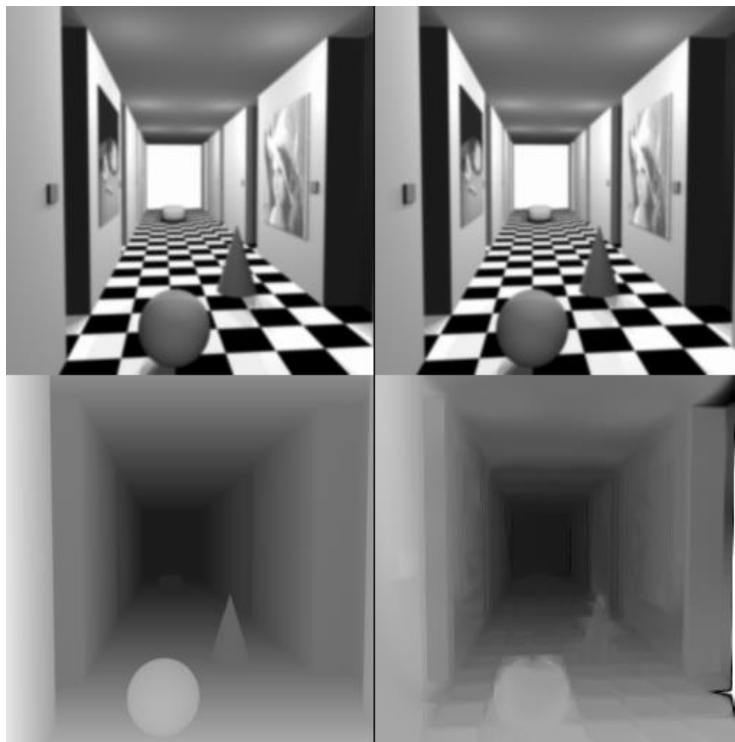


LA STEREOVISION POUR LA PERCEPTION DU VEHICULE AUTONOME



Etudiants :

Antoine CAMUSAT

Anas KATIM

Marion MESNIL

Pan RUIDONG

Yuxuan SONG

Enseignant-responsable du projet :

Abdelaziz BENSRAIR

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **15/06/2020**

Référence du projet : **STPI/P6/2019 – 2020**

Intitulé du projet : La stéréovision pour la perception du véhicule autonome

Type de projet : veille technologique

Objectifs du projet :

L'objectif de ce projet est de réaliser une veille technologique sur la stéréovision. On va expliquer les procédés mis en place pour créer une scène en 3D à partir de deux images capturées avec des angles de vue différents.

De plus, on va voir comment cette technologie peut être utilisée afin de servir d'outil de perception dans le cadre des véhicules autonomes.

Mots-clefs du projet : stéréovision, véhicules autonomes, perception.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	5
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	5
3. Travail réalisé et résultats.....	6
3.1. Principe de fonctionnement.....	6
3.1.1. Extraction de primitives	6
3.1.2. Contraintes	8
3.1.3. Appariement stéréoscopique	10
3.1.4. Carte de disparité	13
3.2. Stéréovision et véhicules autonomes.....	14
3.2.1. Historique	14
3.2.2. Etat de l'art	15
3.3. Limites, perspectives	16
3.3.1. Véhicules autonomes	16
3.3.2. Avantages de la stéréovision	17
3.3.3. Limites de la stéréovision.....	17
4. Conclusions et perspectives.....	18
5. Rapport d'étonnement	19
6. Références.....	20
7. Annexe : Organigramme stéréovision	21

1. INTRODUCTION

Le véhicule autonome est un projet en cours de développement depuis de nombreuses années. Il consiste en un véhicule capable de circuler d'un point A à un point B, sur la voie publique, sans intervention humaine.

Ce concept, appartenant au domaine de la robotique mobile, soulève plusieurs aspects techniques à traiter. Un des aspects majeurs concerne la perception de l'environnement par le véhicule. En effet, afin de pouvoir s'adapter à chaque situation, celui-ci doit être en mesure d'analyser son environnement.

Il existe plusieurs technologies de perception utilisées dans le cadre du véhicule autonome. L'une d'entre elles est la stéréovision, et c'est celle-ci que nous avons étudié dans le cadre de notre projet de P6. La stéréovision est une méthode de mesure qui consiste à se servir de plusieurs images prises de différents points de vue afin de déterminer les dimensions, les formes et les positions des éléments environnants.

Dans un premier temps nous verrons comment fonctionne la stéréovision, c'est-à-dire l'association des 2 images en une seule, en ajoutant la profondeur. Ensuite, nous allons nous intéresser aux méthodes mises en place afin d'utiliser cette technologie comme organe de perception d'un véhicule autonome. Enfin nous exposerons les avantages et inconvénients de cette technologie dans le cadre du véhicule autonome.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Afin de réaliser ce projet nous avons décidé de nous répartir les différentes parties à traiter.

Pan RUIDONG et Yuxuan SONG se sont chargés de l'historique et de l'état de l'art des voitures autonomes et de la stéréovision.

Antoine CAMUSAT a travaillé sur les contraintes de la stéréovision et la carte de disparité.

