abord été enregistrées depuis un véhicule de tourisme. Elles ont servi de base au développement en laboratoire des différents algorithmes de détection et de classification d'obstacles routiers, à l'aide d'une interface graphique et de la simulation des ASICS de traitement par le PC. Nous avons ensuite intégré les capteurs et leur électronique de traitement dans le véhicule test afin de procéder à une série d'essais embarqués, principalement sur des obstacles de type voiture et poteau. Une première série d'essais en statique a consisté à tester le système pour différentes positions d'un obstacle isolé dans la zone de couverture mutuelle des capteurs. Dans une deuxième série d'essais en dynamique, on a déplacé le véhicule vers l'obstacle pendant les acquisitions vidéo et télémétriques.

3.2 Résultats

Les résultats de classification d'obstacles et de prédiction de collision sont transmis au système central via un bus CAN. La figure 5 donne un exemple de trame d'urgence observée lors d'un croisement rapproché de deux véhicules, comportant un risque de collision. Les essais statiques ont permis de mettre en évidence la complémentarité des deux capteurs. A grande distance (>25 m), le télémètre manque de résolution et une légère inclinaison du faisceau risque de le faire passer au dessus de l'obstacle ou au niveau des roues, mais la caméra continue de cadrer l'obstacle. A très courte distance (<5 m), elle ne peut cadrer la totalité du véhicule et le télémètre prend le relais. Notons que dans le cadre de la prédiction de collision, seuls les obstacles proches présentent un danger potentiel : la mauvaise classification d'obstacles lointains (>50 m) est sans conséquence. A mi-distance, les deux capteurs sont efficaces et on obtient un taux de classification satisfaisant ($>>80\%$). Dans des scènes complexes (trafic dense, image dégradée), ce taux peut chuter car le système



sépare mal l'obstacle du reste de la scène.

FIG. 5 : émission de trames d'urgence sur le bus CAN

4. Conclusion

La contrainte drastique du temps réel (100 ms pour l'ensemble des traitements) nous interdit d'utiliser pour

l'instant des algorithmes de reconnaissance plus robustes mais trop lents pour cette application. Des réseaux de neurones seraient pourtant intéressants pour exploiter plus finement le contenu des fenêtres englobantes et classifier plus sûrement les obstacles correspondants. Pour mettre au point nos critères de classification, nous nous sommes limités aux classes les plus courantes (voiture de tourisme, camion ...) pour lesquelles nous obtenons des taux de reconnaissance élevés. Néanmoins, certaines scènes ambiguës (camions citernes, passage sous un pont...) nécessitent un traitement spécial. Lorsque l'un des capteurs fonctionne en mode dégradé, les performances de l'ensemble sont très diminuées car la fusion des données n'est plus possible. Heureusement, le télémètre est moins sensible aux variations climatiques de l'environnement que la caméra. La diversité des scènes routières, des conditions d'éclairage et de conduite, demandent un réglage précis en temps réel des paramètres d'acquisition et de traitement bas niveau, pour assurer à tout instant un taux de classification maximal. Ceci fera l'objet de la suite de nos travaux.

Références

- [1] J.M. Blosseville, R. Eymard, C. Laugeau, M. Parent, P-Y. Texier, *La route automatisée*, INRIA, Mars 98.
- [2] Y. Ruichek, *Stéréovision linéaire par réseau de neurones de Hopfield. Application à la détection d'obstacles à l'avant des véhicules*, thèse doctorat 97LIL10021.
- [3] J.Lonnoy, *Paroto-Sagem*, Conf. Europ. sur les véhicules routiers intelligents, Clermont-Ferrand, 15 juin 2001.
- [4] J.C.Riat, *Drivers and night vision systems*, Conf. Europ. sur les véhicules routiers intelligents, Clermont-Ferrand, 15 juin 2001.
- [5] A.Hoess, *The european research project : Radarnet*, Conf. Europ. sur les véhicules routiers intelligents, Clermont-Ferrand, 15 juin 2001.
- [6] J.Langheim, *Detection of car environment at low speed driving*, Conf. Europ. sur les véhicules routiers intelligents, Clermont-Ferrand, 15 juin 2001
- [7] Y. Lucas - *Présentation du projet SPINE* - Journée Signal et Image - Club EEA - Le Creusot - 25 mai 2000.
- [8] L. Trassoudaine, J. Alizon *Solution multi sensorielle temps réel pour la détection d'obstacles sur route*, thèse doctorat 93CLF21479.
- [9] G. Giraudon, *Chaînage efficace de contours*, Rapport de recherche n°605 INRIA, Mars 87.
- [10] P. Lamaty, D. Demigny, G. Barbier, *Opérateur matériel de chaînage de contours temps réel et flot de données*, 14^{ème} Symposium GRETSI'97 Grenoble 1997.
- [11] A. Revue, *Détection et suivi de véhicules par vision monoculaire*, Centre de CAO et Robotique, Ecole des mines de Paris, Journées des Jeunes Chercheurs en Robotiques, 12^{ème} édition, Février 2000, Bourges.