

La validation des systèmes d'aide à la conduite

Auteurs: Gérard Yahiaoui [NEXYAD], Nicolas DU LAC [INTEMPORA]

Contributeurs: Laurent RAFFAELLI [ALL4TEC], Roman KATZ [IBEO], Philippe DE SOUZA [CIVITEC]

Table of contents

INTRODUCTION	1
WORKFLOW ET OUTILLAGE PROPOSES.....	2
Définition et génération des cas de test pertinents	2
La méthodologie AGENDA	2
Outillage.....	3
Simulation des cas de test et Enregistrement embarqué des données capteurs.....	4
Outillage.....	4
Extraction de la "Vérité Terrain" & Analyse sémantique des scénarios.....	4
Outillage.....	5
Intégration des fonctions logicielles à valider	6
Outillage.....	6
Exécution automatique des tests et génération des rapports	6
Outillage.....	6
CONCLUSION	7
REFERENCES	7
CONTACT (pour en savoir plus)	7

INTRODUCTION

Les systèmes d'aide à la conduite vont désormais s'imposer au secteur automobile :

- les conducteurs, habitués à l'interactivité évoluée de leurs ordinateurs, smart phones, tablettes, ... sont demandeurs d'évolution du service interactif rendu par une voiture.
- l'organisme EURO NCAP attribue des étoiles aux véhicules, et en particulier sur la dimension « sécurité ». Il n'est désormais plus possible d'obtenir 5 étoiles sans intégrer de systèmes d'aide à la conduite.

- les technologies (logiciels reconnaissance de formes, caméras, radars, laser, ultrasons, ...) deviennent de plus en plus abordables, intégrables, et fiables.

Il est à noter que les constructeurs automobiles travaillent depuis les années 90 sur des programmes de recherche visant à automatiser des fonctions de conduites et/ou à aider le conducteur dans les tâches répétitives, fatigantes, ou délicates (parking automatique, cruise control, ...). Mais ces fonctions se sont heurtées aux problèmes suivants :

- la difficulté de monétiser les ADAS : le conducteur trouve cela « normal » de disposer d'innovations d'aide à la

conduite, et il n'est pas nécessairement prêt à payer plus cher son véhicule. Il utilise déjà des fonctions évoluées de reconnaissance de la parole et autres hautes technologies sur son smart phone, il s'attend au même niveau d'application dans son véhicule.

- le coût et l'encombrement des équipements n'étaient pas compatibles avec les prix automobile (qui vend de la technologie avancée à 4 euros du kilo !)
- les puissances de calcul et de stockage n'étaient jusqu'à très récemment pas suffisantes pour supporter des applications complexes sur des systèmes remarquables.
- le transfert de responsabilité du conducteur vers le constructeur en cas d'accident est à envisager si le véhicule conduit de façon autonome.

Ce dernier point pose implicitement la question de la validation exhaustive des ADAS : en termes de performance, robustesse, et fonctionnement en mode dégradé si des capteurs tombent en panne.

Les réglementations/normes d'une part, et les progrès technologique d'autre part, sont venus à bout des trois premiers freins. Reste la question de la validation des ADAS.

On comprend aisément que ce point est stratégique pour les constructeurs automobiles qui engagent leur responsabilité juridique, mais aussi la crédibilité de leur marque, en cas de dysfonctionnement.

Le Groupement ADAS de MOV'EO a mis au point une approche originale et efficace et développe actuellement les outils pour permettre aux constructeurs de disposer bientôt de méthodes et d'outils efficaces de validation.

Cette approche permet notamment de :

- Réduire de façon significative le nombre de kilomètres à parcourir pour mener à bien les procédures de test, et donc réduire d'autant les coûts et la durée de ces tests.
- Conserver, et même étendre la couverture des situations testées pour obtenir plus rapidement des résultats plus fiables.
- Automatiser l'exécution des tests.

WORKFLOW ET OUTILLAGE PROPOSES

Le workflow propose est le suivant :

1. Définition et génération des cas de test pertinents (méthodologie **AGENDA** et outil **Matelo**)
2. Simulation des cas de test (outil **ProSIVIC**) et Enregistrements sur roulages réels (outil **RTMaps**)
3. Extraction des vérités terrain et Analyse sémantique des scénarios (**IBEO Reference and Evaluation Suite (RES)** et utilisation **cartes numériques**)
4. Intégration des fonctions logicielles de perception et prise de décision (outil **RTMaps** + technologies à évaluer)
5. Exécution automatique des tests et génération de rapports (outil **I-DEEP**)

Ces outils logiciels sont notamment intégrés et interconnectés dans le cadre du projet COVADEC (FUI 15) - (Conception et Validation des Systèmes Embarqués d'Aide à la Conduite) <http://www.covadec.org/> et [Raf14].

