

Fusion de données dans le programme PROCHIP FRANCE.

Bilan et perspectives.

Roger REYNAUD, Daniel BERSHANDY, Samir BOUAZIZ, Thierry MAURIN

Institut d'Electronique Fondamentale
 Université Paris -SUD
 F91405 Orsay cedex

RÉSUMÉ

Ce papier décrit la partie fusion de données embarquée dans un démonstrateur d'évitement d'obstacles dans le cadre du programme EUREKA PROMETHEUS PROCHIP. Le démonstrateur a pour rôle de réaliser une carte en repérant les obstacles autour du véhicule, d'analyser la situation en fonction de scénario stockés dans des bases de données internes au véhicule et d'avertir le conducteur en cas de danger. Ce papier décrit un schéma de fusion à différents niveaux. Les résultats présentés concernent particulièrement la fusion de type signal, pour laquelle les données arrivent à des rythmes "fréquents" à opposer à la fusion symbolique traitant des informations "rares".

1. INTRODUCTION

La détection d'obstacles doit conduire à la détection de danger et à l'anticipation d'une situation de conduite dangereuse. Le temps de réaction à l'entrée dans le champ de vision d'un obstacle ne doit pas excéder 100 ms. Une détection de danger doit éviter les fausses alarmes sous peine d'être totalement inefficace. Enfin, dans l'optique d'un produit automobile, il faut intégrer dans la conception du système les contraintes d'embarquabilité. Le caractère extrêmement complexe et subjectif de la notion de danger rend la conception d'un tel système difficile. Le nombre de paramètres intervenant dans une analyse de situation peut être important. Une conception réaliste doit donc s'appuyer sur une démarche de type incrémental, à savoir sur une structure ouverte dans laquelle des modules contribuant à la détection de danger puissent être ajoutés au fur et à mesure de l'évolution des technologies. La robustesse de l'analyse basée sur l'ensemble de ces informations passe alors forcément par la fusion de données issue des différents modules précédents.

L'objectif du projet a été de dégager les fonctionnalités et de proposer une architecture matérielle et logicielle permettant l'évaluation de ce concept dans une structure ouverte. Nous nous intéressons particulièrement à l'analyse des mécanismes de fusion pour les données issues des modalités Lidar infrarouges et Radar hyperfréquence. La réalisation est le fruit d'une étroite collaboration entre les constructeurs automobiles (PSA Peugeot Citroën et Renault) et cinq laboratoires de recherche (l'IEF à Orsay, l'ITEMN-CHS à Lille, le LAAS à Toulouse, le LETI et le LGI à Grenoble).

2 DÉMONSTRATEUR

Les grandes fonctionnalités

Notre approche s'appuie sur l'identification et le découpage du problème de la détection de danger en grandes fonctions accompagnées d'une supervision de l'ensemble. La première consiste en l'établissement d'une cartographie de l'environnement du véhicule. Chaque objet de la carte est caractérisé par un ensemble de paramètres (nature, position, vitesse relative, vraisemblance....) et dépend des modalités capteurs disponibles. Les techniques utilisées pour construire ces représentations s'appuient sur des modélisations

ABSTRACT

The paper deals with an embedded data fusion system in a demonstrator of obstacle avoidance of EUREKA PROMETHEUS PROCHIP program. This first stage processes raw data and constructs a local map around the smart vehicle, it then analyses the situation according to inner data bases and warns the pilote when obstacles become dangerous. The chosen architecture of fusion has different levels and this paper describes which information is used by each processing level. The presented results concern particularly signal like fusion when data are frequent, to be opposed to symbolic fusion when data are sparse.

variées des capteurs et des scènes. Elles font appel au traitement du signal ou des images, à la triangulation.

La fusion des différentes cartes permet de construire une représentation globale plus robuste grâce aux validations croisées des informations et au recouvrement des zones d'observations des capteurs (lidar I.R., radar hyper, balise de communication). Les techniques vont de la mise en correspondance à la fusion de données numériques ou symboliques en passant par le suivi temporel et la prédiction utilisant des modélisations de l'imprécision ou de l'incertain.

L'analyse de la situation et l'interprétation reposent sur la cartographie globale et sur des heuristiques représentant les connaissances stockées. On peut imaginer à ce stade diverses approches parmi lesquelles les systèmes à base de règles ou les réseaux de neurones. On peut également envisager un apprentissage en ligne, par exemple pour adapter le système au type de conduite du conducteur. Ce point concerne aussi l'Interface Homme Machine qui propose les mécanismes de passage de messages au pilote et d'identification des réactions propres de ce pilote.

