



UNIVERSITÉ LAVAL

Département d'informatique et de génie logiciel

PROPOSITION DE SUJET DE RECHERCHE

---

**Apprentissage de la traversabilité de terrains par un  
robot mobile dans un environnement extérieur  
déformable**

---

*par*

Sébastien MICHAUD

907 192 552

*Directeur :*

Philippe GIGUÈRE

*Codirecteur :*

Jean-François LALONDE

23 Juillet 2014

# 1 Introduction

Un robot est un appareil autonome capable de percevoir et d'interagir avec son environnement. Il est muni de capteurs et d'actionneurs, dont le contrôle est assuré par un ordinateur. L'interaction entre les composantes du robot fait de la robotique un domaine interdisciplinaire réunissant l'ingénierie mécanique, électrique et informatique.

La robotique est un sujet vaste et les robots sont présents dans différents domaines d'application. Parmi la gamme existante, notons les robots industriels, chirurgicaux, militaires et domestiques. La hiérarchisation des domaines de la robotique permet aux chercheurs de concentrer leurs efforts sur la résolution de problèmes plus précis.

La robotique mobile est une spécialisation de la robotique se caractérisant par l'utilisation de robots ayant la capacité de se déplacer dans leur environnement. Cette aptitude du robot à se déplacer augmente considérablement la complexité des problèmes associés à l'atteinte de ses objectifs. Premièrement, le robot ne possède pas de repère fixe lui permettant de déterminer sa position et deuxièmement, il doit généralement se déplacer afin d'effectuer toutes les observations nécessaires à la modélisation de son environnement.

Dans le cadre de mon projet de maîtrise, je m'intéresse à la robotique mobile évoluant à l'extérieur, que l'on nomme robotique de terrain. La navigation d'un robot dans ces environnements est complexe, car les terrains sont souvent inconnus, difficiles à modéliser, et les conditions sont changeantes. D'ailleurs, le sujet est suffisamment important pour qu'un journal y soit consacré : le journal de robotique de terrain (*Journal of Field Robotics*).

## 2 Problématique

Dans la section suivante, je vais définir quelques concepts associés à ma problématique. Par la suite, je vais indiquer l'importance de résoudre ce problème et vais finalement discuter de l'état de l'art.

## 3 Définitions et concepts

Tout d'abord, il est important de définir quelques concepts importants de la problématique. Le terme *navigation* sera utilisé pour décrire les actions du robot lui permettant de déterminer sa position ainsi qu'un chemin menant d'un point de départ à un point d'arrivée. La navigation est dite autonome, car aucune intervention d'un

agent externe au robot ne devra être nécessaire pour effectuer cette tâche. Dans le cadre de mes recherches, les déplacements seront adaptés pour une plateforme mobile terrestre, c'est-à-dire qu'ils seront effectués uniquement sur des surfaces solides d'un environnement extérieur. Finalement, la notion de déformabilité de l'environnement est un élément majeur de ma proposition de recherche. Les éléments déformables qui seront considérés sont : les obstacles et les surfaces navigables. Les branches et les herbes sont des exemples d'obstacles déformables, alors que la neige et la boue sont des exemples de surfaces déformables. Cette notion est importante, car les actions effectuées par le robot ont la capacité de modifier l'environnement, mais inversement les déformations de l'environnement influencent la capacité de navigation du robot dans l'espace.

### 3.1 Importance du problème

Pour un robot, la capacité de se déplacer dans un environnement extérieur est nécessaire à une multitude d'applications : exploration planétaire, intervention contre les engins explosifs, transport de marchandises, recherche et sauvetage, etc. Selon Wellington et al. [8], la navigation dans des terrains extérieurs est une tâche difficile pour plusieurs raisons :

- l'environnement est souvent inconnu ou changeant ;
- les interactions entre le véhicule et son milieu sont souvent complexes ;
- les capteurs sont bruités et leurs portées sont limitées ;
- la capacité des actionneurs est limitée.