Détaillons maintenant chaque étape de ce workflow :

Définition et génération des cas de test pertinents

La méthodologie AGENDA

Pour illustrer le propos, considérons un système d'aide à la conduite utilisant une caméra couleur (8 bits par plan = 24 bits) HD (2 millions de pixels).

Le nombre d'images que peut afficher une telle « matrice de données » dépasse $I = 65\,000\,200\,000$ [Yah14]

Parmi ces images, se trouvent votre photo de mariage, les photos de vos dernières vacances, une photo de route, etc. Ce nombre de messages possibles (au sens de la théorie de l'information [Shan xx]) n'est pas infini, mais c'est un très grand nombre qui correspond aussi à un très grand nombre de types de scènes.

On conçoit aisément qu'il est impossible d'échantillonner correctement de manière aléatoire la variance du message d'entrée. Il faudrait tirer au hasard un nombre d'images très grand devant I .

De même, on voit que conduire 1 000 000 de km pris au fil de l'eau lors de roulages ne permet pas de valider un système de traitement d'images. En effet, à 100 km/h, cela correspond à 900 millions d'images, ce qui reste un très petit nombre devant l.

Il est alors nécessaire de poser le problème dans un autre espace : un espace de description des images, et en particulier, un espace de description des scènes routières et des situations de vie rencontrées par le conducteur. Il s'agit de spécifier en définitive une base de données de situations de vie routières qui soit « représentative » de l'utilisation d'un véhicule sur la durée de possession.

Pour cela, nous proposons d'utiliser une méthodologie publiée dans les années 90 qui avait pour objectif, entre autre, de spécifier les bases de données d'apprentissage et de test des réseaux de neurones artificiels : la méthodologie AGENDA [Yah92].

Cette méthodologie propose de décrire un système de traitement par ses « variants » et ses « invariants » (exemple : variant par/ ou sensible à la distance – pour un détecteur d'obstacle, invariant par luminance globale, etc ...).

On appelle les éléments de description les facteurs de variabilité des scènes routières, et les qualificatifs « variant pas » « invariant par » la spécification fonctionnelle du système de traitement.

Dans un cycle en V, cette spécification se situe en haut à gauche, et fait face à la validation en haut à droite : on constate que la constitution de la base de données de validation consiste à échantillonner l'espace des facteurs de la variabilité des scènes.

Nous proposons d'utiliser pour cela les plans d'expériences orthogonaux.

NB: pour 10 facteurs de variabilité seulement (ce qui est très peu), si l'on considère qu'ils concernent des variables quantitatives (largeur de la route, distance à l'obstacle, niveau de luminosité globale), et si l'on échantillonne sur trois niveaux (petit, moyen, grand) pour conserver les effets non linéaires [tagxx], on constate que cela conduit à 3^{10} croisements de facteurs de variabilité des situations de vie. Il est possible de réduire la combinatoire en

utilisant les plans d'expériences fractionnaires orthogonaux [Tag98].

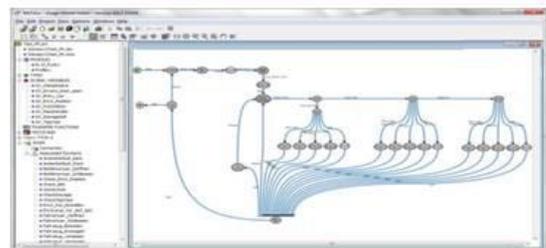
On remarque que cette spécification peut être utilisée pour constituer la base de données de validation de trois manières :

- réaliser physiquement les essais correspondant à chaque croisement de facteurs (ce qui est parfois possible, parfois non)
- filtrer une base de données routière prise au fil de l'eau pour en extraire les cas de croisements recherchés (cela suppose alors que l'on dispose d'algorithmes et de méthodes de reconnaissance des situations de vie)
- simuler numériquement les cas de croisements de facteurs de la variabilité

Outillage

MATELO

MaTeLo (Markov Test Logic) est un outil de MBT (Model Based Testing) permettant de construire un modèle représentant le comportement attendu du système à tester puis de générer à partir de ce modèle des cas de test adaptés à des besoins particuliers (par exemple tester en priorité les fonctions les plus utilisées du système ou couvrir à 100% toutes les exigences du système). MaTeLo est basé sur les chaînes de Markov. Pour les générations de cas de test non déterministes, MaTeLo utilise les méthodes de Monte-Carlo couplées à des stratégies de génération adaptées aux besoins de l'utilisateur. Grâce à des techniques d'accélération des tests, MaTeLo permet également d'obtenir une couverture maximale de la validation d'un système en utilisant un minimum de cas de tests ce qui permet de réduire le nombre de kilomètres de roulage nécessaire pour valider un ADAS.