Anas KATIM s'est occupé de la partie concernant l'extraction des primitives et l'appariement stéréoscopique.

Marion MESNIL s'est chargée de la partie concernant les avantages et inconvénients ainsi que l'introduction et la conclusion du rapport.

Anas KATIM	Antoine CAMUSAT	Pan RUIDONG	Yuxuan SONG	Marion MESNIL
Extraction de primitives Appariement stéréoscopique	Contraintes Carte de disparité	Historique Etat de l'art	Historique Etat de l'art	Avantages et inconvénients Introduction Conclusion

Nous avons dû nous organiser pour travailler à distance pendant cette période de confinement. Dans un premier temps, chacun a fait des recherches sur sa propre partie. Nous avons ensuite mis en commun notre travail et nous l'avons complété au fur et à mesure des semaines. Nous avons communiqué sur un groupe que nous avons créé sur

Messenger. De plus, chaque semaine pendant le créneau de P6 réservé dans notre emploi du temps, nous faisons un point de notre avancée entre nous et avec notre encadrant. De cette façon, nous avons de nouvelles tâches à réaliser pour faire avancer le projet.

3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Principe de fonctionnement

Dans cette première partie nous allons détailler le principe de fonctionnement de la stéréovision. On peut identifier trois grandes étapes dans le processus de stéréovision : l'extraction des primitives, l'appariement stéréoscopique et enfin, la réalisation de la carte de disparité. (Annexe)

3.1.1. *Extraction de primitives*

Cette étape consiste à extraire de l'information à partir des images acquises par les deux caméras. L'extraction des primitives doit être facile et répétable. De plus, les primitives doivent être significatives c'est-à-dire qu'elles doivent être porteuses d'informations exploitables.

Le choix des primitives dépend tout d'abord du type de stéréovision choisi. En effet, dans le cas d'une stéréovision dense où l'on cherche à construire une carte de profondeur pour tout point de l'image, les primitives choisies seront généralement des pixels.

D'autre part, dans le cadre d'une stéréovision éparse, la profondeur est calculée uniquement sur des points caractéristiques. Dans ce cas, il existe différents types de primitives utilisées par les algorithmes de mise en correspondance :

- Contours : Les contours correspondent aux bords internes et externes des objets. Ils constituent une primitive intéressante et très utilisée car ils sont relativement faciles à détecter et sont très présents dans les objets que l'on essaye de reconstruire. Par exemple, dans le cadre des véhicules autonomes, on peut facilement détecter les contours horizontaux et verticaux très marqués des autres voitures. Cependant, l'inconvénient principal des contours est qu'il y a des problèmes de stabilité dans la détection. Une approche serait donc de détecter des contours dans un premier temps et ensuite extraire le long des contours certains points d'intérêts (comme l'intersection des contours par exemple).



Figure 1 : Extraction de contours d'une image

- **Points** : Les points d'intérêts tels que des éléments de contours, des jonctions ou encore des coins sont très utilisés en stéréovision. En effet, dans beaucoup de cas seule la détection de primitives de type points est possible (par exemple lorsqu'une image est peu structurée, il est plus facile de détecter des points que d'autres types de primitives).



Figure 2 : Mise en évidence des points d'intérêt sur l'image

- **Segments** : Il s'agit par exemple de segments de droite ou d'arcs de cercle. Ces primitives sont surtout utilisées lorsque les images présentent des formes polyédriques.

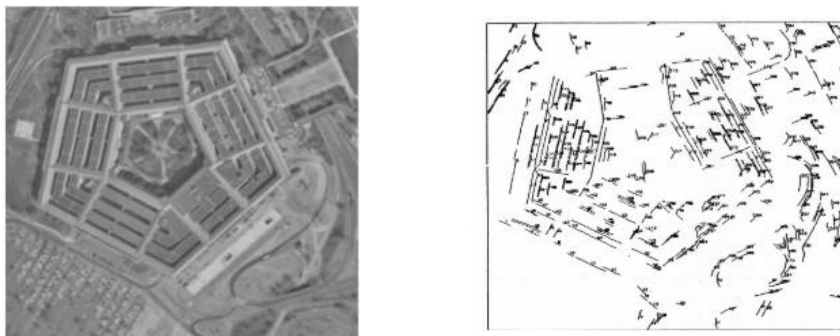


Figure 3 : Extraction de segments d'une image

- **Régions** : Les régions sont des primitives mal adaptées à la stéréovision. En effet, les projections des points sur les images gauche et droite modifient la forme et la taille d'une même région sur les images stéréo.



Figure 4 : Mise en évidence des régions d'une image

Ainsi, il faut retenir que le choix des primitives que l'on va appairer dépend des images à traiter et des méthodes utilisées.

3.1.2. Contraintes

Définition : Une contrainte est une hypothèse introduite lors du processus de la mise en correspondance afin de restreindre l'espace de recherche des pixels candidats ou de réduire les ambiguïtés d'appariement.

Pour la stéréovision, les contraintes peuvent être de 3 types, et imposent donc de prendre des hypothèses lors de l'appariement.