Afin de résoudre des problèmes d'une telle complexité, il est souvent nécessaire de restreindre les contraintes réelles à un sous-ensemble des contraintes pour lesquelles on veut trouver une solution. Dans cette optique, deux techniques sont généralement employées : effectuer les expérimentations dans un environnement contrôlé ou poser l'hypothèse que la contrainte sera respectée. Un exemple d'hypothèse classique en robotique mobile est de considérer que l'environnement est en deux dimensions et d'abstraire le sol à un plan, comme c'est le cas dans l'algorithme de cartographie et localisation simultanée de Grisetti et al. [18]. Selon Frank et al. [17], une autre hypothèse souvent utilisée pour la navigation en robotique est de considérer l'environnement comme statique et rigide.

Dans un contexte réel, ces hypothèses ne sont pas toujours respectées, ce qui peut causer des problèmes. Par exemple, la déformation du terrain ou d'un obstacle sous l'action du robot pourrait mener à son immobilisation ou à sa chute et pourrait causer divers bris de l'équipement. Tel que spécifié par Sinha et al. [25], la navigation sécuritaire des véhicules robotisés est un élément-clé à la réussite des opérations dans

des environnements complexes et non contrôlés. D'autre part, la déformation d'obstacles par le robot pourrait lui permettre de se déplacer sur des chemins autrement considérés comme inaccessibles dans un environnement rigide. En considérant les déformations potentielles des obstacles, il serait possible de trouver un chemin menant le véhicule au point d'arrivée désiré.

Somme toute, il semble important de considérer la contrainte de déformation de l'environnement. Cela pourrait permettre d'améliorer la sécurité du robot et d'optimiser ses déplacements. Par conséquent, les solutions de navigation en environnement extérieur pour les robots autonomes seraient plus robustes. C'est pourquoi, au cours de mes études à la maîtrise, *je tenterai de trouver des solutions au problème de navigation autonome des robots dans un environnement extérieur déformable.*

## 3.2 État de l'art

La navigation et la planification de trajet en robotique mobile sont des sujets largement abordés dans la littérature. Plusieurs articles présentent des solutions permettant de caractériser le sol afin d'optimiser le chemin à suivre [1] ou d'ajuster l'odométrie [24]. Certains articles proposent des solutions pour éviter les obstacles de l'environnement du robot [20] [5] [25]. Il y a aussi des documents abordant les problèmes causés par la végétation [19] [13] et la neige [9] [7]. En revanche, peu d'articles s'attaquent directement au problème de la déformation de l'environnement [17] [2] [3] et ils se restreignent plutôt à des environnements structurés. Afin d'obtenir davantage d'information sur l'état de l'art, vous pouvez consulter la bibliographie annotée 7 de ce document.

## 4 Objectifs

Lors de mes recherches, je vise à améliorer l'adaptabilité et la robustesse de la navigation des robots terrestres dans un environnement extérieur déformable. Mon travail sera concentré sur la déformation des surfaces enneigée et des obstacles végétaux. À cet effet, je compte atteindre les objectifs suivants :

1. déterminer une source de données permettant le développement et la validation des algorithmes, en plus d'être représentatives des conditions établies dans la problématique ;
2. développer une méthode permettant de mesurer l'effort nécessaire au robot pour naviger dans une zone déformable de l'environnement ;

3. déterminer s'il est possible de prédire cette mesure d'effort sans interaction physique directe entre le robot et l'environnement ;
4. modéliser l'effort de navigation précédemment prédit dans l'environnement local du robot ;
5. évaluer le taux d'erreur des valeurs prédites par rapport aux valeurs mesurées lors des expérimentations sur le terrain.

