

身障者向け車椅子の屋内・屋外ナビゲーションシステムの研究

ワッタナワラオンクン ナッタポップ^{†1} 若原 俊彦^{†2}

最近、身障者が車椅子により屋内および屋内通行する際の支援システムやツールが開発されている。身障者の支援にあたって目的地までの最適な通行ルートを提示することが重要である。本論文では、屋外と屋内の最適なルートを調べるため、車椅子を利用する身障者向けのナビゲーションシステムの構成法を検討する。屋外では GPS を利用した身障者のための車椅子が利用できるルートの提示法とビル内では GPS の電波を利用できないので現在の位置がわかるようにスマートフォンの方位センサと車椅子の車輪センサを利用する。屋外から屋内まで通行する身障者がスムーズに行けるようにナビゲーションする方法について述べる。

Indoor and outdoor navigation system for disabled

WATTANAVARANGKUL NATTAPOB^{†1} WAKAHARA TOSHIHIKO^{†2}

Recently, in order to be able to pass the disabled, the many support systems and tools have been developed for the disabled. However, walking supported by wheelchair to pass through the building has a significant problem of because the lacks of GPS signal in the building. This paper is going to introduce a new navigation system for the wheelchair using smartphone as a medium. In this navigation system, the sensor wheel in the wheelchair and the digital compass of the smartphone are used to calculate the current location. Moreover, the navigation system provides map that displays possible routes of passage in a wheelchair both inside and outside or the current location from outside the building to a destination inside the building.

1. はじめに

近年、ユニバーサルデザインが提唱され、年齢、性別、国籍、障がいの有無などの如何に問わず自由に利用できるようにめざして施設・製品・情報などが設計されるようになってきた。また、アクセシビリティやユーザビリティの観点からも出来るだけ誰もが支障なく利用出来るように配慮されるようになった。身障者にとっても出来るだけ健常者と同様に便利な日常生活や交通手段を取れるのが望ましい。

本研究では、マンションやオフィスなどのビル内で身障者が問題なく移動出来るように車椅子用のナビゲーションシステムを利用出来ることを目的とする。また、屋外では車椅子を利用する身障者に必要な情報（例えば、下り坂、上り道、階段、行き止まり等）を示し、これらを迂回して通行するナビゲーションするとともに、屋内と屋外のルートを手携して表示できるようにする。このナビゲーション機能により、身障者のためだけではなく、ビル内・外を通行する一般の健常者でも行き先まで最適な通路を示すことを目指す。

現在、インターネットが普及しスマートフォンを使用しているユーザが増えている、スマートフォンは進化が著しく機能が豊富であるにもかかわらず値段が安くて便利であり、身障者にとってもスマートフォンは欠くべからざる持

ち物になっている。このスマートフォンには重要で大切な機能があり、それは方位センサの機能である。本論文で扱うナビゲーションシステムには、身障者は車椅子を利用することとし、測位機能を使用するため方位センサを車椅子に搭載することとする、また、身障者には介助者または付き添いの人がスマートフォンを持つ必要がある。

2. 研究の目的

2.1 車椅子の利用法

身障者は、介助者などがいないときにはどちらに行くのか判断するのが難しく、特に場所の情報を知らなければ一人で行動するのは難しい。本論文では、車椅子を利用する身障者が、健常者と同様に日常的に暮らし易くするため、身障者が一人で出かける場合でも介助者などに身障者の現在位置を通知し、安心・安全なシステムの構築を目指す。このため、車椅子の車輪センサで車輪の速度を測定するとともに、スマートフォンの方位センサで移動方向・移動距離を算出し、移動トレースを求めて表示し、ナビゲーションする。

2.2 屋内ナビゲーション手法

屋内では GPS の電波が使用出来ないため、色々な屋内ナビゲーション支援手法が開発されているが、これらの方法では測位の誤差が生じてうまくナビゲーションすることができないものが多い。例えば WiFi や Bluetooth の受信電力を計る方法、RFID センサを用いる方法などがあるが、まだ誤差が大きく実用化は難しい。現在、最も良い屋内ナビゲ