1. Contraintes liées à la géométrie du capteur stéréoscopique

C'est la principale contrainte pour la stéréovision, et celle qui permet de restreindre grandement la zone de recherche : La contrainte épipolaire.

Elle permet, sous réserve que le capteur soit correctement calibré, de réduire l'espace de recherche de R^2 à R . En effet, la calibration de la caméra permet, en phase de prétraitement, d'aligner les lignes des deux images. Ainsi, un point sur l'image gauche à la ligne i sera obligatoirement sur la ligne i de l'image droite.

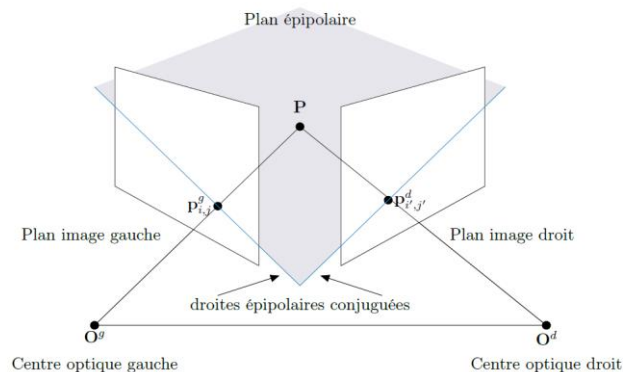


Figure 5: Représentation de la contrainte épipolaire : On limite la recherche à une droite

La contrainte épipolaire implique cependant une phase de calibration de la caméra, qui peut être compliquée à mettre en place.

2. Contraintes liées à la géométrie de la scène (globales) :

- Contrainte d'unicité :

La contrainte d'unicité impose qu'un point sur l'image droite ne peut avoir qu'un unique point correspondant sur l'image gauche (et inversement). Elle peut cependant ne pas être applicable dans le cas d'objets fortement inclinés.

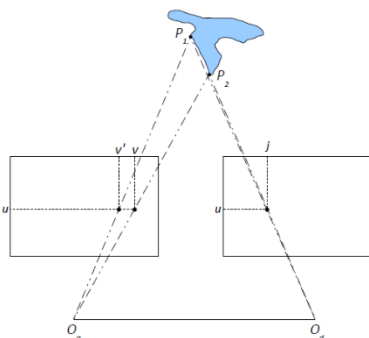
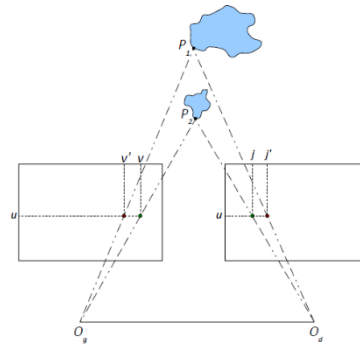


Figure 7: Violation de la contrainte d'unicité

- **Contrainte d'ordre :**

En plus d'être présent une seule fois sur chaque droite épipolaire, il est intéressant de chercher les points dans le même ordre sur l'image droite et sur l'image gauche : En effet, si ceux-ci se situent sur une surface convexe, leur ordre est maintenu, et cela facilite donc encore l'appariement.

Figure 8 : Violation de la contrainte d'ordre



- **Contrainte de visibilité :**

Si 2 objets se situent l'un devant l'autre par rapport à une caméra, alors l'objet de derrière ne sera pas apparent sur l'image de la caméra. La contrainte de visibilité traite de ce problème : Sur la caméra 2 (qui peut donc voir les 2 points) On ne garde que le point créant la disparité maximale avec la caméra 1 : En effet, c'est ce point qui est le plus proche de la caméra, et donc visible.

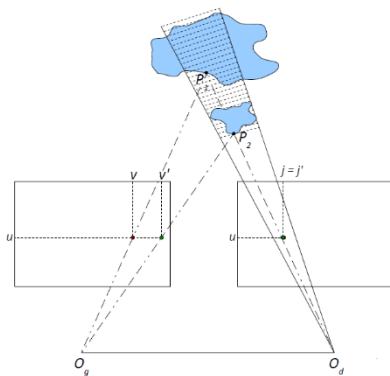


Figure 9 : Violation de la contrainte de visibilité

- **Contrainte de disparité maximale :**

Il existe une disparité maximale pour chaque point : En effet, la distance entre les 2 caméra nous donne un z_{Max} , et donc un $disp_{Max}$. Il n'est pas nécessaire de chercher des points en dehors de cette zone, car ceux-ci correspondent à des points présents sur le champ de vision d'une seule des deux caméras. Trouver tel un point n'aurait donc aucun sens physique.

3. Contraintes d'ordre local

Une contrainte d'ordre local est une contrainte qui permet réellement de retrouver le point sur l'image 2.

La principale contrainte d'ordre local est la contrainte de colorimétrie : On met en correspondance deux pixels grâce à leurs niveaux de gris respectif. On prend ici comme hypothèse que les deux points émettent la même intensité lumineuse peu importe l'angle de la prise de vue (cela crée néanmoins des problèmes pour les surfaces transparentes par exemple)

3.1.3. **Appariement stéréoscopique**

L'appariement stéréoscopique (ou stereo matching) consiste à mettre en correspondance les points homologues de la scène observée dans les images gauche et droite. C'est une étape très délicate et coûteuse en temps dans le processus de la stéréovision car l'espace de recherche est important. C'est pour cette raison que l'on a introduit différentes contraintes afin de réduire les espaces de recherche et faciliter l'appariement.