## 5 Méthodologie

Premièrement, les données nécessaires à mes expérimentations étant très spécifiques, il serait impossible d'utiliser des ensembles de données actuellement disponibles au public. De plus, aucun simulateur existant ne pourrait représenter la complexité des environnements du robot. Les données utilisées seront donc récoltées sur les surfaces enneigées et les zones de végétation du campus de l'Université Laval. L'acquisition sera possible grâce à la plateforme robotique Husky A200 [22] et les capteurs dont il est équipé. La table 1 contient l'ensemble des capteurs de la plateforme robotique et le type des données associées. De plus, l'ensemble de bibliothèques logicielles et d'outils *Robot Operating System* (ROS) [15] sera utilisé pour le développement algorithmique et la communication avec les composantes matérielles.

TABLE 1 – Ensembles des capteurs du Husky A200 et du type de données associées.

Capteur	Type de données	Précision et/ou résolution
Caméra	Photo	800x600 pixels
Capteur laser	Nuage de point tridimensionnel	$\pm 0,04$ mètre 0,25 degré
Centrale à inertie	Accélérations et vitesses angulaires	Inconnue Inconnue
Courant des moteurs	Mesure du couple moteur	Inconnue
Encodeur des roues	Position angulaire des roues	200000 impulsions par mètre
Système de positionnement mondial (GPS)	Coordonnées géographiques	0,18 mètre

La mesure de l'effort nécessaire à la navigation du robot dans l'environnement déformable sera établie suite à l'analyse des données récoltées. L'utilisation conjointe

des capteurs proprioceptifs et extéroceptifs permettront d'évaluer cette mesure.

La prédiction de cette dernière sans interaction physique entre le robot et l'environnement sera effectuée grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique. Les données utilisées seront obtenues des capteurs distants, tel que la caméra et le capteur laser. La supervision de l'apprentissage sera effectuée directement par le robot. Cette étape sera possible grâce au traitement des données obtenues ultérieurement, lors de l'interaction physique entre le robot et la zone à évaluer. Pour cette étape, les capteurs proprioceptifs et extéroceptifs pourront être utilisés.

En ce qui concerne la modélisation de l'effort de navigation dans l'environnement déformable local du robot, une carte de coût sera utilisée. L'environnement en trois dimensions sera projeté sur le plan approximant le sol et sera discrétisé en cases de taille prédéfinie. Une valeur de coût sera ensuite attribué à chaque case.

Finalement, l'évaluation des performances de la méthode sera effectuée en comparant les valeurs d'effort prédites aux valeurs mesurées lors des expérimentations.

## 6 Échéancier

La session d'automne 2013 constituait la première session de mes études à la maîtrise. Cette première session m'a permis d'apprendre les principaux concepts de la robotique probabiliste et de me familiariser avec la plateforme robotique Husky A200. La session actuelle me permet d'apprendre les fondements de l'apprentissage automatique et de découvrir le fonctionnement de l'ensemble de bibliothèques logicielles et d'outils ROS. L'acquisition et le traitement des données débiteront à la fin de la session en cours et se poursuivront jusqu'au début de la rédaction de mon mémoire. Je terminerai mes travaux de recherche à la fin de la session d'été 2015, il sera donc nécessaire de débiter la rédaction de mon mémoire à la fin de la session d'hiver 2015.

## 7 Bibliographie

Les documents présentés dans la bibliographie sont classés en trois sections selon la pertinence qu'ils ont avec mon sujet de recherche : très pertinents, pertinents et autres. La bibliographie contient les documents pour lesquels il y a une référence dans le présent document, ainsi que tous les autres documents consultés jusqu'à présent lors de mes recherches.