Simulation des cas de test et Enregistrement embarqué des données capteurs

Il s'agit ici de proposer une approche conjointe utilisant de façon complémentaire des outils de simulation et des données de capteurs réels issus de roulages sur véhicules équipés.

La simulation permet :

- la génération automatique de scénarii,
- la maîtrise fine des conditions de roulage (événements, situations de conduite, conditions climatiques, éclairage...)
- le test de situations dangereuses.

L'enregistrement horodaté de données capteurs et leur utilisation en mode rejeu permet de confronter chaque fonction à valider à des situations réelles dans des environnements réels et aux sorties réelles des données capteurs que la simulation, si performante soit-elle, ne pourra remplacer.

Outillage

ProSIVIC

ProSIVIC est un environnement logiciel de simulation spécialisé dans le rendu avancé de capteurs ADAS (caméras, radars, lidars, GPS, systèmes de communication...). Il propose des modèles complexes de capteurs et d'environnements prenant en compte de nombreuses caractéristiques physiques ou électroniques (pour une caméra par exemple, il s'agit de modéliser la distorsion, le bruit, les conditions atmosphériques et climatiques, les conditions de luminosité, ...)

ProSIVIC permet également d'intégrer des modèles dynamiques de véhicule, de constituer des scénarios de conduite complexes dans des environnements complets, d'animer des objets (piétons par exemple).

ProSIVIC peut fonctionner en temps réel ou en temps virtuel ce qui permet le test et la validation de systèmes ADAS avec ou sans humain dans la boucle.



Enregistreurs haute-performance

Le groupement ADAS propose des solutions d'enregistrement de données capteurs ADAS multiples et hétérogènes, évolutifs, basées sur le logiciel RTMaps. Ces solutions permettent l'acquisition en temps-réel et l'horodatage précis de chaque mesure de tout type de capteurs ADAS (caméras mono et stéréovision, lidars, radars, GPS, centrales inertielles, bus CAN, bus LIN, XCP, capteurs analogiques/numériques, audio, systèmes de communication, oculomètres, capteurs biométriques, capture de mouvement, capteurs biométriques, etc.)

Les configurations disponibles sont diverses et fonction des besoins (en terme de nombre de capteurs et d'entrées/sorties, de bande passante et de durée d'enregistrement) et des contraintes (consommation électrique, encombrement, facilité d'installation).

Des fonctions de tagging en temps-réel permettent dès les étapes de roulage d'identifier des situations particulières (tagging vocal, automatique, via interface tactile, etc.)

Des fonctions de tagging en temps-réel permettent dès les étapes de roulage d'identifier des situations particulières (tagging vocal, automatique, via interface tactile, etc.)



Extraction de la "Vérité Terrain" & Analyse sémantique des scénarios

La capacité à évaluer la performance d'une fonction de perception, nécessite de disposer d'une « référence » (ou « vérité terrain ») : position du véhicule égo, position orientation, vitesse et géométrie des objets environnants, géométrie et

attributs de l'environnement, ... et ce en parallèle des données issues des modèles capteurs.

Cette information est aisément accessible en environnement simulé dans le sens où le simulateur "connait" et peut fournir, à chaque pas de simulation, une information parfaite sur l'environnement et les acteurs de la simulation en parallèle des flux de données provenant des capteurs virtuels.

Le problème est autrement plus complexe quand il s'agit d'extraire cette vérité terrain sous forme d'une analyse sémantique de la situation à partir de données réelles enregistrées sur un véhicule équipé de capteurs ADAS (caméras, lidars, etc.).

Les méthodes classiques font appel à des techniques d'étiquetage (ou « labélisation ») manuel ou partiellement assisté : des opérateurs sont alors en charge de passer les frames vidéo une à une pour détourner les obstacles potentiels que le système devra savoir détecter et gérer. Le coût de ce type de méthode face à l'explosion des quantités de données à tester est un frein considérable à la validation des systèmes d'ADAS.