1. Appariement par corrélation

L'approche par corrélation est une méthode d'appariement locale qui se base sur le voisinage des pixels à apparier pour établir leur niveau de corrélation. Pour évaluer ce degré de corrélation, on définit une « *fonction de vraisemblance* » donnant une mesure de similarité entre deux régions. Les fonctions de vraisemblance les plus populaires sont la somme des différences carrées (SSD « *Sum of Squared Differences*) et la corrélation croisée.

Le choix de la fonction de vraisemblance est un élément important car plus une fonction sera discriminante et adaptée au contexte, plus les erreurs d'appariement seront réduites.

Comme il a été précisé précédemment, l'approche par corrélation utilise le voisinage des pixels à apparier. Pour cela, on définit la fenêtre d'agrégation qui est généralement une fenêtre carrée de taille fixe centrée sur le pixel à apparier. On procède ensuite en déplaçant cette fenêtre sur l'image homologue afin de trouver la position qui optimise la fonction de vraisemblance. Voici un exemple sur l'image ci-après :

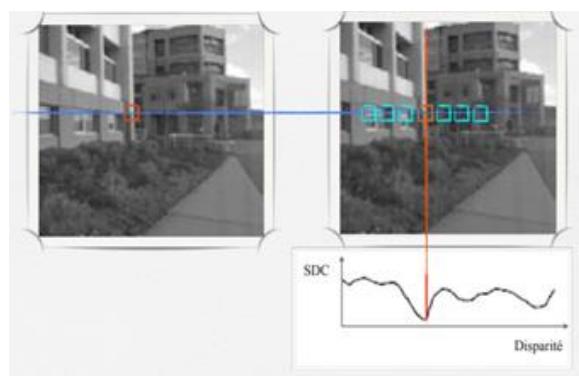


Figure 10 Résultat d'une corrélation avec une somme des différences carrées

L'appariement par corrélation a pour avantage d'être simple et rapide à mettre en œuvre. De plus, elle n'est pas très coûteuse en temps de calcul. Cependant, cette méthode reste très sensible aux bruits, aux textures répétitives et aux changements de luminosité.

2. Appariement par programmation dynamique

L'approche par programmation dynamique repose sur l'idée de décomposer un problème d'optimisation en plusieurs sous-problèmes de complexité similaire. Ce concept très utilisé en informatique a été introduit par Richard Bellman au début des années 1960. Cette méthode est très efficace pour appairer des séquences d'éléments en respectant la contrainte d'ordre. En vision par ordinateur, un des algorithmes les plus utilisés dans le cadre de cette méthode est celui de Viterbi. Il permet de déterminer l'appariement optimal entre deux séquences d'éléments. Pour cela, on construit une matrice de deux dimensions définies par les éléments des séquences à appairer. Ainsi, chaque terme de la matrice représente par exemple une mesure de similarité entre deux éléments à mettre en correspondance. Pour la stéréovision, les séquences d'éléments sont des pixels ou des primitives le long des deux droites épipolaires conjuguées. Le chemin optimal est donc celui qui minimise le coût global, c'est-à-dire la somme des coûts locaux. Ce problème peut aussi être traité avec un graphe dans lequel chaque nœud correspond au coût pour un couple de pixels candidats.

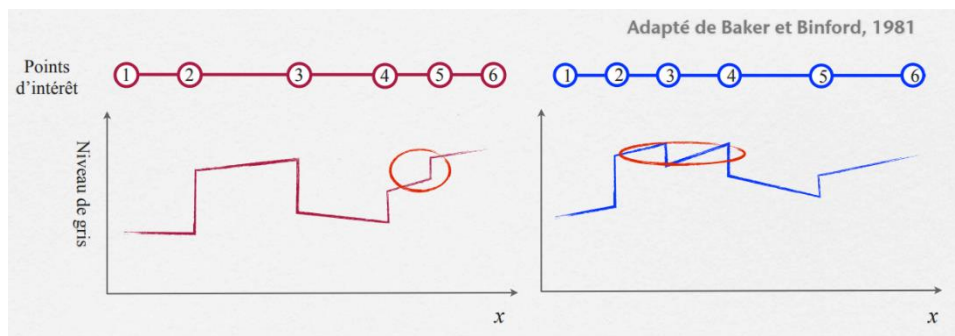


Figure 11 Deux séquences d'éléments à mettre en correspondance

Dans l'image ci-dessus on a relevé 6 points d'intérêts et leur niveau de gris sur deux droites épipolaires conjuguées. On attribue ensuite à chaque paire d'éléments une mesure de similarité, ce qui nous permet de construire la matrice présente dans l'image ci-après. Enfin, l'algorithme de Viterbi permet de déterminer le chemin optimal dans la matrice minimisant le coût total et donc d'appairer chaque point d'intérêt.