## Très pertinents

- [1] C. A. Brooks and K. Iagnemma, “Selfsupervised terrain classification for planetary surface exploration rovers,” *Journal of Field Robotics*, vol. 29, no. 3, pp. 445–468, 2012. [Online]. Available : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.21408/full>

Cet article présente une technique d’apprentissage auto-supervisé permettant de prédire les propriétés mécaniques d’un terrain distant en utilisant les capteurs extéroceptifs. Les auteurs proposent une approche de classement de l’interaction robot-sol en utilisant les données des capteurs proprioceptifs et utilisent les étiquettes de classes résultantes pour entraîner le classificateur utilisant les caractéristiques des données des capteurs extéroceptifs. Cette approche pourrait être adaptée, lors de mes recherches, afin de déterminer si une zone de végétation distante est traversable par le robot.

- [2] B. Frank, C. Stachniss, R. Schmedding, M. Teschner, and W. Burgard, “Real-world robot navigation amongst deformable obstacles,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Kobe : IEEE, May 2009, pp. 1649–1654. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5152275>

Les auteurs proposent un modèle statistique décrivant l’influence des objets déformables sur les données mesurées par le robot. Ces informations permettent ensuite d’évaluer un chemin de coût minimal entre le point de départ et le point d’arrivée dans un environnement déformable. Il pourrait être intéressant de valider s’il est possible de transposer la technique à des environnements pour lequel le sol est déformable comme c’est le cas lorsque la surface est enneigée.

- [3] K. Ho, T. Peynot, and S. Sukkarieh, “A near-to-far non-parametric learning approach for estimating traversability in deformable terrain,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. Tokyo : IEEE, Nov. 2013, pp. 2827–2833. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6696756>

L’article présente une approche permettant d’évaluer si un robot peut traverser une zone tout en conservant une configuration stable. L’évaluation est d’abord effectuée en considérant le terrain comme statique, puis l’algorithme considère une estimation de la déformation du terrain suivant les expériences antérieures du robot. Il serait possible de

tester l'efficacité de la technique pour des surfaces enneigées et d'évaluer s'il est possible d'anticiper des situations d'immobilisation du robot en considérant, la mesure de friction avec le sol.

- [4] A. Krebs, C. Pradalier, and R. Siegwart, "Adaptive Rover Behavior Based on On-line Empirical Evaluation : Rover – Terrain Interaction and Near-to-Far Learning," *Journal of Field Robotics*, vol. 27, no. 2, pp. 158–180, 2010.

L'article présente une approche permettant de développer un modèle des interactions entre le robot et le sol. Des images du terrain à traverser sont acquises et discrétisées en cases qui sont ensuite classées. Les étiquettes de classes représentent l'effet du terrain sur le comportement du robot, qui est déterminé grâce aux données des capteurs proprioceptifs. Les auteurs utilisent une caméra pour l'évaluation distante du terrain, mais il serait intéressant d'évaluer s'il est possible d'obtenir des données plus significatives à partir d'un capteur laser. Si les ressources de traitement le permettent, il serait aussi possible de fusionner l'information des capteurs pour la caractérisation du sol.

- [5] J.-F. Lalonde, N. Vandapel, D. F. Huber, and M. Hebert, "Natural terrain classification using three-dimensional ladar data for ground robot mobility," *Journal of Field Robotics*, vol. 23, no. 10, pp. 839–861, 2006. [Online]. Available : <http://doi.wiley.com/10.1002/rob.20134>

Les auteurs de l'article utilisent les données d'un capteur laser afin de segmenter un environnement naturel en trois classes : les surfaces, les structures linéaires et les volumes poreux. Ces informations permettent ensuite de produire un modèle de l'environnement en trois dimensions. L'article de 24 pages explique dans le détail les étapes de la méthode. Une modélisation similaire pourrait être envisageable pour évaluer la traversabilité d'une zone de végétation.

- [6] J. Libby and A. J. Stentz, "Using sound to classify vehicle-terrain interactions in outdoor environments," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Saint Paul : IEEE, May 2012, pp. 3559–3566. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6225357>

L'article présente une classification des terrains basé uniquement les caractéristiques des données sonores acquises grâce à des microphones. Les auteurs affirment qu'il s'agit, en leurs connaissances, de la première



utilisation d'information acoustique dans la classification de terrain pour un robot. Il serait particulièrement intéressant d'adapter cette technique pour la classification de la neige, qui émet des sons caractéristiques selon son état.

