

Fusion de données GPS, vision, Lidar et SIG3D pour la géo-localisation et la détection d'obstacles

Maan El Badaoui El Najjar, Cindy
Cappelle, Denis Pomorski
LAGIS UMR 8146 - équipe SFSD
Cité Scientifique
59655 Villeneuve d'Ascq
Maan.el-badaoui-el-najjar@univ-lille1.fr

François Charpillet
INRIA Nancy – Grand Est
CS20101
54603 Villers les Nancy Cedex France
badaoui@loria.fr

Résumé – Le développement des véhicules urbains autonomes ainsi que des systèmes d'aide à la conduite pour les véhicules non-autonomes imposent au véhicule intelligent de remplir plusieurs tâches : la localisation du véhicule, la détection des obstacles, la planification de trajectoire, les systèmes d'alerte de franchissement de ligne ... Dans ce travail, nous présentons des travaux qui concernent la géo-localisation et la détection d'obstacles dans un environnement d'évolution modélisé par un modèle cartographique 3D. L'approche proposée exploite un modèle 3D géo-référencé et texturé de l'environnement d'évolution du véhicule. Afin de manipuler la base de données du modèle 3D, un système d'information géographique 3D (SIG-3D) a été développé. Pour la géo-localisation, nous réalisons la fusion de données multi-capteurs GPS, Odométrie et Gyroscope ainsi que la construction d'une observation de la pose en utilisant la cartographie 3D. Le principe de la méthode de détection d'obstacles est de comparer deux images : l'«image réelle» acquise par une caméra embarquée et l'«image virtuelle» fournie par le SIG-3D. Afin de valider le calcul de la distance entre le véhicule et l'obstacle donnée par l'approche proposée, les résultats sont comparés avec la distance délivrée par un télémètre laser. Des résultats expérimentaux obtenus avec des données réelles sont présentés pour montrer les performances des approches développées.

Mots- clé – Géo-localisation, Détection d'obstacle, Modèle 3D géo-référencé, SIG-3D, Vision, GPS, Télémètre laser.

I. INTRODUCTION

Le développement des véhicules urbains autonomes ainsi que des systèmes d'aide à la conduite pour les véhicules non-autonomes imposent au véhicule intelligent de remplir plusieurs tâches : la localisation du véhicule, la détection des obstacles, la planification de trajectoire, les systèmes d'alerte de franchissement de ligne,... Parmi les éléments des systèmes de navigation autonome, nous nous intéressons dans ce travail à la géo-localisation et à la détection d'obstacle. En particulier, nous proposons une illustration de l'apport qu'un modèle 3D géo-référencé et texturé peut avoir pour ces deux problématiques. Le capteur principal des méthodes proposées est la vision.

Le choix d'une géo-localisation à partir d'images, n'est pas anodin. Il est connu que le GPS rencontre des difficultés qui semblent insurmontables dans certains milieux avec une forte densité d'obstacles aux signaux radioélectriques. Dans ce travail, on s'intéresse au cas du milieu urbain car les carences du GPS y sont bien connues : l'instabilité, le manque de précision voir la perte totale de la géo-position estimée, et pourtant les besoins de géo-localisation générés par les activités humaines sont plus forts que partout ailleurs. Dans les milieux urbains, le caractère immobile et facilement identifiable des bâtiments et autre éléments d'un environnement urbain encourage à utiliser plutôt un système de position combinant la vision et des données cartographiques.

Un système de localisation par vision génère toujours un positionnement relatif, c'est à dire qu'on arrive à distinguer les éléments environnants et à se localiser par rapport à eux. Or ce n'est pas l'objectif. Une localisation relative est à distinguer d'une localisation absolue dans le sens où pour une géo-localisation absolue, il faut identifier des éléments de l'environnement pour lesquels on dispose déjà d'une localisation absolue. En pratique, cela signifie qu'on doit disposer d'un modèle de l'environnement. Celui-ci peut être imaginé sous forme de carte géographique, ou sous la forme d'un modèle 3D géométrique, voir même des modèles texturés (composés d'images associées à des informations géographiques).

Ce papier est organisé de la façon suivante. Dans la section II, nous présentons le modèle 3D géographique utilisé dans le cadre de ce travail ainsi que le système d'information géographique 3D (SIG-3D) développé pour manipuler la base de données du modèle 3D. Puis dans la section III, les méthodes mises en œuvre pour la géo-localisation et la détection des obstacles sont détaillées. Finalement, nous présentons les résultats obtenus dans la section IV.

II. LES SOURCES D'INFORMATION UTILISEES

La méthode proposée utilise un modèle 3D géo-référencé, géré par un système d'information géographique 3D (SIG-3D) et plusieurs capteurs embarqués : une caméra, un récepteur GPS et un télémètre laser. Cette partie de l'article décrit ces différentes sources d'information.

A. Modèle 3D géo-référencé et SIG-3D

En plus des cartes en deux dimensions, qui sont communément associées avec un système d'information géographique (SIG), de plus en plus d'applications requièrent des modèles 3D des bâtiments, des villes, des paysages. Ces modèles sont générés automatiquement à partir d'images aériennes, de plans cadastraux, de données télémétriques, de base de données topographique et orthophotographique ... De tels modèles de l'environnement permettent une meilleure compréhension des relations spatiales et sont par conséquent idéaux à des fins de démonstrations ou de présentations, comme le montre le projet allemand GEIST [5]. Le système développé dans GEIST informe les personnes sur un site historique en offrant une visite personnalisée et animée sans guide touristique humain. Lorsque les utilisateurs s'approchent d'un endroit qui a un lien historique avec une personne ou un fait, ils peuvent interagir avec un personnage virtuel qui raconte les faits. A l'aide d'un système de lunette, l'utilisateur peut voir les objets réels auxquels ont été superposés des éléments virtuels (par exemple des bâtiments) montrant la situation historique. Au travers de multiples applications de ce type, le développement des modèles 3D géographiques texturés (aussi appelé modèle virtuel 3D de villes, dans la littérature) est alors en plein essor. Par exemple, toutes les grandes villes japonaises sont modélisées en trois dimensions depuis 2002 et sont mises à jour tous les 6 mois. Par ailleurs, le projet Bati3D de l'IGN (Institut Géographique National) a pour objectif de développer d'ici 2011 une maquette numérique urbaine 3D du territoire français. L'attrait incontestable pour les modèles virtuels 3D urbains [3,4,6,7,9], nous amène à proposer dans cet article une utilisation possible de ceux-ci dans le domaine de l'automobile et des transports : La géo-localisation et la détection d'obstacle.