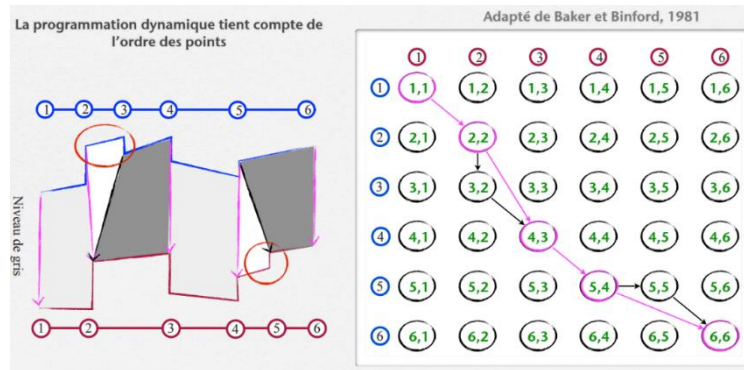


Figure 12 Appariement des points d'intérêts avec le chemin optimal dans la matrice

3. Appariement par relaxation

L'approche par relaxation est une méthode globale se décomposant en plusieurs étapes :

- Tout d'abord, on attribue à chaque pixel (ou primitive) d'une image un ensemble d'étiquettes sur l'image homologue. On choisit donc différents points de l'image homologue comme appariement au point de la première image.
- Ensuite, on calcule une mesure de confiance sur chaque étiquetage.
- Puis, on compare les différentes étiquettes de chaque point avec leurs voisins grâce aux mesures de confiance.
- Enfin, on modifie les étiquettes de manière itérative afin de réduire les incohérences entre points voisins.

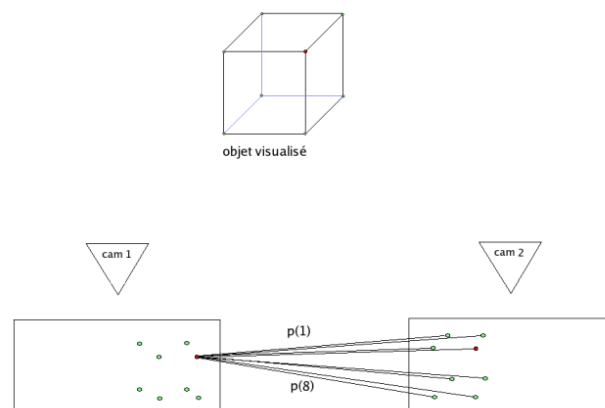


Figure 13 Etiquetage du projeté du point rouge sur l'image 1 avec les points de l'image 2. Les mesures de confiances sont notées $p(1) \dots p(8)$

La prise en compte globale de l'environnement fait que l'approche par relaxation donne généralement de très bons résultats. Toutefois, cette méthode nécessite un grand nombre de calculs notamment pour déterminer les mesures de confiances et les modifier à chaque itération.

4. Discussion sur les méthodes d'appariements : méthodes locales et globales

On peut répartir les méthodes d'appariement selon deux grandes classes : les méthodes locales et les méthodes globales.

La première classe rassemble toutes les méthodes utilisant des informations locales. Par exemple, l'approche par corrélation vue précédemment s'appuie essentiellement sur le voisinage des éléments à apparier ce qui fait d'elle une méthode locale. En effet, elle ne prend pas en compte les caractéristiques globales de l'image. L'inconvénient principal de ces méthodes est leur faible robustesse face aux scènes de fortes disparités et aux régions peu texturées.

D'autre part, la deuxième classe rassemble les méthodes utilisant des informations globales. Ces méthodes permettent de lever les ambiguïtés d'appariement qui se présentent dans le cadre des méthodes locales. En effet, les méthodes globales comme celle de la programmation dynamique ou encore celle de la relaxation sont moins sensibles aux régions ambiguës. Cependant, ces méthodes restent très coûteuses en temps de calcul et l'élaboration d'un modèle global n'est pas toujours évident.

3.1.4. **Carte de disparité**

Définition : La disparité, notée *disp*, est la différence de position entre la projection d'un même point de la scène observé sur les plans image des caméras gauche et droite



Figure 14 : Images droite et gauche



Figure 15 : Carte de disparité

La disparité est inversement proportionnelle à la distance de l'objet, et grâce à la contrainte épipolaire, on peut tirer la relation trigonométrique suivante :

$$z = \frac{f * d}{disp}$$

On peut donc reconstruire une carte finale, associant cette fois à chaque point sa distance par rapport à la caméra (z) et c'est ici l'objectif de la stéréovision qui est atteint : On a extrait d'un couple d'images gauche/droite une image finale unique, avec une composante de profondeur.

3.2. Stéréovision et véhicules autonomes

3.2.1. Historique

1. La technologie de stéréovision :

À la fin des années 1960, la stéréovision a commencé à l'université qui a été à l'origine de l'intelligence artificielle. Il est conçu pour imiter le système visuel humain et est une fondation vers un comportement intelligent.

En 1966, un très célèbre projet d'été du MIT "Summer Vision Project" a connecté l'appareil photo à l'ordinateur et l'a laissé "décrire ce qu'il voit". À cette époque, la vision par ordinateur du domaine prédominant du traitement d'images numériques était la volonté d'extraire une structure tridimensionnelle à partir d'images afin de parvenir à une compréhension complète de la scène.