- [7] E. Trautmann and L. Ray, "Mobility characterization for autonomous mobile robots using machine learning," *Autonomous Robots*, vol. 30, no. 4, pp. 369–383, Mar. 2011. [Online]. Available : <http://link.springer.com/10.1007/s10514-011-9224-5>

Cet article utilise l'apprentissage automatique pour identifier l'interaction entre le robot et le sol. La technique est adaptée pour la navigation dans la neige et permet de prévoir les situations d'immobilisation du robot grâce aux données des capteurs proprioceptifs. Dans le cadre de mes recherches, il pourrait être intéressant de déterminer si l'utilisation de capteurs laser à l'avant et l'arrière des roues permettrait de déterminer la compaction de la neige et d'ainsi améliorer l'identification de situations qui précèdent l'immobilisation du robot.

- [8] C. Wellington and A. Stentz, "Online Adaptive Rough-Terrain Navigation in Vegetation," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, no. April. New Orleans : IEEE, 2004, pp. 96–101.

La technique présentée dans cet article permet de modéliser le terrain et la végétation devant le robot. Cette modélisation permet ensuite de répondre à deux objectifs : détecter les obstacles et éviter d'atteindre une inclinaison critique. Un modèle en trois dimensions de la surface à traverser est créé à partir des capteurs extéroceptifs et est ensuite validé par le passage du robot sur la surface. Cette méthode pourrait être adaptée pour déterminer la traversabilité d'une zone de végétation déformable.

## Pertinents

- [9] P. Boyraz and D. Dogan, "Intelligent traction control in electric vehicles using an acoustic approach for online estimation of road-tire friction," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, no. Iv. Gold Coast : IEEE, June 2013, pp. 1336–1343. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6629652>

Les auteurs de l'article proposent une méthode d'estimation de l'adhérence entre les roues et le sol. Les données utilisées sont des caractéristiques extraites de microphones et un réseau de neurones artificiels est utilisé pour effectuer l'apprentissage automatique. Des expériences ont été effectuées dans la neige, ce qui s'avère intéressant pour mes recherches.

- [10] F. Colas, S. Mahesh, F. Pomerleau, M. Liu, and R. Siegwart, "3D path planning and execution for search and rescue ground robots," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. Tokyo : IEEE, Nov. 2013, pp. 722–727. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6696431>

Les auteurs de l'article présentent une méthode de planification de chemin en trois dimensions à partir de données de capteurs bruitées. Une contribution importante de l'article est la capacité de navigation dans un environnement multiniveaux pour lequel le robot doit respecter les configurations possibles. Il est possible de transposer ce problème à certains environnements extérieurs complexes, qu'il sera peut-être nécessaire d'explorer durant mes recherches.

- [11] E. Coyle and E. G. Collins, "A Comparison of Classifier Performance for Vibration-Based Terrain Classification," in *Army Science Conference*, Tallahassee, 2008, pp. 1–4.

Cet article présente une analyse comparative des différentes stratégies de classification de terrains en utilisant les données d'une centrale à inertie. Les informations fournies dans l'article sont pertinentes, car elles permettent de déterminer la stratégie la mieux adaptée à chaque situation.

- [12] K. Iagnemma and C. C. Ward, "Classification-Based Wheel Slip Detection and Detector Fusion for Outdoor Mobile Robots," *Autonomous Robots*, vol. 26, no. 1, pp. 33—46, Oct. 2009. [Online]. Available : <http://link.springer.com/10.1007/s10514-008-9105-8>

Cet article présente une approche utilisant la centrale à inertie et optionnellement la mesure de vitesse des roues pour détecter l'immobilisation d'un robot dans un environnement extérieur. Les auteurs expliquent aussi comment fusionner les sorties de plusieurs capteurs pour minimiser les erreurs de détection d'immobilisation. Cette approche

pourrait être utilisée comme étape partielle de mon approche de navigation dans la neige ou en forêt.