†1 福岡工業大学 大学院工学研究科 情報通信工学専攻
Fukuoka Institute of Technology

†2 福岡工業大学 大学院工学研究科 情報通信工学専攻
Fukuoka Institute of Technology

ーションと考えられている方法は GPS リピータを用いる方法であるが、GPS リピータをビル内に多数設置する必要がある。したがって、コストが高くなるので、あまり使われていない。

本研究では、新しい屋内ナビ方法を考案し、誤差が小さくまたコストも低いナビゲーション方式を目指す。

2.3 屋外と屋内のナビゲーションの連携

身障者は屋外にいる時は、屋外からビル内に入る必要がある。屋外からビル内の行先の場所を選択して指定できるようにする必要がある。逆に屋内から屋外の行先の場所も選択して指定出来る必要がある。

すなわち屋内と屋外のナビゲーションは、GPS の利用条件の違いはあるがユーザの利用条件は同じであり、身障者にとっては屋外と屋内の間をスムーズに通行できるように、システムを開発する必要がある。

2.4 最適ルートの選択

一般的なナビゲーションシステムでは、ナビゲーション用に行先を選んでルート計算する場合、2次元の位置情報(x, y)の値が使われる。したがって、高さ(z)の情報が含まれない場合が多い。したがって、下り坂も上り坂も同じルートが表示される。このため、車椅子を利用する身障者にとっては不便であり危険な場合も生ずる。

本研究では、高さの情報も重要でありこの情報も含めた最適ルートを提示するものとし、ナビゲーションで表示する際に出来るだけ坂道や階段などを回避しエレベータを利用したり平坦な回り道のルートを選択することを目指す。

3. センサと測位アルゴリズム

3.1 スマートフォンの方位センサ

最近のスマートフォンにはほとんど方位センサの機能が含まれているので、そのスマートフォンの機能を利用して車椅子の移動方位を算出出来る。スマートフォンの方位センサは、地球の磁界を測定して0度-359度の値を示す。0度では北、90度では東、180度では南、270度では西を示す。

3.2 車輪センサ

車輪センサは、車輪の速度を測るセンサである。本研究では、Bluetoothを用いてデータ通信する車輪センサを用いることとし、このセンサを車椅子の車輪に取り付けて、収集した車椅子の移動情報を Bluetoothでスマートフォンに送信する。これにより、車椅子が何 Km/hで移動するかその速度がわかるようになる。

3.3 測位のアルゴリズム

車椅子の測位システムのアルゴリズムを以下のように考えた。まず、車輪センサと方位センサを同時に利用できるように設定して、スマートフォンでは二つのセンサから0.1秒毎にデータを読み取るとともに、車輪センサの速度(Km/h)を S に設定し、方位センサの値(度)を D に設定し、

図面の Zoom level[1] Scale (pixel/m)を R に設定する。

図面上の現在の位置を (x, y), 1 サンプル前の位置を ((x-1), (y-1)) に設定する。

現在の位置は、以下の式で得られる。

$$x = \{(S)(R)(0.0277)(\cos(D)) + (x-1)\}$$
$$y = \{(S)(R)(0.0277)(\sin(D)) + (y-1)\}$$

上の x, y の値は現在の値なので、0.1 秒毎に更新し、1 サンプル前の値と最新センサの値を加えて、図面上の現在の位置を車椅子と同じように動かす。

4. 図面データベース

4.1 屋内図面データベース

屋内の図面データベースは、JOSM という Java OpenStreetMap[2] Editor (地図作成ソフト: Open Source Software) を使用して作成するものとし、その方法を以下に示す。