Le modèle 3D géo-référencé utilisé dans ce travail a été réalisé par la société Tecnomade avec une précision métrique selon le constructeur. Il cartographie la place Stanislas à Nancy. Plusieurs vues extraites du modèle sont proposées dans la figure 1.

Afin de manipuler en temps-réel la base de données du modèle 3D géo-référencé, un système d'information géographique trois dimensions (SIG-3D) est requis. Un SIG est un système informatique capable d'intégrer, d'enregistrer, d'éditer, d'analyser, de partager et d'afficher des informations géo-référencées. Nous avons donc développé un SIG-3D, adapté à nos applications en robotique et véhicule intelligent. Une première fonction du SIG-3D est de naviguer dans le modèle 3D à partir de positions fournies par un GPS. Pour cela, la transformation rigide entre le repère local du modèle et le système de coordonnées WGS84 du GPS a été déterminée.

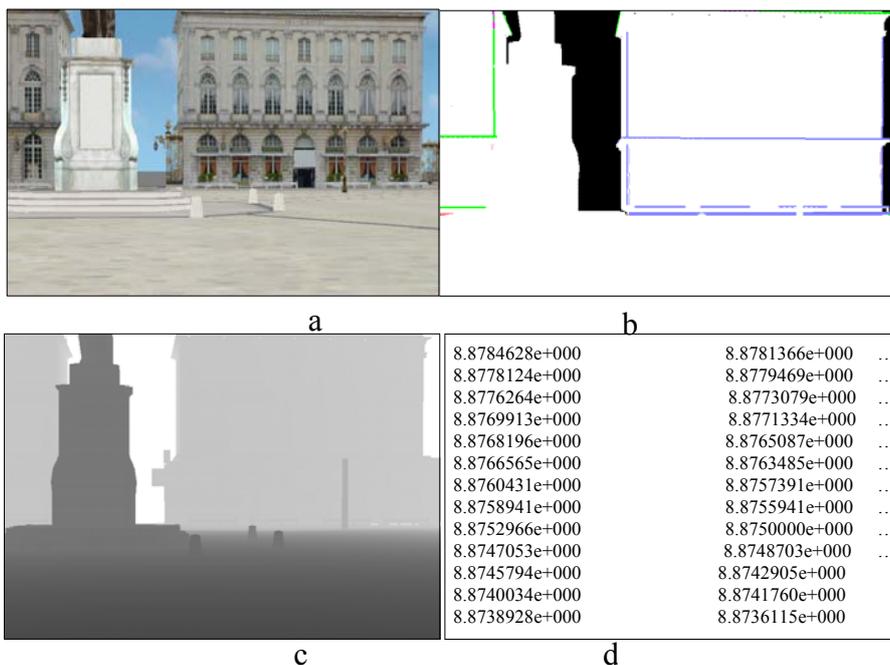


Fig.1 : Captures d'écran du modèle 3D

On peut alors suivre en temps-réel le panorama vu par un véhicule dont la trajectoire est donnée par un GPS. Les entrées du SIG-3D développé sont les suivantes :

- la base de données du modèle, c'est-à-dire les vertex, les textures, les paramètres de configuration ...
- les paramètres de calibration de la caméra virtuelle

Les paramètres extrinsèques de la caméra virtuelle sont les 6 degrés de liberté par rapport au repère attaché au modèle 3D : X_c , Y_c , Z_c pour les translations et φ , θ , ψ pour les orientations. Dans notre cas, les paramètres extrinsèques seront déterminés à partir des données GPS. Le paramètre intrinsèque de la caméra virtuelle est l'angle de champ de vision (FOV : Field Of View). Plusieurs autres fonctionnalités ont été développées et intégrées au SIG-3D. La figure 2 illustre ces fonctions.



```

<Segment>
<Visible status="hors champ"/>
<Point numero="1">
  <Coordonnees x="-42.015800" y="-38.909801" z="0.597691"/>
</Point>
<Point numero="2">
  <Coordonnees x="-39.563599" y="-43.810501" z="0.597691"/>
</Point>
</Segment>
<Segment>

```

e

Fig.2 : Sorties du SIG-3D

Les cinq sorties disponibles sont :

- l'image virtuelle (Fig.2a) : image au format bitmap qui représente la vue de la scène capturée par la caméra virtuelle placée et paramétrée selon les paramètres d'entrées du SIG-3D,
- l'image bitmap des segments de la base de données qui sont visibles à partir de la position et de l'orientation de la caméra (Fig.2b),
- l'image de profondeur (Fig.2c) correspondant à l'image virtuelle : plus l'objet est loin, plus le pixel est clair et plus l'objet est près, plus le pixel est foncé,
- un fichier binaire (Fig.2d) qui contient l'information de profondeur, en mètre, pour chaque pixel de l'image virtuelle ; cette information de profondeur est extraite par le Z-Buffer de la carte vidéo, c'est la distance entre la caméra virtuelle et les points 3D correspondants aux pixels,
- un fichier XML (Fig.2e) qui contient pour tous les segments 3D de la base de données, les coordonnées des extrémités et le statut de visibilité de ce segment (c'est-à-dire, si le segment est complètement visible, partiellement visible ou invisible par la caméra virtuelle).

B. Capteurs embarqués

Caméra :

Le rôle de la caméra dans notre méthode est de fournir la vue réelle du véhicule, c'est-à-dire une vue de la scène avec les éventuels obstacles.

La caméra utilisée est une AVT MARLIN F-046C, connectée au port FIREWIRE IEEE 1394. Elle délivre des images 640x480 pixels à la fréquence d'acquisition de 30Hz. Comme tout système de vision, la caméra a été calibrée [1,8], afin d'en déterminer les paramètres intrinsèques (distance focale, point principal, facteur d'échelle) et les paramètres de distorsion.