Outillage

Ibeo Evaluation Suite

L'Evaluation Suite d'Ibeo est un logiciel modulaire prenant part au processus développement des capteurs automobiles et des ADAS. Il propose des fonctions d'étiquetage automatique des données [Ibe15]. L'Evaluation Suite peut être facilement intégrée dans des chaînes outillées pré-existantes et améliorer les développements dans le cadre de l'évaluation de DuT (Device under Test), du test des applications et de la génération de données de référence pour l'apprentissage des algorithmes d'ADAS.

Les fonctionnalités disponibles à l'heure actuelle pour la Evaluation Suite incluent (i) la génération automatique d'objets étiquetés, (ii) le post-traitement de nombreux jeux de données de test, et (iii) la génération de cartes précises incluant les marquages au sol :

- i. La génération automatique d'objets étiquetés est basée sur des algorithmes avancés de détection associés à des algorithmes de tracking avant et arrière (FBT – Forward-Backward Tracking) ainsi que des techniques de Best Situation Classification (BSC) pour l'inférence complète et précise

d'objets déterminés par dimension tels que fournis par le Ibeo Reference System à l'aide de multiples nappes lasers horizontales.

- ii. Le post-traitement de nombreux jeux de données de test est réalisé via le traitement de bases de données utilisant l'optimisation hors-ligne for l'étiquetage automatique and la classification complète à partir des premiers instants de détection.
- iii. La carte des marquages au sol est réalisée via la détection automatique de ceux-ci à l'aide d'une nappe laser disposée à l'arrière du véhicule pointant vers le bas. Les objets post-traités et la carte des marquages au sol peuvent être associés aux objets de référence pour fournir un scénario de référence complet incluant les usagers de la route et l'information routière elle-même.

L'exemple ci-dessous illustre une application de l'Evaluation Suite pour générer des scénarios de référence.



L'image du haut affiche les résultats obtenus en temps réel, lesquels sont ensuite améliorés par l'étape de post-traitement hors-ligne à l'aide de l'Evaluation Suite. L'image du bas indique que tous les objets étiquetés ont été correctement classifiés, et leurs boîtes englobantes correspondent à leur classe respective. De plus, une carte des marquages au sol a été construite and les objets étiquetés sont maintenant projetés sur cette carte.

Cartes numériques

L'utilisation de cartes numériques, associée le cas échéant à des systèmes de positionnement haute

précision (GPS RTK, centrales inertielles hautes performances) permet également d'extraire de façon automatique un certain nombre d'attributs (vitesse limite, présence de panneaux, présence d'intersections, de ronds-points, nombre de voies...)

Intégration des fonctions logicielles à valider

La fonction à valider, qu'il s'agisse d'un algorithme de vision, de traitement de signal, de fusion de données et qu'il soit à des fins de détection, de classification, de positionnement, de prise de décision... doit être intégrée dans un environnement ouvert et modulaire pour être soumis aux opérations de test pour validation, tout en conservant une facilité d'intégration dans un prototype réel pour exécution en temps réel (démonstrateurs, tests sur système réel).

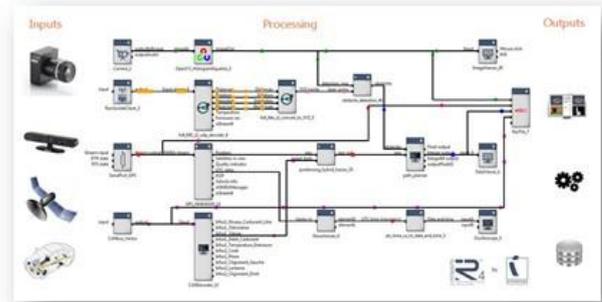
Outillage

RTMaps

RTMaps est un outil logiciel modulaire de développement rapide et d'exécution pour les applications temps-réel ayant à manipuler, traiter et fusionner des données haut-débit provenant de sources hétérogènes et asynchrones (caméras, lidars, radars, bus CAN, GPS, IMUs, communications V2V et V2I, etc.)

RTMaps propose également des fonctionnalités d'enregistrement de tous types de capteurs ADAS, puis de rejeu de ces données de façon synchronisée, en temps réel ou temps virtuel, pour permettre les développements hors-ligne, sur table, des fonctions de perception et fusion de données, communications, prise de décision et contrôle-commande (développement, test, validation, benchmarking).

RTMaps peut également être connecté à des outils de simulation et/ou de contrôle-commande tels ProSIVIC ou Matlab/Simulink et porté sur de nombreuses cibles pour s'intégrer à des processus de développement complets, de la recherche amont vers l'industrialisation et permettant à toutes les étapes le portage simple d'une application du monde hors-ligne (MIL, SIL) vers le système réel (HIL et véhicule).