1. ビル内のフロア図面情報を入手する。図 1 にこれを示す。

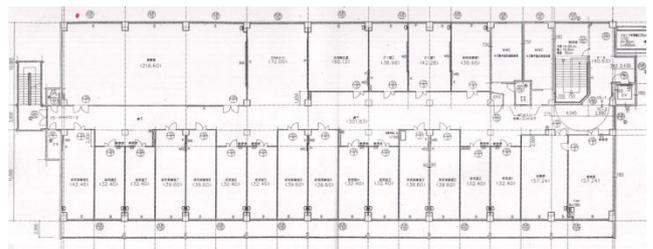


図 1 ビル内フロア情報の図面

2. JOSM[3]を開いて、ビル内のフロア図面を地図データベースからダウンロードする。図 2 にこれを示す。

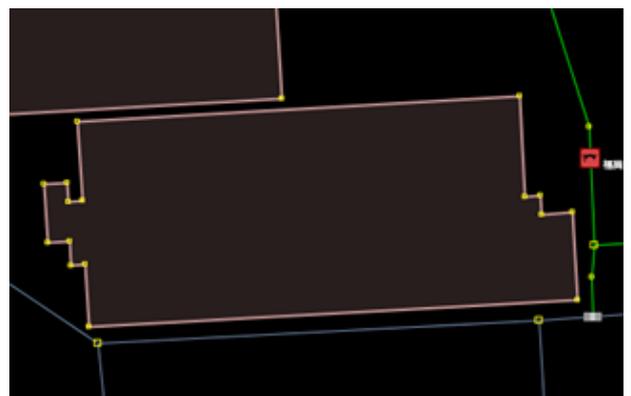


図 2 JOSM のビルの地図データベース

3. ビルフロアの地図情報を地図データに組み入れて、フロアの写真をビルの大きさおよび位置に合わせて調節する。



図3 組み合わせたフロア地図と地図データ

4. ビル内のフロア地図情報の写真と JOSM の地図データベースを組み合わせて、地図上に部屋、通路、ドア、階段、エレベーターなどのノードを加えて編集し、図面データベースのファイルとして保存する. 図4にこの図面例を示す.

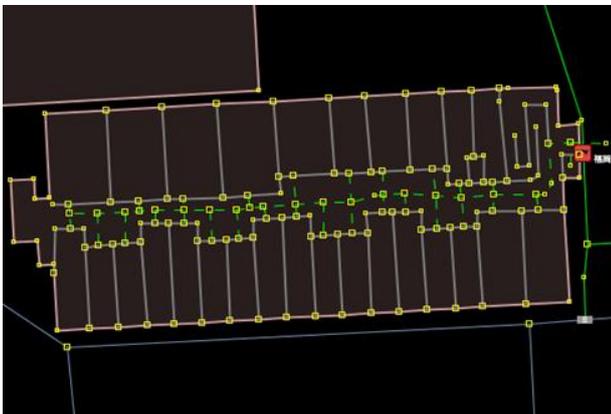


図4 合成した図面データベース

4.2 屋外図面データベース

屋外の図面データベースは身障者のため、ルート追加し、例え、スロープのレベル、階段、下り道、上り道、等を図面上で表示する.



図5 屋外の図面データベース

5. ナビゲーションシステム

5.1 A* アルゴリズム [4]

目的地までの最短ルートを探るために、経路探索アルゴリズムの一つである A* により算出する. 図6にこのアルゴリズムの算出過程を示す. スタートノードからゴールノードまでの最短のパスを計算する. この時、求めたパスが最短ルートになる.

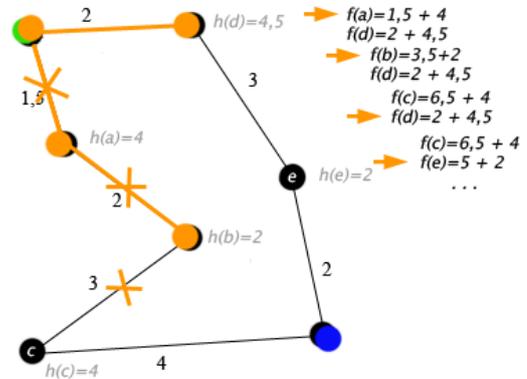


図6 A* アルゴリズムの手法

A* アルゴリズムの内容は次の通り、スタートノードから、あるノード n を通って、ゴールノードまで辿り着くときの最短経路である.