GPS :

Le GPS fournit une estimation de la pose du véhicule au SIG-3D. Une fonction a été développée afin de convertir la position du système de coordonnées du GPS (WGS84) au système de coordonnées local du modèle 3D. Cette position permet de placer la caméra virtuelle dans le modèle 3D, le SIG-3D peut alors extraire la vue virtuelle prise de cette position.

Le récepteur utilisé est le GPS Sagitta02 de Thales Navigation. En mode RTK (Real Time Kinematic), la précision du GPS est centimétrique.

Télémètre laser

Afin de valider notre méthode de détection et de géo-localisation d'obstacle basée sur la vision et le modèle 3D virtuel urbain, les résultats obtenus sont comparés avec les mesures d'un télémètre laser à balayage. Il s'agit du modèle LMS291 de SICK. Le télémètre balaye un angle de 180° avec une résolution angulaire de 1°. Il fournit la distance entre le capteur et l'objet-cible.

Pour la méthode de géo-localisation les capteurs ont été fixés sur le toit du véhicule. Par contre, pour la méthode de détection d'obstacle ces trois capteurs sont fixés à l'avant du véhicule comme montré sur la figure 3.



Fig.3: Capteurs embarqués à bord du véhicule

III. METHODES DEVELOPPEES

A. Géolocalisation

Un problème central de beaucoup d'applications de transport intelligent est la localisation dynamique précise en milieu urbain. Le principal capteur pour la localisation extérieure est le GPS (Global Positioning System). Cependant, le GPS fournit l'information de localisation à basse fréquence et souffre de masquage satellite, de multi-trajet, ..., surtout en environnement urbain. La précision, la robustesse et la disponibilité de l'estimation de la position peut donc décroître significativement. Pour compenser ces faiblesses, les données GPS sont souvent fusionnées avec des mesures de positionnement relatif (odomètre, centrale inertielle ...). La localisation relative est utilisée à fréquence d'échantillonnage élevée pour maintenir à jour la pose (position+orientation) du véhicule. La localisation absolue (GPS) est appliquée périodiquement pour corriger la dérive de la localisation relative. Mais, dans le cas d'absence GPS trop longue, le seul positionnement relatif diverge. De plus, la localisation relative n'est pas suffisante pour corriger le multi-trajet du GPS. Nous proposons donc d'élaborer un nouveau capteur de positionnement absolu afin de fournir une estimation précise et robuste de la pose. La méthode de géo-localisation développée est décrite dans la figure (4).

1) Observation cartographique 3D

Une observation cartographique est l'estimation de la pose d'un véhicule qu'on calcul après une mise en correspondance entre l'image virtuelle et l'image 2D d'une camera embarquée. Dans cette section, nous décrivons comment la construction de cette observation cartographique.

La méthode est décrite dans la figure 5. La première partie de la méthode consiste en l'extraction des deux images nécessaires à l'algorithme:

- l'image réel capturé par la camera embarqué
- L'image virtuelle fournie par SIG-3D

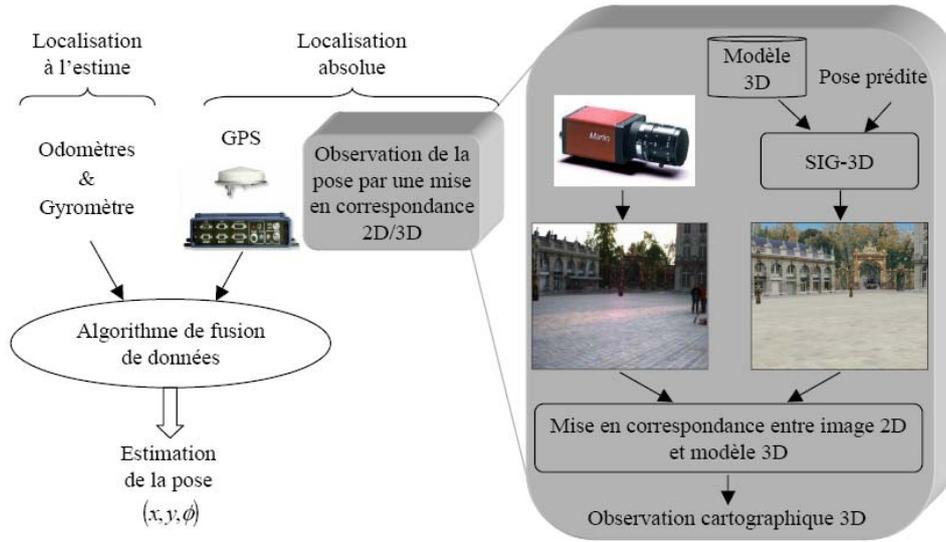


Fig.4: Synoptique de la méthode développée

Pour l'extraction d'une image virtuelle, le SIG-3D qui manipule la cartographie 3D doit avoir une initialisation avec une pose qui ne soit pas loin de la vraie position. Nous avons choisi d'utiliser la prédiction avec le modèle odométrique utilisé dans le cadre de ce travail qui utilise les données brutes d'un codeur incrémentale et un gyroscope. Après avoir sélectionné l'image virtuelle. L'étape suivante consiste à effectuer le détecteur des points de Harris de l'image réelle et l'image virtuelle. Une mise en correspondance entre les deux ensembles de points de Harris est effectuée. Ces points de Harris sont ensuite utilisés pour calculer la géo-position.

Le SIG-3D ne fournit pas seulement l'image virtuelle mais également le fichier des profondeurs des pixels de l'image. Les profondeurs fournies sont les distances en mètre entre la caméra virtuelle et les pixels de l'image virtuelle. Cette distance permet de calculer les coordonnées 3D des pixels dans le modèle 3D.

