

氏名	Mohd Razali bin Md Tomari
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工甲第 903 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 22 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Towards Safe and Socially Acceptable Smart Wheelchair Navigation Systems (安全で社会に受け入れられるスマート車椅子のナビゲーションシステム)
論文審査委員	委員長 教授 久野 義徳 委員 教授 前川 仁 委員 教授 池口 徹 委員 准教授 小室 孝

## 論文の内容の要旨

A significant number of individuals with severe motor impairments are unable to control standard power electrical wheelchairs using a conventional joystick. Even when they can facilitate the control input, yet navigation in confined space or crowded environments is still a great challenge. To overcome such problems, smart/robotic wheelchairs have been proposed to reduce the user's workload during maneuvering. They consist of a standard electric wheelchair, an on-board computer for motor control, and a collection of sensors for monitoring the environment and predicting user intentions.

Most research on smart wheelchairs only considers how collision free motion can be generated, but does not pay attention to whether the generated motions will be comfortable to the people around. The framework proposed in this thesis considers not only improving the safety aspect but also the socially acceptable issue. With such integration, it can ensure that the assistive wheelchair motion meant to help the user during maneuvering does not become a source of inconvenience to the people in the locality. Apart from that, this thesis also proposes a framework to enable the user to issue the control command via hands free interface (HFI).

The constructed system initially acquires the user's intent through the HFI and environmental information including the obstacles and the people's state using combination of laser range finder and Kinect sensor. Following that, the people's attributes are translated into human's comfort zone (CZ) using the proxemics concept, by considering the awareness constraint. All determined environmental information is transformed into the 2D representation known as the safety map. With such integration, the map delivers a free space path that is safe and comfortable to humans. Eventually, the user's command is validated with the safety map to moderate the final motion that is collision free, comfortable to humans, and is best suited to the user's preference.

The proposed method can reduce the burden of severe impairment users to control the wheelchairs by continuously monitoring the surrounding and can make them move easily according to their intention. Considering the safety issue,

the system can sense almost any possible threats in indoor environments and output the 2D grid of navigation map including positive, negative and overhanging obstacles. With such detail information of the environments, most likely the system can increase the safety issue and consequently reduce the user's burden of continuously monitoring the surrounding while maneuvering.

In terms of socially acceptable constraint, apart from collisions free the system can also generate more comfortable passing by considering the head position and orientation of people around. The sensors can infer humans' information up to 80% accuracy for head localization and 71% for pose estimation. The system has been tested in multi-humans encountering scenario and shown to work well for respecting humans' personal space while navigating.

The developed system enables the user to issue the control command to the wheelchair via the hands free interface (HFI). User tests have been conducted and shown that the designed interface is capable of obtaining fair performance in terms of distance of travel and control pattern compared with a standard joystick. By incorporating the safe and socially acceptable constraints, apparently collision can be avoided and comfortable passing can be generated.

## 論文の審査結果の要旨

当論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 25 年 1 月 22 日に公開で開催し、詳細な質問を行い論文内容の審査を行った。その論文発表を含む学位論文の審査の結果、本提出論文を博士（学術）の学位論文として合格と判定した。以下に審査結果の要約を示す。

本提出論文は高齢化社会で需要が高まると思われる車いすの智能化に関するものである。この種の車いすは、まず、障害物を避けて安全に動かなければならない。しかし、それだけでなく、できるだけ周囲の人と調和した動きをする必要がある。さらに、車いすの使用者にとって容易に動かせる必要がある。本論文は以上の 3 つの点について検討したものである。

本論文は 6 章からなるが、まず、第 1 章では、上述のような研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では知的車いすやロボット車いすと呼ばれる関連研究について調査してまとめている。また、そこで用いられる要素技術である移動計画や、頭部の検出や追跡の関連研究についても述べている。

第 3 章では、提案する車いすのハードウェアの構成を述べた後、安全な走行のための障害物検出について検討している。これまでの移動ロボット研究では走行する面上にある障害物を検出するのが中心になっていたが、車いすでは走行している面から下の方向への変化、すなわち、段差や斜面、および、走行面から見ると浮いているように見える部分、例えばテーブルの天板などの検出も重要である。そこで、RGB-D カメラ（Microsoft, Kinect）とレーザ測域センサ（北陽電機、UTM-04LX）を用いて、これらの障害物を検出し、安全に通行できる部分を示す地図を生成する方法を提案している。

第 4 章では社会に受容される走行について検討している。人間同士が動く場合、ぶつからないようにするのは当然だが、さらに相手の個人空間をできるだけ尊重するように動く。すなわち、可能な限り、ある程度以上の距離を取り、直前を横切ったりするようなことは避ける。車いすでも、同様に周囲の人間の個人空間を考えて動くのが社会に受け入れられるために必要であると考えられる。個人空間を尊重するためには、個人空間がどのようにになっているか知る必要がある。そこで、実際にベンチに人が座っているときの周囲の通行人の動きをレーザ測域センサで計測して調べた。その結果、周囲の人は座っている人から一定以上の距離を取って通り過ぎるようにするが、その距離は、座っている人の頭部が向いている方向に大きくなることが分かった。すなわち、個人空間はその人を中心とした等距離のものではなく、その人が見ている方向に大きくなっていることが分かった。そこで、周囲の人の頭部を検出し、その向きを求め、それに応じて個人空間を決定し、可能な限り、その個人空間に入らないように移動経路を計画する方法を提案した。そして、実験により、このような考慮をした走行の方が周囲の人間に好まれることを示した。

第 5 章では通常の電動車いすに付いているジョイスティックでは操縦が困難なような人でも操作できるヒューマンインタフェースについて検討している。一般的に、手や腕による操作が困難でも頭部は動かせることが多い。そこで、車いす使用者が行きたいところを頭部を向けて見て、バイトスイッチ（口で操作するスイッチ）などのオンオフだけを示すスイッチで確定を指示すると、そこへ向かって、途中で障害物があれば避けながら、自動的に動く方法を開発した。頭部の動きは車いすに搭載したカメラ映像から求めるようになっている。

最後に第 6 章で、論文の内容をまとめ、今後に残された課題を議論している。

以上のように、本論文の内容は、学術的に意義のある研究であると評価できる。よって、当学位論文審査委員会は、本論文を博士（学術）の学位論文として合格と判定した。