Exécution automatique des tests et génération des rapports

A ce stade nous disposons :

- des scénarios à tester (sous forme de scénarios de simulation ou d'enregistrements de données réelles),
- des vérités terrain et situations (descriptions sémantiques) associées,
- des fonctions à valider intégrées dans la suite logicielle.

Il ne reste plus qu'à exécuter l'ensemble des cas de test pour valider (ou invalider) le bon fonctionnement de chacune de ces fonctions.

L'automatisation et l'exécution sur cluster de calcul est ici encore nécessaire pour obtenir des résultats fiables sous contraintes de temps et de ressources humaines limitées.

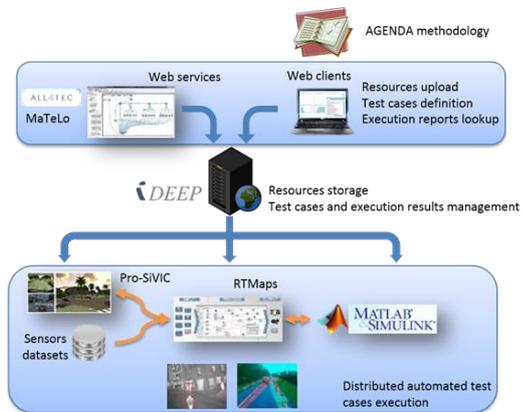
Outillage

I-DEEP

I-DEEP est un serveur d'automatisation de tests dédié à la validation des fonctions de perception et décision pour les ADAS, notamment basées sur des technologies liées à la vision. I-DEEP permet le stockage d'enregistrements de données capteurs au format RTMaps et/ou de scénarios de simulation au format ProSIVIC, l'archivage d'algorithmes de traitement d'images / traitement du signal / fusion de données sous forme de plugins RTMaps et permet l'exécution automatique de cas de tests de scénarios de conduite en grand nombre sur clusters de calculs.

I-DEEP propose ainsi une double approche pour la validation des fonctions ADAS, en permettant d'alimenter la fonction à l'étude d'une part via la simulation et d'autre part via le rejeu de données multi-capteurs enregistrées (donc réelles). Ces deux approches sont très complémentaires, la simulation

proposant une maîtrise totale du scénario joué et des conditions environnementales ainsi que le test de situation dangereuses, les données réelles permettant une confrontation de la fonction avec un maximum de réalisme.



[Tag92] Nair, V N (ed.) (1992) Taguchi's parameter design: a panel discussion, Technometrics vol34, pp. 127–161

[Tag98] Robust engineering - Genichi Taguchi ; Subir Chowdhury; Shin Taguchi - Dunod - 1998

[Raf14] MBT and Test Automation for ADAS validation – Laurent Raffaelli; Xavier Rouah – UCAAT 2014 conference: http://ucaat.etsi.org/2014/presentations/S3P4_MBT_and_Test_automation_for_ADAS_validation_L_Raffaelli.pdf

[Ibe15] <http://www.ibeo-as.com/>, Ibeo Automotive Systems GmbH, 2015

CONTACT (pour en savoir plus)
grouperments@pole-moveo.org

CONCLUSION

Il existe aujourd’hui les méthodologies, les compétences, et les outils pour valider les systèmes ADAS. Les entreprises qui possèdent ces compétences et outils sont regroupées au sein du Groupement ADAS de Mov’eo, qui compte une dizaine de PME de haute technologie.

Nous pensons que la mise en œuvre de ces compétences et outils permettra dans les deux années qui viennent de lever la plupart des freins liés à la difficulté de validation des ADAS, et permettre ainsi leur diffusion en masse dans le parc automobile.

REFERENCES

[Shan48] C. E. Shannon « A Mathematical Theory of Communication », sur L’Institut d’électronique et d’informatique Gaspard-Monge (Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, p. 379–423, 623–656, July, October, 1948

[Yah14] methodology for ADAS validation ; potential contribution of other scientific fields which have already answered the same question, Gérard Yahiaoui, Pierre Da Silva Dias, Congress CESA 2014, session validation of ADAS, dec 2014.

[Yah92] "Un cadre méthodologique dédié à la conception de solutions neuronales : la méthode AGENDA", G. Yahiaoui, Colloque "les réseaux neuromimétiques et leurs applications, Neuronîmes92, Nîmes, 1992