Considérons p un point de Harris parmi les points de Harris matché. Supposons que (u, v) les coordonnées de ce pixel p dans l'image 2D. Supposons P le point 3D qui correspond à la projection de ce pixel dans le modèle 3D. Comme nous considérons que le véhicule roule sur une surface plane, nous supposons qu'il n'y a pas ni tangage, ni de roulis. Les coordonnées $(x_C, y_C, z_C)^T$ du point P dans le repère de la caméra sont calculé de la façon décrite dans la figure 5.

$$\begin{cases} z_C = -\frac{d \cdot f}{m} \\ x_C = -z_C \cdot \frac{v - v_0}{f} \\ y_C = z_C \cdot \frac{u - u_0}{f} \end{cases} \quad (1)$$

Avec

- $(u_0, v_0)^T$: coordonnées du pixel dans le repère dont le centre est le centre de la caméra
- f : la distance focal en pixel
- d : distance en mètre entre la caméra C (i.e. la pose prédite) et le point 3D P , extraite du modèle 3D
- m : distance en pixels entre la caméra virtuelle C et le pixel p

$$m = \sqrt{f^2 + (u - u_0)^2 + (v - v_0)^2} \quad (2)$$

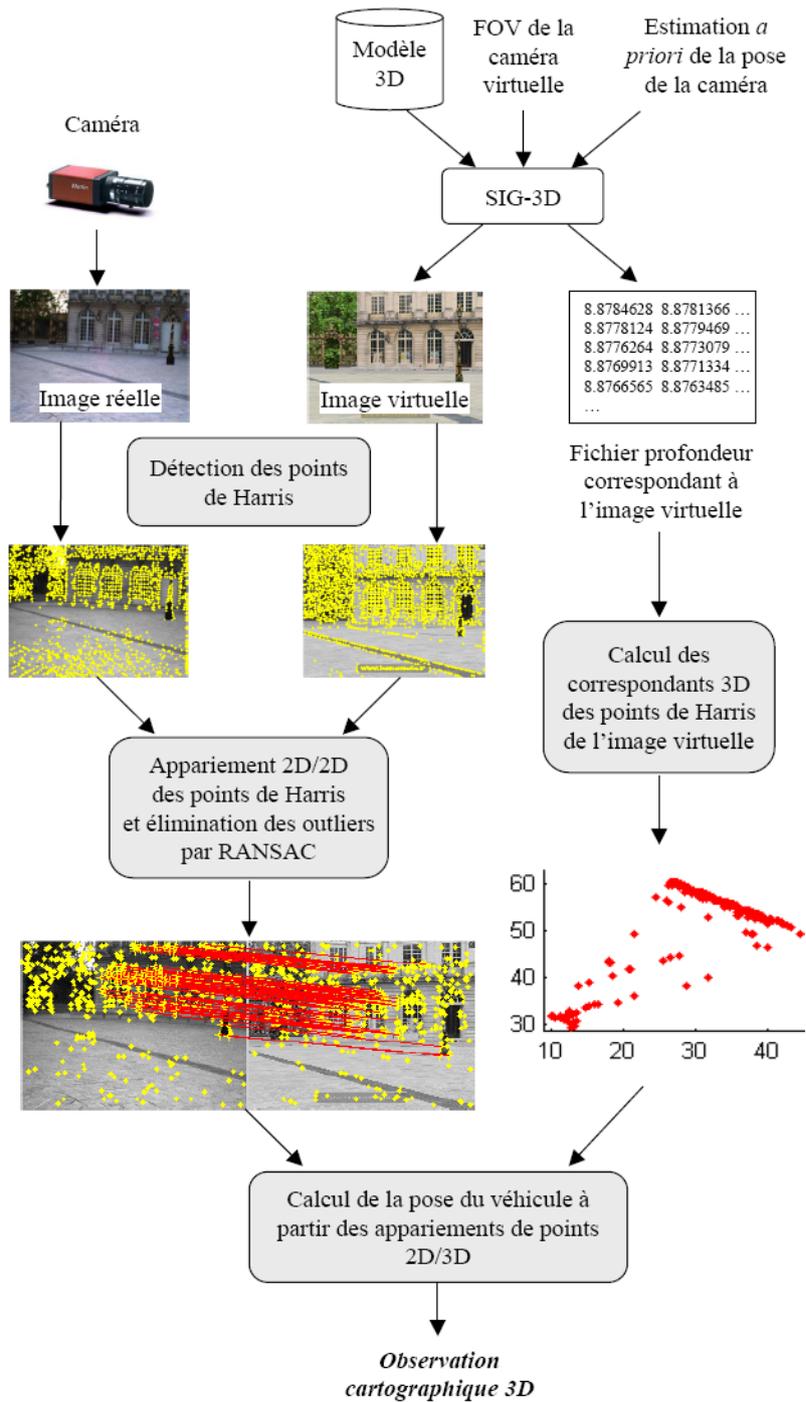


Figure 5: Synoptique de la construction de l'observation cartographique

Les relations suivantes permettent de déterminer les coordonnées $(x_M, y_M, z_M)^T$ du point P dans le repère attaché au modèle 3D: En re-projetant ces points 3D sur l'image 2D, nous pouvons estimer la pose en effectuant une minimisation des erreurs de re-projection de ces points 3D sur leur correspondant 2D sur l'image [2].

$$\begin{pmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{pmatrix} + T \quad (3)$$

Avec (R, T) la matrice de rotation et le vecteur de translation du repère de la camera dans le repère du modèle 3D.

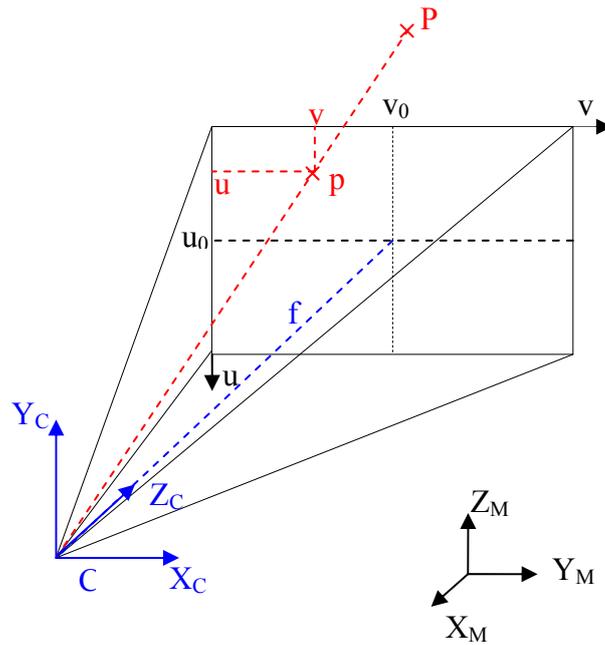


Figure 6: Calcul des coordonnées 3D du point d' Harris en utilisant la profondeur des pixels