5.2 pgRouting

Open Source Software の pgRouting[5] という経路選択プログラムを使って、目的地までの最適な通路をナビゲーション選択およびトレース表示する. 図面上で各ノードのタイプが決定される. 例えば、通過出来るノードのタイプ、通過出来ないノードのタイプが決定され、ルートが選択される.

5.3 図面データベース上のナビゲーション例

上記の経路選定アルゴリズムによって求めたナビゲーションの例を図5に示す. 緑フラグは現在の位置、赤フラグは行先、現在の位置から行先までナビゲーションルートは赤線で表示される.

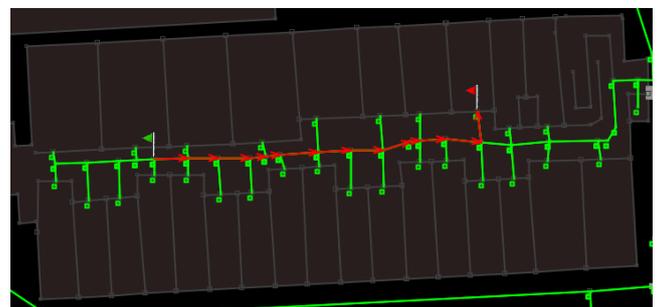


図7 図面データベース上のナビゲーション例

6. 身障者向けの屋内・屋外ナビゲーションシステムの機能

身障者向けの屋内屋外ナビゲーションシステムの機能は

以下の条件を考慮する。

(1) 1. 出発点が屋内の場合

ビルのフロア情報の図面データは、QRコードを利用して図面データベースにアクセスしてダウンロードする。ビルの出入り口にQRコードが張ってあるので、身障者がビルに入る際に図面データベースからスマートフォンにダウンロードする。

QRコード



図8 QRコードの張出し場所

2. 出発点が屋外の場合

現在の位置はGPSで測り、本実験サイトでビルのフロア情報の図面データをダウンロードして行先を選ぶ。

- (2) 図面上でルートのスロープのレベルを色で示す。スロープのレベルが高い場合は下記のように赤で示し、スロープのレベルが低い場合は下記のように黄色で示す。



図9 ルートのレベルの示す色

- (3) 階段や急な坂があると危険なので、その通路を使わずに、エレベーターや車椅子用の通路を使うルートを選択する。
- (4) ビル内の図面上で身障者が使用可能な車椅子などが配備してある場所を表示する
- (5) 身障者の現在の位置情報を、介助者など身障者の関係者に送る、関係者はインターネットで身障者の現在の位置情報を求められて、身障者がビル内にいる際は現在の情報、例えば、ビル内のフロア階数や部屋番号などの情報が送られる。
- (6) 事故や非常の場合は、ビルの係員や身障者の関係者に身障者の現在の位置情報が送られる。
- (7) ナビゲーションシステムは屋内と屋外を繋ぎ、現在の位置から屋内の行先や屋外の行先も選択し、ナビゲーションする。