- [13] S. Laible, Y. N. Khan, and A. Zell, “Terrain classification with conditional random fields on fused 3D LIDAR and camera data,” in *European Conference on Mobile Robots (ECMR)*. Barcelona : IEEE, Sept. 2013, pp. 172–177. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6698838>

La méthode présentée dans cet article utilise la fusion des données provenant d’une caméra et d’un capteur laser afin de classer le terrain à l’avant du robot. Le terrain observé est discrétisé en cases qui sont ensuite classées en utilisant la technique de champ aléatoire de Markov. Bien qu’uniquement quatre classes soient définies, l’utilisation judicieuse de la fusion des données et de l’apprentissage automatique pourrait être transposée à l’identification de la traversabilité d’une zone de végétation.

- [14] C. Rasmussen, Y. Lu, and M. Kocamaz, “A trail-following robot which uses appearance and structural cues,” in *International Conference on Field and Service Robotics (FSR)*, ser. Springer Tracts in Advanced Robotics, K. Yoshida and S. Tadokoro, Eds., vol. 92. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 265–279. [Online]. Available : <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-40686-7>

L’article présente une méthode permettant à un robot de suivre une piste extérieure aménagé pour les randonneurs ou les cyclistes. Les auteurs utilisent un capteur laser et une caméra afin d’obtenir les caractéristiques de la structure et de l’apparence de l’environnement. Ces informations sont ensuite utilisées par un algorithme d’apprentissage automatique afin de déterminer la trajectoire que le robot doit suivre. La technique présentée dans l’article pourrait être utilisée pour la navigation en forêt durant mes recherches.

## Autres

- [15] C. C. A. 3.0. (2014, February) About ros. [Online]. Available : <http://www.ros.org/>

- [16] G. Dudek and M. Jenkin, *Computational principles of mobile robotics*. Cambridge university press, 2010.
- [17] B. Frank, C. Stachniss, N. Abdo, and W. Burgard, “Efficient motion planning for manipulation robots in environments with deformable objects,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. San Francisco : Ieee, Sept. 2011, pp. 2180–2185. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6094946>  
 L'article présente une méthode de planification de trajectoire en présence d'objets déformables. Une simulation physique est utilisée, mais étant donné que le traitement nécessite une grande quantité de ressources, une régression gaussienne permet d'estimer les déformations d'objets.
- [18] G. Grisetti, C. Stachniss, and W. Burgard, “Improved Techniques for Grid Mapping With Rao-Blackwellized Particle Filters,” *Transactions on Robotics (TRO)*, vol. 23, no. 1, pp. 34–46, 2007.
- [19] M. Haselich, S. Eggert, and D. Paulus, “Parallelized energy minimization for real-time Markov random field terrain classification in natural environments,” in *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*. Guangzhou : IEEE, Dec. 2012, pp. 1823–1828. [Online]. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6491233>  
 Cet article est basé sur un article antérieur d'identification du sol utilisant la technique de champ aléatoire de Markov. Les auteurs proposent des améliorations grâce à la parallélisation du traitement sur plusieurs processeurs et en utilisant les ressources d'une carte graphique.
- [20] H. K. Heidarrsson and G. S. Sukhatme, “Obstacle detection and avoidance for an Autonomous Surface Vehicle using a profiling sonar,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Robotic Embedded Systems Lab and the Department of Electrical Engineering, University of Southern California, Los Angeles, 90089, USA. Shanghai : IEEE, 2011, pp. 731–736.  
 L'article présente une méthode de détection et d'évitement des obstacles basée uniquement sur l'utilisation d'un SONAR. L'utilisation de ce capteur est généralement utilisé pour les véhicules sous-marins, mais cet article démontre une utilisation valide pour un véhicule de surface.