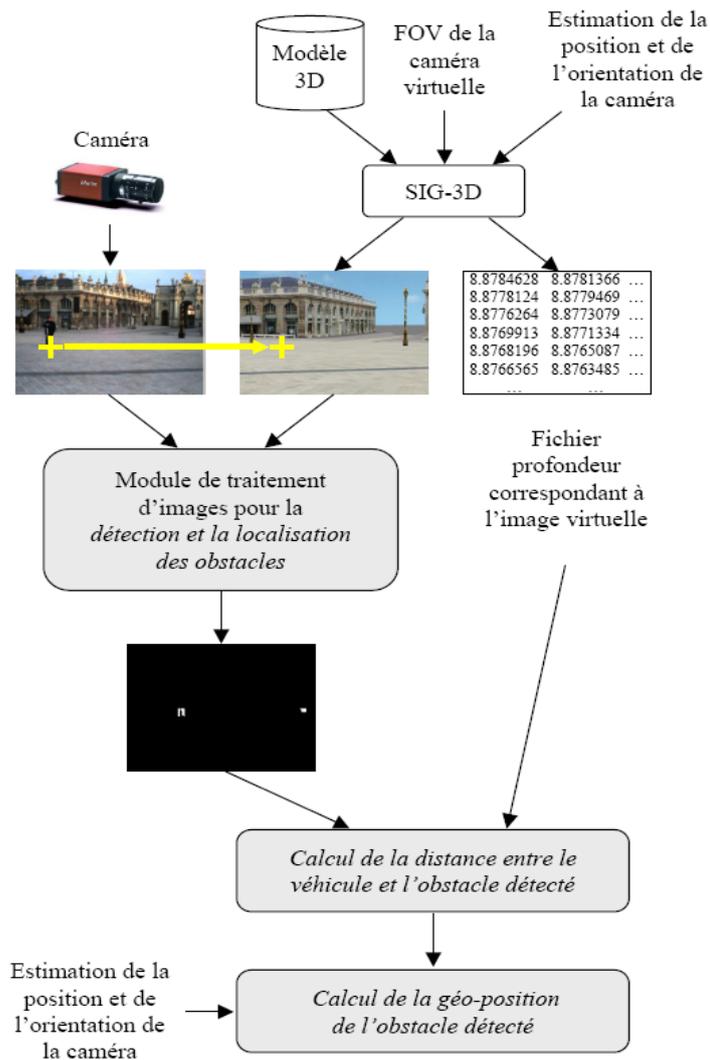


Fig.7: Synoptique de la méthode développée

Pour résumer la méthode, la première partie de la méthode consiste à acquérir l'image réelle par la caméra embarquée préalablement calibrée ainsi que l'image virtuelle qui correspond à la position et le cap prédit par le modèle odométrique. Puis les points de Harris sont détectés dans chacune de ces deux images. Ensuite ces points de Harris sont appariés en utilisant la corrélation croisée normalisée centrée. Afin d'éliminer les faux-appariements, l'algorithme RANSAC est appliqué. Parallèlement, les coordonnées des correspondants 3D des points de Harris de l'image virtuelle sont calculées. Finalement, la pose est calculée en minimisant l'erreur de re-projection des appariements 2D/3D ainsi obtenus [2].

B. Détecteur d'obstacle

La figure 7 décrit la méthode utilisée pour détecter et géo-localiser les obstacles. Le GPS RTK centimétrique délivre la longitude, la latitude et le cap du véhicule. Ces informations sont fournies au SIG-3D, qui en manipulant la base de données du modèle 3D, retourne la prise de vue de la caméra virtuelle. L'image virtuelle ainsi obtenue et l'image réelle acquise par une caméra embarquée sont ensuite traitées afin de détecter les obstacles visibles de la scène. L'intégration, dans le processus de traitement d'images, de l'information de profondeur produite par le SIG-3D permet ensuite de calculer la distance entre le véhicule et l'obstacle. Finalement, les obstacles détectés sont géo-localisés.

1) Détection des obstacles

A chaque instant k , deux images sont disponibles (Fig.8) :

- l'image capturée par la caméra embarquée, appelée image réelle,
- l'image produite par le SIG-3D, appelée image virtuelle.

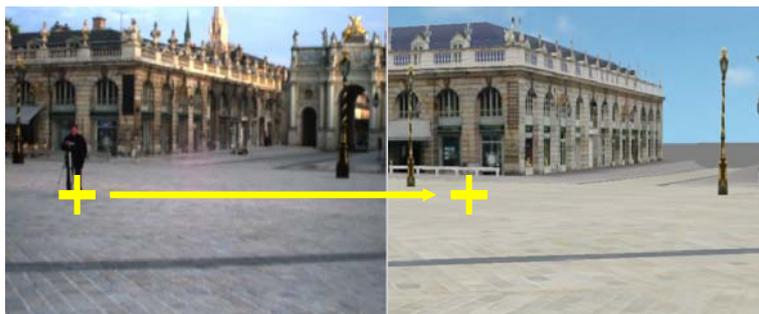


Fig.8: images réelle (gauche) et virtuelle (droite) à l'instant k



Fig.9: Résultat de la détection d'obstacle

La méthode de détection d'obstacle a été développée pour être implémentable en temps-réel. Donc un algorithme de traitement d'image plutôt simple est requis. Après une étape de pré-traitement, un module de traitement d'images basé sur le calcul de la différence entre l'image virtuelle binarisée et l'image réelle binarisée est mis en œuvre. Afin d'éviter de détecter des obstacles contenus dans le modèle 3D mais absents de la scène réelle, un ordre dans la soustraction doit être respecté. Finalement, un post-traitement est réalisé afin d'éliminer le bruit. Le résultat de ces différentes étapes est illustré sur un exemple dans la figure 9.

Comme nous considérons que les obstacles sont au contact du sol, le pixel le plus bas de chaque obstacle détecté dans l'image « soustraction » est l'intersection entre le sol et l'obstacle.