Enfin, une supervision assure le pilotage des paramètres des algorithmes, elle peut s'appuyer sur une représentation des connaissances à base de règles permettant une hiérarchisation des centres d'intérêts et des prises de décision. A ce stade, la prise en compte du temps réel est un facteur important.

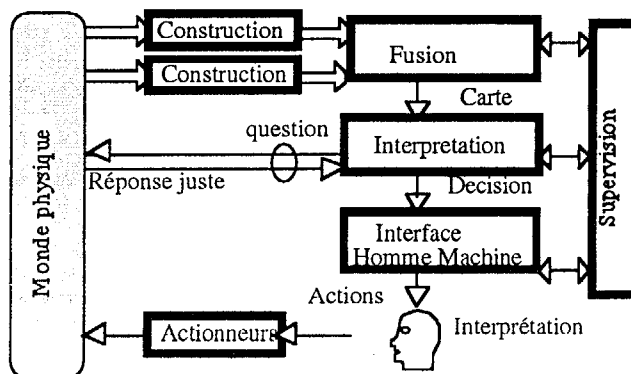


Figure 1 :Schéma du système de perception



Les points clés du démonstrateur.

L'approche adoptée dans la conception des démonstrateurs PROCHIP repose sur les points suivants :

- **Capteurs.** Utilisation exclusive de capteurs frustes en terme de débit d'information, ce qui exclu les capteurs de type caméra CCD. Environnement en partie coopératif. Informations proprioceptives mais également extéroceptives sur les véhicules environnants et sur l'infrastructure.
- **Communications.** Utilisation exclusive de bus multiplexés pour faire circuler l'ensemble des informations. Cette approche conduit naturellement vers des capteurs de débits moyens.
- **Processeurs.** L'architecture organisée autour d'un P.C. hôte s'appuie sur une structure à faible parallélisme à base de processeurs de traitement du signal.
- **Prise en compte du temps.** L'approche repose sur une vision flot de donnée, sur un découpage en arcs réflexes et arcs réfléchis et sur une vision incrémentale de la prise en compte des événements.
- **Données symboliques,** obtenues par conversion numérique symbolique. Cette approche autorise la formulation des connaissances à base de règles et permet de prendre en compte le contexte des scènes.
- Enfin, nous avons gardé en mémoire l'importance de la fiabilité globale du système et de sa sûreté de fonctionnement au travers de l'analyse de robustesse des reconstructions.

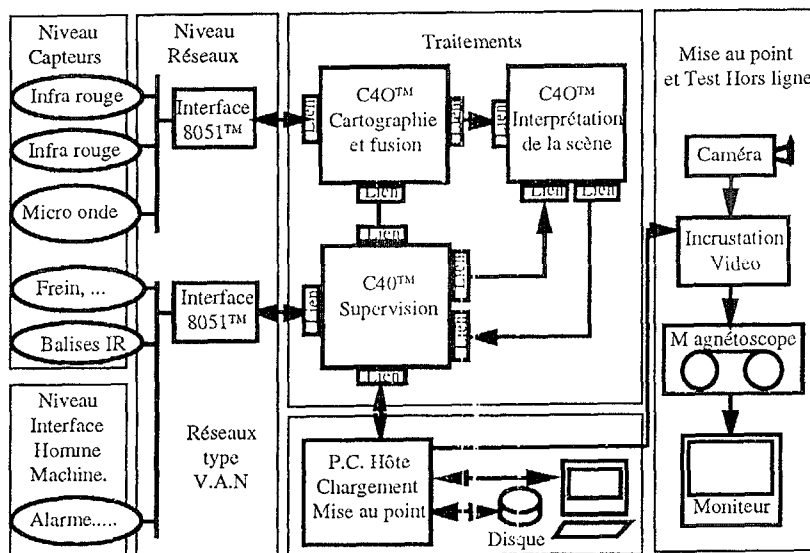


Figure 2 : Structure du démonstrateur embarqué.

Nous retrouvons sur la figure 2 les différents niveaux fonctionnels. La perception, la communication multiplexée, les étages de construction de la carte des obstacles, d'interprétation de la scène, la supervision sur DSP et l'interface homme machine sur PC.