À la fin des années 1970, David Marr a souligné plusieurs processus qui doivent être exécutés pour prendre une image et obtenir la représentation 3D complète et finale du monde visuel.

Dans les années 1980, David Lowe a réfléchi à la façon de reconstruire ou de reconnaître l'espace visuel composé de structures d'objets simples, construites par des lignes et des bords, dont la plupart sont des combinaisons entre des lignes droites. À la fin des années 1990, il a créé une fonction SIFT pour faire une meilleure reconnaissance des cibles.

Au début du 21^e siècle, nous avons vraiment l'ensemble de données cibles et pouvons effectuer des réalisations de la reconnaissance de la cible. L'un des ensembles de données les plus célèbres s'appelle le PASCAL Visual Challenge.

2. Les voitures autonomes

En 1977, Laboratoire de robotique de Tsukuba au Japon a développé la première voiture autonome basée sur une caméra pour détecter les marquages avant ou les informations de navigation.

En 1983, avec le soutien de la DARPA, l'Université Carnegie Mellon, l'Université Stanford et le Massachusetts Institute of Technology ont successivement lancé un nouveau programme appelé "Auto Land Cruise (ALV)". L'objectif de recherche de ce plan est de donner à la voiture une autonomie complète, de détecter le terrain à l'aide de

caméras et de calculer des solutions telles que la navigation et les itinéraires de conduite via des systèmes informatiques.

En 1994, l'équipe d'Ernst Dickmanns a modifié une berline Mercedes S500 et l'a équipée de caméras et d'autres capteurs pour surveiller l'environnement environnant en temps réel.

En 1995, des chercheurs de l'équipe de l'Université Carnegie Mellon ont modifié une voiture Chevrolet, ajouté un ordinateur portable, une caméra de pare-brise, un récepteur GPS et d'autres équipements au corps et développé avec succès "NavLab 1".

En 2004, l'équipe de la DARPA conduit avec succès des voitures autonomes dans le désert de Mojave.

En 2009, Google, avec le soutien de DARPA, a développé avec succès des technologies telles que les systèmes vidéo, les radars et la navigation laser. Une Toyota Prius modifiée par Google a parcouru 22 000 kilomètres sur la côte Pacifique pendant plus d'un an.

En 2014, Google a sorti une voiture sans conducteur complètement autonome. En 2015, le premier prototype de voiture a été testé sur la route.

En 2016, Rouen met en essai un véhicule autonome pouvant transporter des passagers.

3.2.2. *Etat de l'art*

1. La stéréovision pour les véhicules autonomes

Les informations sur l'état des routes incluent principalement les piétons, les véhicules et les obstacles. Ce sont celles-ci qui affectent la conduite. La détection de ces informations est la base pour que le système de conduite automatique prenne les mesures d'évitement ou de freinage correspondantes.

La précision de la détection affecte directement la sécurité de la conduite. Au cours de la conduite d'un véhicule, diverses conditions routières (piétons, véhicules, obstacles, etc.) apparaissent de manière aléatoire, et il est difficile de les prévoir à l'avance, il est donc impossible de prendre des mesures préventives. Le système de conduite ne peut alors détecter et reconnaître ces informations qu'en temps réel.

L'algorithme de détection des informations sur l'état de la route basé sur la technologie de stéréovision peut répondre aux exigences de détection ci-dessus et elle peut effectuer une détection en temps réel pendant la conduite, et il n'est donc pas nécessaire d'avoir des informations préalables sur l'état de la route.

Ainsi, la stéréovision est devenue le courant dominant pour la recherche et la détection des informations sur l'état des routes. Pour la détection de véhicules, la technologie de stéréovision utilise des caméras embarquées, et détecte des primitives connues, telles que des ombres, la symétrie ou les bords des véhicules afin déterminer rapidement où se situe le véhicule dans l'image, ce qui permet ainsi de le suivre entre plusieurs images.

Ainsi, en suivant les positions des différents obstacles sur plusieurs images, le véhicule peut calculer sa propre position et celle des autres véhicules dans son environnement en temps réel et effectuer une navigation autonome.

À l'heure actuelle, Tesla utilise la technologie de stéréovision, avec des caméras installées sous le parebrise, au niveau du miroir avant. Ces images visuelles sont combinées avec les données d'autres capteurs (1 radar, 12 sonars, et 7 caméras au total) et traité dans la voiture en temps réel, tout cela étant sensé permettre une navigation autonome du véhicule.

2. Méthodes complémentaires

Les panneaux de signalisation sont une partie importante de l'infrastructure routière. Ils fournissent aux conducteurs des informations pertinentes sur les conditions de circulation et peuvent également inciter les conducteurs à ajuster leur comportement de conduite afin de respecter les réglementations routières en vigueur.

Afin d'améliorer la précision de la détection des panneaux de signalisation, les chercheurs ont appliqué une technologie d'apprentissage profond à ce problème sur la base de la technologie traditionnelle de stéréovision pour améliorer la fiabilité de l'algorithme.