2) Distance entre le véhicule et l'obstacle détecté

Une fois l'obstacle détecté, la distance entre le véhicule et l'obstacle peut être calculée en utilisant l'information de profondeur extraite par le SIG-3D. Le SIG-3D fournit en effet un fichier binaire contenant la profondeur de chaque pixel de l'image virtuelle, c'est-à-dire la distance entre la caméra virtuelle et le point 3D correspondant au pixel considéré. La profondeur (notée l) du pixel correspondant à l'obstacle détecté est alors recherchée dans ce fichier binaire des profondeurs et donne donc la distance entre la caméra et l'obstacle.

La caméra est installée sur le véhicule comme indiqué sur la figure 10. La distance (notée d) entre l'avant du véhicule et l'obstacle est alors définie comme suit :

$$d = \sqrt{|l^2 - 0.7^2|} \quad (4)$$

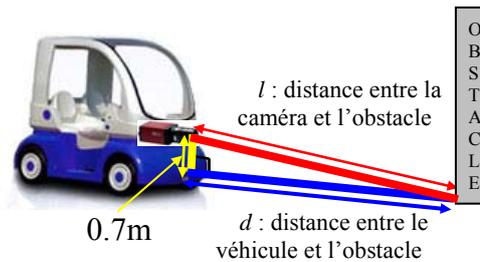


Fig.10: Calcul de la distance entre le véhicule et l'obstacle

C. Géolocalisation de l'obstacle détecté

La distance entre le véhicule et la caméra étant connue, l'obstacle peut être géo-localisé. Dans la mesure où la hauteur de l'obstacle n'est pas nécessaire, la scène peut être projetée sur le plan XY , qui est supposé être le plan du sol.

L'obstacle appartient alors à la droite passant par la caméra et d'équation :

$$y = \cotan(\beta).(x - X_c) + Y_c \quad (5)$$

Avec :

- X_c et Y_c , les coordonnées de la caméra dans le système Lambert93 (donné par le GPS RTK),
- β , l'orientation de l'obstacle dans le système de coordonnées Lambert93, c'est-à-dire l'angle entre l'obstacle et l'axe Nord.

Puisque la distance entre la caméra et l'obstacle est connue, l'obstacle est géo-localisé.

L'orientation β est telle que :

$$\beta = head - \alpha \quad (6)$$

Avec $head$, l'orientation du véhicule c'est-à-dire l'angle entre l'axe de la caméra et l'axe Y (Nord) du repère Lambert93 et α , l'angle entre l'axe de la caméra et l'obstacle. L'angle α est donc l'angle formé par l'axe orthogonal au plan de l'image et au centre de l'image (segment D dans la figure 11) et le segment d_{ob} reliant la caméra à l'obstacle. Dans le même plan de profondeur, l'angle α peut être calculé avec l'équation trigonométrique suivante :

$$\tan \alpha = \frac{A}{width/2} \tan(O_h/2) \quad (7)$$

Où :

- O_h est le FOV horizontal (Field Of View),
- $width$ est le nombre de pixels dans la largeur de l'image,
- A représente le nombre de pixels entre le pixel du centre de l'image et la projection P_{ob} de l'obstacle dans le plan P dont la profondeur est la profondeur du pixel central de l'image.

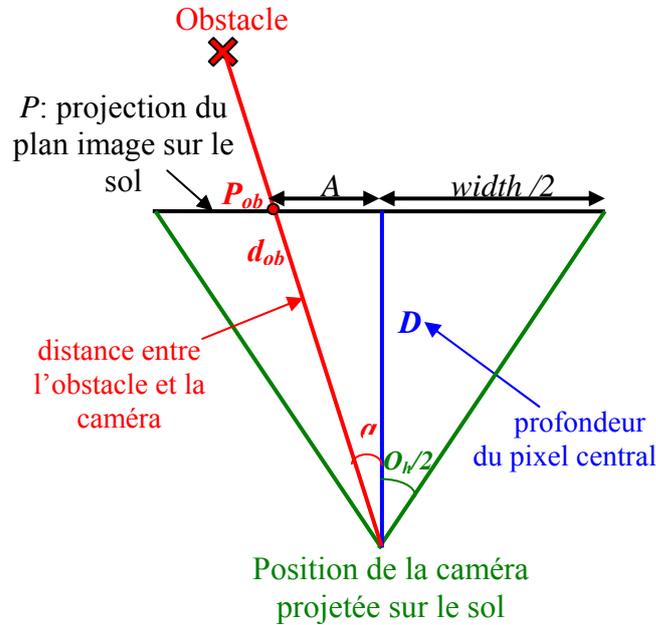
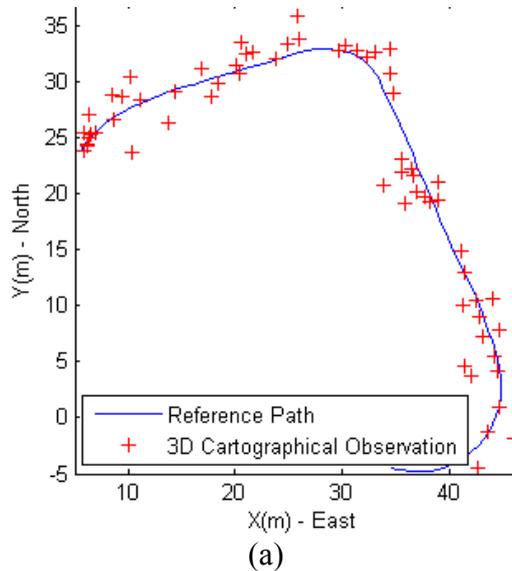


Fig.11: Calcul de la géo-position de l'obstacle détecté

IV. RESULTATS

Afin de tester et valider notre approche avec des données réelles, une plateforme d'acquisition a été développée. Celle-ci a été intégrée à notre véhicule expérimental, un CyCab produit par la société Robosoft. Cette plateforme d'acquisition permet d'acquérir, de dater et d'enregistrer les mesures des capteurs embarqués.