Une première approche de définition du calculateur cible consisterait à dédier un processeur de type DSP pour la reconstruction de l'environnement et de type RISC pour l'analyse de danger et la supervision. Cette structure présente l'avantage d'une apparente adéquation processeur-traitement, mais les communications entre processeurs hétérogènes sont coûteuses en temps, ce qui est néfaste dans une application où les contraintes temporelles sont fortes. Les environnements de développement différents posent des problèmes de mise au point. Nous avons donc opté pour une architecture multiprocesseurs mais monotype. Le choix final du TMS C40™ s'appuie sur une comparaison de performances en terme de puissance de traitement mais également en terme de débit pour les communications inter processeurs [1].

Deux réseaux spécifiques de type Vehicle Array Network ont été développés pour les communications entre les différents capteurs et les unités de traitement. L'un, standard, est dédié aux transferts des informations venant des balises réceptrices et des capteurs proprioceptifs, l'autre, spécifique, de débit de 500 Kbit/s, est dédié aux transferts des informations venant des capteurs de détection d'obstacles. Nous ne détaillerons pas plus les aspects matériels dont l'organisation est décrite sur la figure 2. Nous mentionnons seulement l'importance des procédures de test hors ligne qui seules autorisent une validation en deux étapes nécessaire pour la mise au point des algorithmes.

Le système

Il faut "répartir" les différentes tâches sur les différents processeurs. Cette répartition pose des problèmes d'optimisation, de placement et de gestion système des communications. Il faut en effet que la détection de danger soit déterministe et bornée en temps de réponse vis à vis d'événements externes. Pour ce faire plusieurs approches sont possibles.

L'approche *asynchrone* impose un système multitâches temps réel distribué. Ce système permet d'assurer le contrôle des tâches, le parallélisme des exécutions et la prise en compte du temps et des événements. Il permet en principe d'atteindre les performances temps réel maximales. Une deuxième approche consiste à passer dans le monde *synchrone* et à décrire l'ensemble de l'application au travers d'un langage synchrone (Signal™). On assure ainsi, grâce au graphe flot de données décrivant l'ensemble des algorithmes de traitement, une sûreté de fonctionnement dans le sens de la parfaite adéquation algorithme implémentation. Par contre cette approche n'est pas optimale en terme de temps de réponse mais elle assure malgré tout la réactivité du système pourvu que chaque tâche ait un temps de réponse borné. Enfin, un placement optimal des tâches sur l'architecture matérielle est alors possible en utilisant un environnement du type Syndex™. Le passage du monde *asynchrone* au monde *synchrone* pose des problèmes qui nécessitent la prise en charge d'aspects système au niveau applicatif. L'appariement des données multi-capteurs (multi-fréquences) en est un exemple [2].

Nous avons adopté une approche séquentielle flot de données sur la seule partie des traitements gérés par les C40. La répartition des tâches, statique, est représentée sur la figure 2 : Un C40, directement connecté au bus VAN spécifique, assure le traitement des données venant des capteurs détecteurs d'obstacles, la reconstruction de l'environnement et la construction d'une carte. Un deuxième C40 assure la phase d'interprétation de la scène et permet la prise de décision, l'analyse et la détection de danger. Un troisième C40 assure la supervision et les liens avec le PC hôte, le VAN dédié aux capteurs proprioceptifs et aux balises. Le flot de données circulant sur l'architecture en phase de fonctionnement normal, c'est à dire sans la mise en œuvre de l'ensemble de test hors ligne, traverse les trois C40 dans l'ordre : cartographie, interprétation et supervision. L'interface Homme Machine est localisé sur le PC et permet l'affichage soit de la carte vu de dessus, soit d'une vision 3D des véhicules su vis avec visualisation du niveau de danger. Il permet la visualisation des échos radar sur une distance allant de 40 à 150m, du Lidar sur une distance de 0 à 30m, de l'origine sectorielle des communications inter-véhicule et de l'état du véhicule.