- [21] K. Ho, T. Peynot, and S. Sukkarieh, “Analysis of Terrain Geometry Representations For Traversability of a Mars Rover,” in *Australian Space Science Conference (ASSC)*, vol. 23, no. 11-12, Canberra, 2011, pp. 359–372.

Ce document présente une analyse comparative des approches de représentation géométrique pour les surfaces martiennes. Ces représentations permettent de déterminer si une certaine surface est traversable. Les avantages et inconvénients de plusieurs techniques sont présentés, ce qui peut être utile lors de mes recherches.

- [22] C. R. Inc. (2014, February) Husky. [Online]. Available : <http://www.clearpathrobotics.com/husky/>

- [23] T. Peynot, S. Scheding, and S. Terho, “The Marulan Data Sets :Multi-Sensor Perception in Natural Environment With Challenging Conditions,” *The International Journal of Robotics Research (IJRR)*, vol. 29, no. 13, pp. 1602–1607, Nov. 2010. [Online]. Available : <http://ijr.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0278364910384638>

Cet article présente un ensemble de données provenant de plusieurs capteurs précisément calibrés. L’acquisition des données a été effectuée dans différents environnements et dans différentes conditions. Il s’agit de données potentiellement utiles pour tester certains algorithmes développés durant mes recherches.

- [24] M. Reinstein, V. Kubelka, and K. Zimmermann, “Terrain Adaptive Odometry for Mobile Skid - steer Robots,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Karlsruhe : IEEE, 2013, pp. 4706–4711.

Les auteurs de l’article proposent une méthode de correction des erreurs d’odométrie basée sur la classification des terrains. Les étiquettes de classes sont déterminées directement grâce aux coefficients de correction d’odométrie. Lors de mes recherches, il serait intéressant d’effectuer des expérimentations dans la neige, car l’adhérence des surfaces enneigée varie significativement dépendamment des conditions météorologiques.

- [25] A. Sinha and P. Papadakis, “Mind the gap : detection and traversability analysis of terrain gaps using LIDAR for safe robot navigation,” *Robotica*, vol. 31, no. May, pp. 1–17, May 2013. [Online]. Available : [http://www.journals.cambridge.org/abstract\\_S0263574713000349](http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0263574713000349)

Cet article présente une méthode de détection d'obstacles négatifs, autrement dit, des cavités du sol qui ne peuvent pas être traversées par le robot. Les résultats sont obtenus grâce à l'utilisation de l'analyse en composantes principales appliquée sur un nuage de points.

- [26] B. Sofman, E. Lin, J. A. Bagnell, J. Cole, N. Vandapel, and A. Stentz, "Improving Robot Navigation through Self-Supervised Online Learning," *Journal of Field Robotics*, vol. 23, no. 11-12, pp. 1059–1075, 2006.

Ce document présente une méthode permettant la planification de chemin de coût minimal en utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique. L'utilisation des algorithmes est auto-supervisée et s'adapte aux conditions changeantes du robot. Un élément intéressant de l'article est l'utilisation de cartes aériennes pour la planification de trajet pour de longues distances.

- [27] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, *Probabilistic robotics*. MIT press, 2005.
- [28] D. Zhuo-hua, C. Zi-xing, and Y. Jin-xia, "Fault Diagnosis and Fault Tolerant Control for Wheeled Mobile Robots under Unknown Environments : A Survey," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, no. April. Barcelona : IEEE, 2005, pp. 3428—3433.

Cet article présente une enquête des travaux antérieurs concernant la détection et le diagnostic des fautes pour les robots à roues en environnements inconnus. Les différentes approches sont catégorisées et quelques références sont fournies pour chaque catégorie. Les travaux que je vais effectuer durant ma recherche pourraient utiliser différentes techniques de détections des fautes et permettre la gestion des problèmes sous-jacents.