A. Résultats de l'approche de géo-localisation



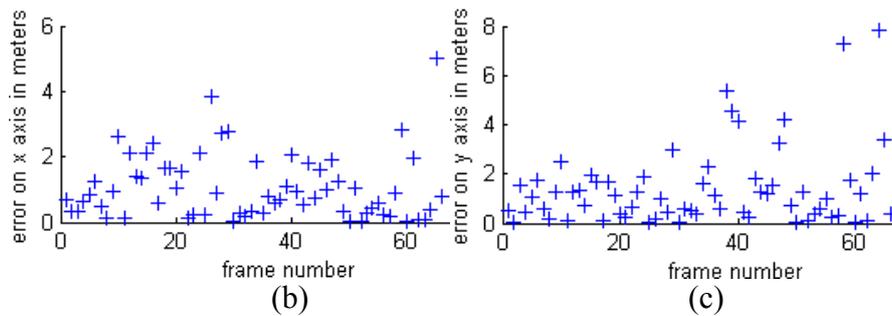


Fig.12: Validation de la distance calculée entre le véhicule et l'obstacle par comparaison avec un télémètre laser

Sur la figure 12, nous pouvons voir les résultats de la géo-localisation avec la méthode du calcul de l'observation cartographique. Les écarts selon les axes X (*Est*) et Y (*Nord*) entre les positions GPS et les estimations à l'aide de la cartographie 3D sont données respectivement dans les Figures 12(b) et 12(c). Soient E_X l'erreur selon l'axe X et E_Y l'erreur selon l'axe Y. On note que pour cet essai l'erreur maximale est d'environ 11,3 mètres selon l'axe X et 6 mètres selon l'axe Y. La valeur moyenne de $|E_X|$ (valeur absolue d' E_X) est 1,3 mètre et la valeur moyenne de $|E_Y|$ est 1,5 mètre. L'écart type de $|E_X|$ est 1,77; celui de $|E_Y|$ est 1,55. La précision atteinte est donc du même ordre que la précision d'un GPS en mode DGPS WAAS/EGNOS. L'estimation de la pose par cette méthode est très sensible aux erreurs d'estimation des paramètres intrinsèques de la caméra. Nous envisageons donc dans des travaux à venir, d'intégrer cette incertitude dans le calcul de la pose. A ce jour, la minimisation effectuée afin de calculer la pose de la caméra, est réalisée en fonction des seuls paramètres extrinsèques. Nous pensons qu'en ajoutant les paramètres intrinsèques et en particulier la distance focale, les résultats pourraient être améliorés.

B. Résultats du détecteur d'obstacle

Afin de valider la distance entre le véhicule et l'obstacle calculée par notre approche, les résultats sont comparés avec la distance mesurée par un télémètre laser. La figure 13 présente cette comparaison. L'obstacle détecté est une personne passant devant le véhicule pendant 40 secondes. Dans la figure 13a, la distance entre le véhicule et l'obstacle par l'approche développée est tracée en bleu, et en rouge pour la distance donnée par le télémètre laser pour le même obstacle. La différence entre ces deux distances est tracée en vert dans la figure 13b. Pour un obstacle se trouvant entre 1,50m et 4,50m devant le véhicule, l'erreur maximale est de 0,8m. L'erreur moyenne est de 0,35m.

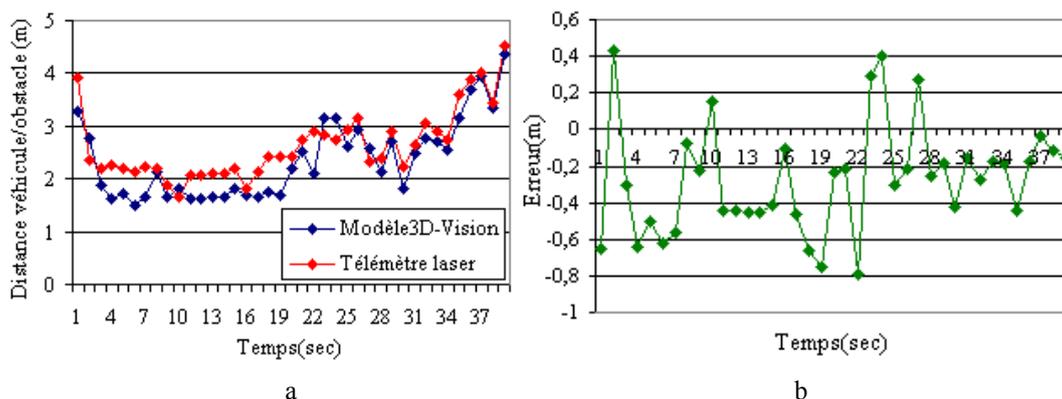


Fig.13: Validation de la distance calculée entre le véhicule et l'obstacle par comparaison avec un télémètre laser