Pour construire un tel modèle, une grande quantité de données (images) doit être collectée, ces données sont utilisées comme pour l'entraînement du modèle, afin qu'il puisse reconnaître de manière autonome les panneaux de signalisation. Tesla utilise les données routières collectées par ses voitures sur la route pour améliorer en permanence les performances de son algorithme de reconnaissance de visuel, améliorant ainsi l'expérience de conduite de l'utilisateur.

La stéréovision peut aussi être utilisée en complément de méthodes de détection dites actives, comme le LIDAR, afin d'affiner les résultats de celui-ci.

3.3. **Limites, perspectives**

3.3.1. **Véhicules autonomes**

Le développement du véhicule autonome possède des avantages considérables mais également des inconvénients.

Dans un premier temps, celui-ci permettrait une réduction des embouteillages et donc une réduction de la pollution. Il y aurait également beaucoup moins d'accidents, en effet une grande majorité des accidents sont causés par le conducteur lui-même (faute d'inattention ou de manipulation du véhicule).

De plus d'autres avantages peuvent être retenus comme la possibilité de se déplacer en voiture sans avoir le permis, sans être en état de conduire (fatigue, alcool...). Une diminution du temps des trajets pourrait également être envisageable puisque la coordination entre les véhicules autonomes permettrait une augmentation des limites de vitesse.

Cependant les véhicules autonomes présentent plusieurs inconvénients.

Le premier concerne le prix d'un tel véhicule, estimé entre 270 000 et 360 000 euros à l'heure actuelle.

Ensuite, un tel dispositif risque d'être exposé au piratage informatique ciblé sur le contrôle de la voiture, ce qui pourrait causer d'importants dégâts. De même concernant la protection des données individuelles, les fabricants peuvent avoir accès à la localisation de chaque utilisateur et à tous les trajets qu'ils ont effectués. Cela entraîne une réticence de la population face à l'utilisation de ces voitures.

Certaines personnes sont également anxieuses face au fait de "confier leur vie" à une nouvelle technologie. Plusieurs interrogations apparaissent notamment en ce qui concerne les accidents de la route. En effet, en fonction de la situation, la voiture est programmée pour sauver un maximum de personnes et peut donc être amenée à sacrifier ses passagers. Les usagers pourraient donc ne pas se sentir en sécurité.

Enfin, des questions peuvent se poser sur la responsabilité juridique lors d'un accident (constructeur automobile, compagnie informatique qui a développé le logiciel...).

3.3.2. Avantages de la stéréovision

La stéréovision permet de remplacer efficacement un conducteur. En effet grâce à cette technologie, chaque élément qui entoure la voiture sera détecté puis analysé. Le comportement de la voiture est donc modifié en conséquence. Contrairement au conducteur, qui lui ne s'adapte pas toujours aux panneaux et autres indications.

Un point non négligeable de la stéréovision est qu'elle permet une prise de vue en continue de l'environnement, le véhicule peut donc recevoir les informations en temps réel des différentes situations. Ce dispositif permet également d'obtenir des informations précises sur la profondeur.

De plus, les caméras qui permettent de réaliser la stéréovision ne sont pas grandes et peuvent donc facilement s'intégrer dans une voiture.

La stéréovision est une technologie dite passive, elle n'a pas d'impact sur l'environnement puisqu'elle n'utilise pas de rayonnement (elle se base sur le contenu d'images). Elle est donc intéressante de ce point de vue contrairement à d'autres systèmes comme le radar qui lui utilise des ondes pouvant être nocives pour le corps humain.

Quant à la résolution de l'image, lors de bonnes conditions météorologiques, celle-ci est satisfaisante. On estime qu'un objet peut être localisé avec une précision de 10% à 90 mètres.

Enfin en ce qui concerne le coût d'un tel matériel, les caméras en elles-mêmes ne sont pas chères, mais le système de traitement des images peut quant à lui représenter un certain coût.

3.3.3. Limites de la stéréovision

Bien que la stéréovision soit un outil très intéressant pour la mise en place des voitures autonomes, certains inconvénients peuvent être problématiques.

Dans un premier temps, pour que ce système fonctionne efficacement sur les voitures autonomes, les capteurs doivent être opérationnels dans toutes les conditions météorologiques (nuit, pluie, neige...). Or dans le cas de la stéréovision, le manque de contraste peut entraîner la non détection d'un obstacle.

De plus une erreur de localisation tridimensionnelle peut également transmettre de fausses informations. Par exemple, dans le cas de la détection d'un obstacle non présent ou

dans celui de la surestimation de la distance entre la voiture et l'obstacle, les conséquences peuvent être graves et créer un accident.

Ensuite, pour permettre l'efficacité du système, les images reconstituées transmises à l'ordinateur de bord doivent être traitées rapidement par celui-ci. La stéréovision permet d'obtenir des informations précises sur l'environnement de la voiture sur moins de 50 mètres, il faut donc une analyse rapide des images.