7. 身障者向けの屋内・屋外ナビゲーションシステム

システムの手順

図10に、身障者がビルの中に入って屋内ナビゲーションを受ける手順を示す。

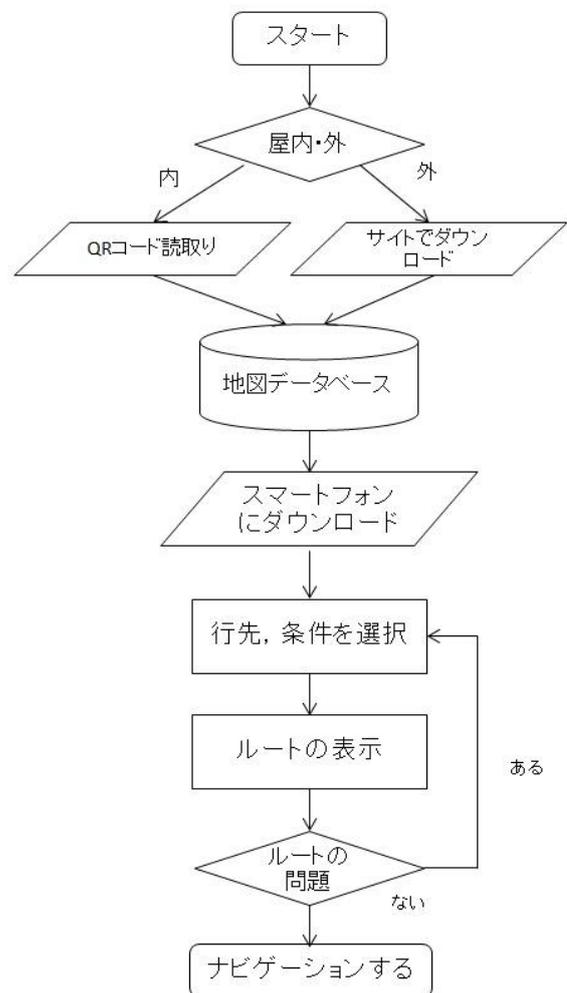


図10 身障者向けの屋内・屋外ナビゲーションシステム

出発点は屋外の場合、本実験サイトでビルのフロア情報の素面データベースをダウンロードし、行先を選ぶ。出発点は屋内の場合、身障者がビルの出入り口の壁のQRコードをスマートフォンで読み取り、地図データベースからビル内の平面図情報をダウンロードする。地図上に示された行先と条件を選択し、ナビゲーション図に示された候補ルートの中から最適なルートを選択して表示する。このルートに問題があれば、再度行き先や条件を選ぶ手順に戻り、選び直す。

8. シミュレーション実験の結果

8.1 屋内のナビゲーションのシミュレーション



図 11 ナビゲーションのシミュレーション結果

福岡工業大学D棟5Fの研究室からC棟3Fの講義室までのナビゲーションを想定し、階段を使わずにエレベーターを使って移動するルートのシミュレーション実験を行った。図 11 にシミュレーションの結果を示す。同図から、ほぼ廊下に沿って歩行する通路の選択が可能であったことがわかった。

8.2 屋内と屋外のナビゲーションのシミュレーション



図 12 屋内と屋外のナビゲーションの結果

福岡工業大学の道路(屋外)からC棟の1階までのナビゲーションを想定し、身障者の条件でスロープおよび階段を使わずに、屋外の出発点から屋内の行先まで最適なルートが表示できることがわかった。

8.3 図面上の測位シミュレーション

次に、福岡工業大学の池の隣の通路(屋外)で実験した、この実験では、屋外でもGPSの電波を使用せず、車輪センサと方位センサだけを使用してシミュレーション実験を行った。実験したルートは3つあり、長いルート(A-route)、短いルート(B-route)、曲がるルート(C-route)のそれぞれでシミュレーションした

A-routeの距離は117.6m、実験で測った結果は116.6m、誤差は0.935%、B-routeの距離は24.3m、実験で測った結果は24.1m、誤差は0.823%、C-routeの距離は28.9m、実験で測った結果は28.6m、誤差は1.038%であった。

また、表2にそれぞれのルートの図面上のルートを示す。

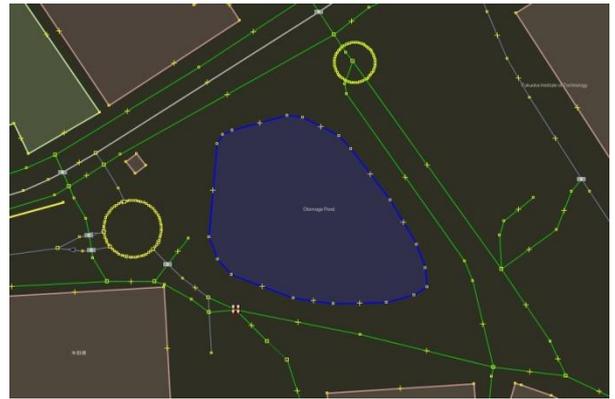


図 12 福岡工業大学の池の周辺地図

A-route (長いルート)