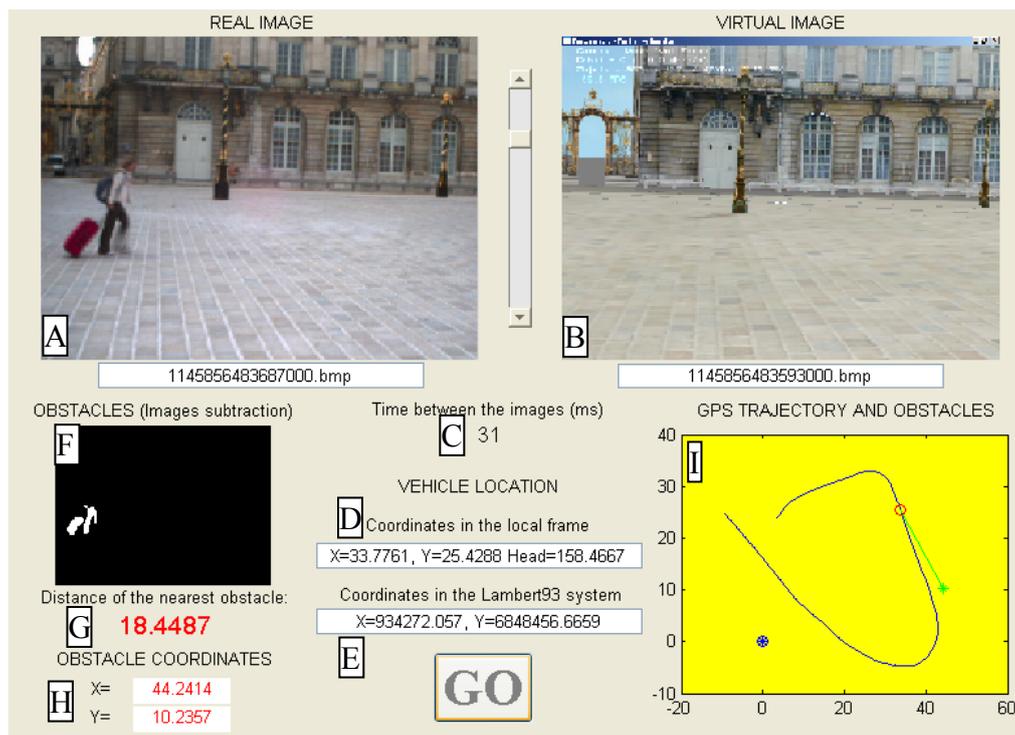


Fig.14: Interface graphique du détecteur d'obstacle

La figure 14, présente l'interface graphique du détecteur d'obstacle. Afin de décrire cette interface graphique, des légendes de A à I sont utilisées comme suit

- Partie A : image réelle acquise par la caméra embarquée ainsi que sa date d'acquisition (temps écoulé depuis le 1er Janvier 1970) au bas de l'image
- Partie B : image virtuelle extraite par le SIG-3D et sa date d'acquisition, qui est en fait la date de l'estimation de la pose de la caméra virtuelle
- Partie C : différence en milliseconde entre les dates d'acquisition de l'image réelle et de l'image virtuelle
- Partie D : estimation de la position et de l'orientation de la caméra dans le repère local attaché au modèle 3D
- Partie E : estimation de la position et de l'orientation de la caméra en Lambert93
- Partie F : résultat du module de traitement d'images pour la détection des obstacles (les pixels blancs représentent les obstacles)
- Partie G : distance calculée entre l'obstacle et le véhicule
- Partie H : géo-position, dans le repère local, de l'obstacle détecté

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Deux méthodes, une pour la géo-localisation et une autre pour la détection et de géo-localisation d'obstacle ont été présentées.

La méthode de géo-localisation de véhicules s'effectue en deux temps. Tout d'abord une hybridation (GPS - Odomètre – Gyromètre) au travers un filtre de Kalman permet d'obtenir une estimation continue de la pose du véhicule. Cette estimation est ensuite utilisée pour construire l'observation cartographique 3D. L'observation cartographique 3D est basée sur le recalage entre le modèle virtuel 3D et l'image réelle c'est-à-dire l'image courante acquise par la caméra embarquée. Pour cela, on extrait les points de Harris de l'image réelle et de l'image virtuelle. L'image virtuelle est l'image extraite par le SIG-3D en positionnant la caméra virtuelle selon la pose estimée précédemment. Les deux ensembles de points de Harris ainsi obtenus sont ensuite appariés. Les pixels de l'image virtuelle sont ensuite reconstruits en 3D

grâce au fichier de profondeur. On dispose alors d'appariements 2D/3D, à partir desquels on peut calculer la pose de la caméra réelle.

La méthode de détection d'obstacles est basée sur un traitement simple des images réelles et virtuelles. Le principe repose sur le constat que les obstacles (n'appartenant pas à l'infrastructure) sont présents dans l'image réelle mais absent de l'image virtuelle. Grâce à l'information de profondeur disponible grâce au modèle 3D, les obstacles détectés ont été géo-localisés.

De nombreuses perspectives des travaux présentés sont envisagées afin d'améliorer les résultats obtenus et/ou de les compléter. Tout d'abord, au niveau applicatif, une implémentation temps-réel de la méthode de localisation présentée est en cours de développement.

D'autre part, concernant l'observation cartographique 3D, la technique de traitement d'images est certainement perfectible. En particulier, il serait intéressant de travailler avec un système de stéréovision plutôt qu'en vision monoculaire afin de tirer pleinement bénéfice de la modélisation en trois dimensions. En effet, à l'heure actuelle la stéréovision en temps réel est un acquis. L'appariement stéréovision/modèle 3D permettrait certainement d'améliorer les résultats tant pour la localisation de véhicules que pour la détection des obstacles.

Ensuite, les améliorations proposées pour la modélisation de l'erreur cartographique 3D doivent être développées afin d'intégrer cette observation à l'algorithme de fusion de données.

Le modèle virtuel 3D urbain peut également être envisagé comme une source de données afin de faire du couplage serré GPS-Modèle 3D. La fusion des pseudo-distances du GPS avec des distances entre quelques amers géo-référencés du modèle 3D et le véhicule pourrait en effet permettre d'estimer la pose dans une zone de visibilité GPS réduite.

REFERENCES

- [1] Calibration Camera Toolbox for Matlab, http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html
- [2] C. Cappelle, « Localisation de véhicule et détection d'obstacles : Apport d'un modèle virtuel 3D urbain », Thèse de doctorat à l'université de Lille1. Décembre 2008.
- [3] R. Malaka, K. Schneider, U. Kretschmer, "Stage-based augmented edutainment", *Proceedings of Smart Graphics: 4th International Symposium*, SG 2004, Banff, Canada, May 23-25, 2004.
- [4] S. Persa and P. Jonker, "Real-time Computer Vision System for Mobile Robot", *Procs. SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XX : Algorithms, Techniques, and Active Vision*, David P. Casasent, Ernest L. Hall, Eds., vol. 4572, pp. 105-114, October 2001.
- [5] A. Schilling and D. Holweg, 3D GIS for virtual City Models, Exploring foreign Cities and reconstructed Buildings, 2004
- [6] K. Sung-Soo, K. Kyong-Ho, L. Seong-Ho and L. Jong-Hun, "High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information", *Video Navigation System using the Geographic Hypermedia*, ISPRS Hannover Workshop, 2005.
- [7] Y. Takase, N. Sho, A. Sone, K. Shimiya, "Generation of Digital City Model", *Journal of the Vizualization Society of Japan*, vol. 23, n°88, pp. 21-27, 2003.
- [8] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, N°11, pp 1330-1334, 2000.
- [9] S. Zlatanova, A. Rahman and M.Pilouk, "Present status of 3D GIS", *GIM International*, vol. 16, n°6, pp. 41-43, June 2002.