3. FUSION MULTISENSORIELLE

3.1. Fusion de données

Un certain nombre de thèmes scientifiques traités par la communauté *Fusion de données* ont été abordés dans ce projet. Nous listons ci-dessous les thèmes pour lesquels notre approche présente certaines originalités:

- Choix des capteurs et modélisations associées
- Architecture du système de fusion
- Supervision et contrôle adaptatif
- Intelligence artificielle, fusion symbolique et implantation de raisonnement

La phase de perception est évidemment de tout premier plan quant à la qualité des résultats. Il est courant de constater la faible quantité d'information qui est extraite relativement au volume d'information acquise, soit parce que notre ignorance d'une partie des caractéristiques du problème nous conduit à faire des hypothèses qui filtrent l'information dès le départ, soit parce que le volume d'information à transporter ne serait pas réaliste. Un des enjeux dans cette application [3] est de démontrer qu'il est possible d'utiliser des capteurs "frustes", mais contenant suffisamment d'information pertinente pour amener la "même" qualité de détection, en association avec d'autres modalités. Nous pouvons parler de fusion au niveau capteurs dans la mesure où des coopérations existent dans notre schéma entre les différentes fonctions de fusion.

L'objectif du système de fusion est de combiner l'information et il faut pour cela trouver un espace dans lequel les deux formes d'information à combiner soient quantifiables. La définition de cet espace n'est pas toujours simple et la phase de recalage consiste à transformer l'information initiale en une information équivalente dans cet espace dans le but de "superposer" correctement les informations obtenues. Dans le démonstrateur PROCHIP, cet espace est une carte de voisinage à deux dimensions autour du véhicule. La prise en compte d'une imprécision ou incertitude spatiale au moment du recalage, ou d'une incertitude sur un appariement fonctionnel (typage du véhicule) ou spatial est du ressort de la fusion car cela traduit un raisonnement (un contrôle du déroulement de l'algorithme) qui est fonction de la présence de données issues d'origines différentes.

Il existe dans ce démonstrateur trois fonctions logiques qui réalisent une combinaison d'information. La première est située dans le bloc fusion intermédiaire où sont combinés sur une carte de voisinage les plots provenant de "l'imagerie infra-rouge" après triangulation et du radar hyper-fréquence. Le deuxième niveau est celui de la conversion numérique-symbolique contextuelle. Le troisième niveau est celui dénommé fusion symbolique qui enchaîne des raisonnements décrits à base de jeux de règles. L'ensemble est une proposition de coopération entre des traitements numériques et des traitements symboliques dont le maillon clé est le module de conversion numérique-symbolique.

La supervision a pour but de contrôler le déroulement de l'algorithme dans son ensemble. Nous ne sommes pas en mesure d'assurer la stabilité de ce système bouclé ni même de définir l'optimalité de ce système distribué, qui pourrait être déclinée sous l'aspect définition des communications (décisions partielles) permettant de conserver un niveau de performance donné, sous l'aspect structure du système distribué ou sous l'aspect dual de la définition d'une configuration optimale des capteurs (paramètres de configuration et secteur d'observation). En contre-partie, nous présentons une approche par heuristiques pour superviser le système

complet. Pour traduire une partie de l'information dont on dispose, les heuristiques utilisées ont comme particularité d'introduire un raisonnement spécifique sur un sous-ensemble des données soit au travers du contrôle du déroulement de l'algorithme soit au travers du choix des modèles appliqués à ces données. Cette introduction du raisonnement utilise souvent la notion de programmation par objet puisqu'elle passe par une caractérisation des données localement, puis par un traitement fonction du type obtenu, et enfin par l'utilisation de l'héritage ou de l'historique de l'objet.

Le pari initial portait sur différents aspects de ce système de perception. La validation du schéma de fusion est lui-même un résultat. Ce schéma propose une séquence de traitements de fusion. En amont, une fusion de type signal entre des données capteurs complémentaires ou redondantes avec moyennage et suivi temporel. Vient ensuite un système de conversion numérique symbolique pouvant dépendre des données de capteurs proprioceptifs ou de décisions partielles du système de supervision. En aval des raisonnements à base de jeux de règles découpés en paquets pour pouvoir implémenter les notions d'arcs réflexes et d'arcs réfléchis ainsi que des raisonnements de finesse suffisante. Le tout est contrôlé par un bloc de supervision. Chaque étage du système doit être lui-même quasi-optimal vis-à-vis des contraintes de temps réel, de flux de communication et de critère locaux d'optimalité de détection.

3.2 Structure logicielle

Nous commençons par présenter l'approche globale du système de fusion. Nous ne sommes pas en mesure de définir l'optimalité du système pris dans son ensemble, ni même son domaine de stabilité. Or la stabilité, la fiabilité, ou la sûreté de fonctionnement sont des points clés de ce type de démonstration. C'est pourquoi nous avons choisi au niveau de l'implantation logicielle du système de fusion de choisir une méthode de conception descendante.