Enfin la calibration des caméras n'est pas toujours optimale, en effet il y a plusieurs paramètres à prendre en compte : il faut déterminer le plus précisément possible les paramètres intrinsèques des deux caméras, et la position ainsi que l'orientation relative des deux caméras.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, la stéréovision est un dispositif intéressant à utiliser dans le cadre de la voiture autonome. Nous avons vu que cette méthode, ayant vu le jour à la fin des années 60 peut être décomposée en trois étapes : extraction des primitives, appariement stéréoscopique et obtention de la carte de disparité. C'est un système assez complexe à mettre en place mais qui permet une certaine précision sur la perception de l'environnement. Elle comporte, comme toute technologie, des avantages et des inconvénients qu'il nous faut prendre en compte.

La stéréovision est non suffisante à elle-seule pour le bon fonctionnement de ces véhicules. Il faudrait comparer cette technique à d'autres systèmes de perception, comme par exemple le lidar ou le radar, afin de trouver des méthodes complémentaires à la stéréovision. L'idéal étant de combiner plusieurs systèmes de perception afin de limiter au maximum les erreurs de reconstitution de l'environnement et donc d'assurer au mieux la sécurité des utilisateurs.

5. RAPPORT D'ETONNEMENT

Antoine Camusat

J'ai beaucoup apprécié travailler sur ce projet, la stéréovision est un bel exemple de mise en application concrète de connaissances poussées en math et en physique.

Observer et apprendre les méthodes mises en œuvre dans ce but est, je trouve, très important dans la formation d'ingénieur.

Anas Katim

Ce projet m'a permis d'avoir une première approche avec le domaine des véhicules autonomes. J'ai appris énormément de choses et j'ai maintenant une vision différente sur le domaine qui m'était jusque-là inconnu. De plus, ce projet a été l'occasion d'apprendre à lire des documents scientifiques complexes en particulier des thèses. Enfin, le travail de groupe réalisé lors de ce projet me sera forcément bénéfique à l'avenir.

Marion Mesnil

J'ai trouvé intéressant de travailler sur un sujet d'actualité et d'en apprendre davantage sur le fonctionnement et les enjeux du véhicule autonome. J'ai également pu découvrir la stéréovision, qui est une technologie que je ne connaissais que très peu. Enfin, avoir l'occasion de mener un projet en groupe est toujours très instructif et essentiel pour notre futur métier.

Ruidong Pan

Ce rapport fut bénéfique pour me permettre d'apprendre le principe de la technologie de vision stéréo sur véhicule autonome. Et j'ai découvert l'histoire du développement de la technologie de vision stéréo, ainsi que les dernières technologies et leurs applications. La technologie de vision stéréo présente de nombreux avantages, mais il y a aussi les limites. Bien que l'on ne puisse pas les résoudre maintenant, je pense qu'elles pourront être résolues à l'avenir. Ce projet n'a pas été très simple à réaliser. Cependant, j'ai pris beaucoup de plaisir à le mener et ma forte implication m'a permis de surmonter les difficultés.

Yuxuan Song

Dans ce projet, j'ai appris les connaissances de base sur la stéréovision de véhicule autonome, aussi son histoire et son application dans la vie. Grâce aux informations trouvées sur Internet, j'ai pu connaître l'état actuel de son développement et le brillant avenir. En plus, la coopération de groupe est ce qui rend ce cours plus intéressant et attrayant. Les membres de mon équipe m'ont beaucoup aidé, m'ont expliqué le principe de fonctionnement et m'ont expliqué comment mieux remplir le rapport.

6. REFERENCES

- [1] N. FAKHFAKH : Détection et localisation tridimensionnelle par stéréovision d'objets en mouvement dans des environnements complexes : application aux passages à niveau, *These - Ecole Centrale de Lille*, 2011.
- [2] P. CHARBONNIER, V. MUZET, P. NICOLLE, N. HAUTIERE, J-P. TAREL, D. AUBERT : La stéréovision appliquée à l'analyse de scènes routières, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 2008.
- [3] N. RAGOT. Conception d'un capteur de stéréovision omnidirectionnelle : architecture, étalonnage et applications à la reconstruction de scènes 3D. *These - Université de Rouen*, 2009.
- [4] M. PERROLLAZ. Détection d'obstacles multi-capteurs supervisée par stéréovision. Vision par ordinateur et reconnaissance de formes. *These - Université Pierre et Marie Curie - Paris VI*, 2008.
- [5] <https://idpoisson.fr/louchet/teaching/timo/lucas.pdf> (Valide à la date du 04/04/2020)
- [6] https://members.loria.fr/moberger/Enseignement/Image/stereovision_2014.pdf (Valide à la date du 04/04/2020)
- [7] <https://www.devpy.me/what-is-stereo-matching/> (Valide à la date du 04/04/2020)
- [8] <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/vehicules-autonomes> (Valide à la date du 04/04/2020)
- [9] <http://maths.cnam.fr/Stagiaires/CS/ArnaudLitrico/IMG/pdf/appariement.pdf> (Valide à la date du 26/04/2020)
- [10] <http://info.usherbrooke.ca/ogodin/enseignement/imn459/chapitres/imn459-chap06.pdf> (Valide à la date du 26/04/2020)

7. ANNEXE : ORGANIGRAMME STEREOVISION