Au plus haut niveau de contrôle[4] se situe le superviseur à base de tableau noir [5] qui analyse la connaissance sur la dynamique des objets présents dans la scène et se préoccupe de leur comportement vis-à-vis des règles du code de la route. Ce superviseur contrôle le comportement des autres étages de fusion par l'intermédiaire de choix, soit entre différents modèles pour les étages de fusion signal, soit entre différents niveaux de seuil qui dépendent du contexte pour l'étage de conversion symbolique-numérique, soit entre différents raisonnements ou enchaînements de raisonnement pour l'étage de décision symbolique.

Le modèle choisi par le superviseur n'est pas obligatoirement celui qui est appliqué localement. En effet, chaque étage possède des critères de divergence locaux lui indiquant la confiance qu'il peut accorder au modèle en cours vis-à-vis du contenu des données. Lorsque son indicateur diverge, alors l'étage de fusion décide de changer de modèle localement en passant dans un **mode dégradé** (modèle pour lequel le poids des données grandit par rapport au poids du modèle) afin de conserver le nouvel indicateur de confiance dans un intervalle donné. Pour pouvoir implanter ce mécanisme, il faut absolument définir les modèles de telle façon que certains des modèles englobent les autres modèles (correspondent à des modes dégradés vis-à-vis des autres modes). Il est alors possible globalement de définir le système de fusion tel qu'il prenne en compte de façon **incrémentale** les différentes sources de données. La première modalité est dite modalité de base et doit fournir une première image avec un certain niveau de **précision** qui pourra être amélioré par les étages successifs. Les modalités additionnelles



permettent d'augmenter la précision, la certitude ou la sûreté de fonctionnement soit en prenant en compte systématiquement les flots de données provenant de certains capteurs, soit en questionnant les capteurs à la demande pour affiner des raisonnements sur certaines hypothèses en cours.

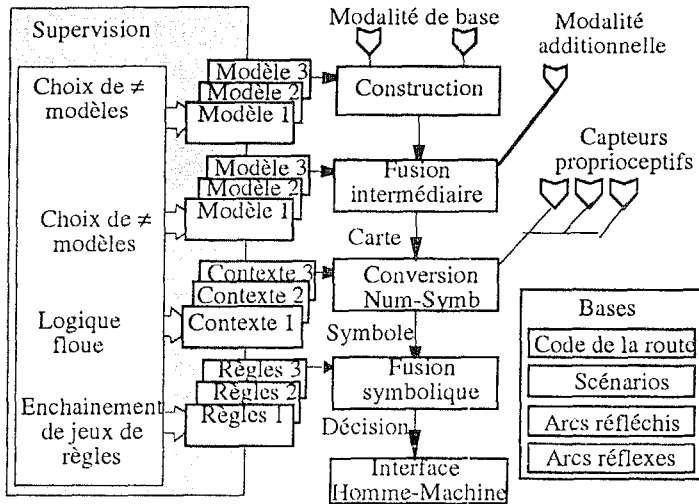


Figure 3 : Structure logicielle du système de fusion de données

4 RÉSULTATS ET PERSPECTIVES

Signaux binaires. Nous disposons comme modalité de base des signaux binaires bruités provenant des capteurs infra-rouges et un premier problème est d'obtenir un traitement de complexité abordable par des moyens de calcul embarqués sur un véhicule pour éliminer du bruit sur ces signaux. Cette phase de débruitage doit être relativement robuste, car elle est suivie d'une étape de triangulation sensible à la qualité des signaux obtenus [6]. Les modèles prennent en compte le comportement dynamique des obstacles qui est transmis par le superviseur. Cette information est utilisée en définissant un modèle qui privilégie le bon type de comportement en ayant de ce fait tendance à éliminer des données qui ne suivent pas ce modèle. Mais il faut bien entendu implanter un mode dégradé dans lequel on ne force aucun comportement sur la dynamique du véhicule observé.

Recalage et construction de la carte. L'espace dans lequel va avoir lieu la fusion des informations est une carte. La reconstruction par triangulation fournit une première carte, pour laquelle la précision est inversement proportionnelle à la distance. L'algorithme réalise un appariement des données front montant issus des capteurs droit et gauche, idem pour les fronts descendants à partir desquels il reconstruit les distances des bords droit et gauche de l'objet. Le test d'un certain nombre d'hypothèses conduit alors à accepter ou rejeter les appariements réalisés. Nous renvoyons à la thèse [7] pour expliquer les différents techniques d'appariement qui ont été testées.

Fusion intermédiaire avec les données Radar. Cet étage est le premier étage de fusion d'informations hétérogènes. La complémentarité des données et leur faible redondance d'information avec les données infra-rouges nous ont conduit à implanter des mécanismes de fusion portant essentiellement sur l'initialisation des pistes de suivi temporel lorsque ces dernières appartiennent à la zone de recouvrement des observations des deux capteurs. Entre 38 et 40 mètres, il y a recouvrement des secteurs d'observation des capteurs. En présence de plusieurs obstacles, des ambiguïtés apparaissent qui sont levées en présence de données sur la distance.

5 CONCLUSION

L'approche utilisée a été validée lors d'essais sur circuit, en présence de véhicules coopératifs à l'occasion de deux démonstrations au cours du Board Member Meeting 94 à Paris et lors de la cloture du projet en Juin 95 à Toulouse. Les tests ont portés sur des manoeuvres de respect des distances de sécurité et de dépassement. En terme de perspectives, l'étude montre qu'il est possible aujourd'hui d'implanter sur une carte PC à base de 3 processeurs de traitement du signal flottant la puissance de calcul nécessaire aux traitements de reconstruction, fusion signal au niveau carte et fusion symbolique, l'interface pilote étant confiée au PC hôte. Les principaux efforts à venir doivent porter sur les aspects développements système pour arriver à des implantations plus fiables et modulaires. Le choix de capteurs frustes s'est révélé suffisant pour le type de démonstration que nous avons choisi, si nous sommes capables de créer un environnement coopératif sur le réseau routier. La fusion des données capteurs courte portée, longue portée et des données balises est alors capable de fournir une interprétation de la scène.

Nous participons avec Michèle Rombaut à la mise en commun de nos expériences dans le cadre d'une opération sur les véhicules intelligents au sein du GdR TdSI. Les travaux poursuivis porteront sur la façon dont on peut gérer l'information issue des cartes reconstruites à partir des données capteurs pour obtenir une robustesse et une sûreté de fonctionnement correspondant à celle nécessaire dans le domaine automobile.

RÉFÉRENCES

- [1] S. Bouaziz, R Reynaud, T. Maurin "Parallel Architecture for an Embedded Real time application", ICSPAT'93, 28 Sept 1 octobre 1993, Santa clara USA. Vol 1 pp 151-155.
- [2] A. Chebira, R. Reynaud, T. Maurin, "Capteurs Infra-Rouges pour la Reconstruction 2D, Modélisation Markovienne et filtrage binaire", colloque GRETSI, Juan les Pins 93.
- [3] R. Reynaud, T. Maurin, "On Board Data Fusion and Decision System used for Obstacle Detection : 2D vision versus 1D sensor Fusion.", IEEE-Intelligent Vehicul System, pp 243-248, Paris, oct 94.
- [4] A. Chebira, R. Reynaud, T. Maurin, D. Berschandy, "On Board data fusion and decision system used for obstacle detection : a network and a real time approach", Euromicro'91 workshop on real-time systems, p193-200, Paris June 12-14 1991,
- [5] A. Ayoun, C. Bur, "Real time perception architectures : the SKIDS Project", ESPRIT week, Brussels 1989.
- [6] P. Moutarlier, P. Grandjean, R. Chatila, "Multi-sensory Data Fusion for Mobile Robot Location and 3D Modelling", IARP Workshop on multi-sensor fusion and environment Modelling, Toulouse 89.
- [7] A. Chebira, Détection d'obstacles par reconstruction de l'environnement à partir de capteur infrarouges", Thèse n°3088 Université Paris 11, 1994.
- [8] D. Berschandy, "Comparaison des approches classiques et neuronales dans l'architecture d'un système d'intelligence artificielle embarqué. Application à la détection temps réel de danger automobile", Thèse de doctorat, Université Paris XI, Orsay, 24 février 1993.
- [9] N.E. Zergainoh, T. Maurin, Y. Sorel, C. Lavarenne, "A Real Time Application Development Design and Implementation", 2nd Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing, Malaga, January 26-28th 1994, IEEE Computer Society Press pp 544, 550