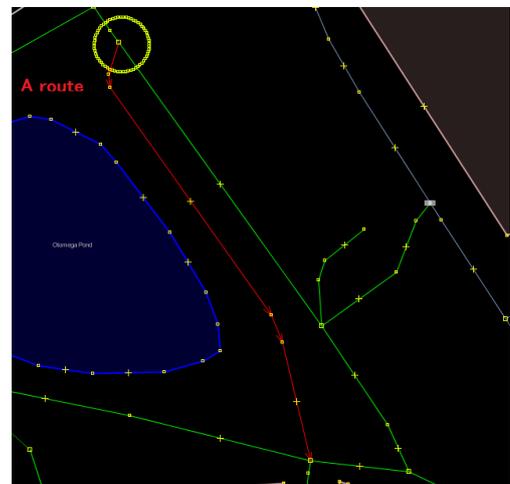


図 13 A-route の地図

B-route (短いルート)

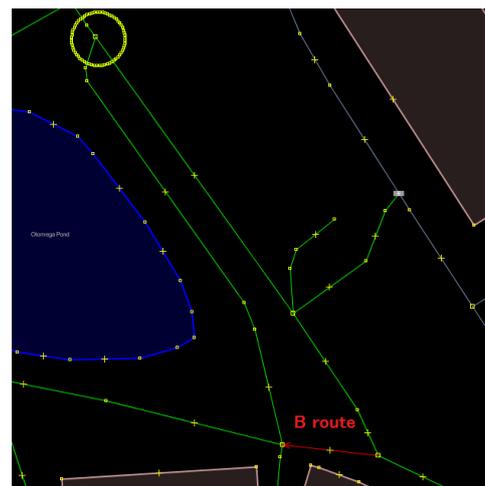


図 14 B-route

C-route (曲がるルート)

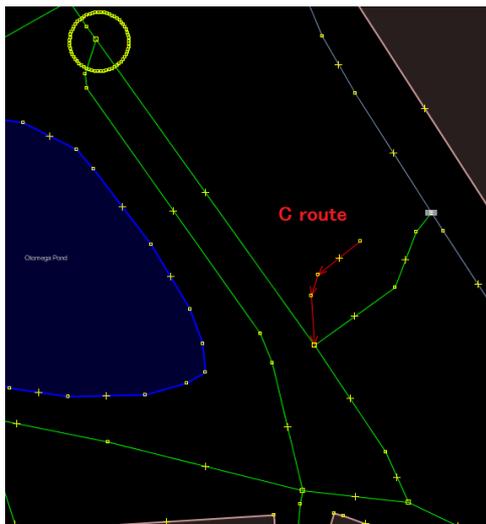


図 15 C-route

表 2 に、図面上の距離と誤差を示した。この表から C ルートが図面上の誤差が最も大きい、実際の誤差は 1.038%の最低となることがわかる。

表 2 誤差の比較表

| ルート | 図面上の値(m) | 誤差(%) |
|-----|----------|-------|
| A | 117 | 0.935 |
| B | 24.3 | 0.823 |
| C | 28.9 | 1.038 |

9. まとめ

本論文では、スマートフォンを用いて車輪センサと方位センサを利用して屋外と屋内で車椅子用の身障者の現在の位置が測位できるようにする屋内屋外ナビゲーションシステムを試作し、そのシミュレーション結果について述べた。

本システムの目的は、身障者が行先まで最適なルートで安全に到着する事である。実験の結果、ナビゲーションのシミュレーションでは現在の位置から身障者の条件で行先まで正しく表示することが出来た。ただし、屋内と屋外の図面データと地図データを繋げて、身障者の条件で屋内と屋外の間ナビゲーションすることが出来た。

今回の実験では、屋外、車椅子の代わりに自転車に車輪センサを張っておき、選択されたルートで自転車を引いて実験した。測位シミュレーションの結果、各ルートの誤差は概ね 1%以下であったが、測位したのは車輪センサだけを利用して距離を測った。方位センサを含めて実験したのは、使用した経路探索アルゴリズムのプログラムは、現在の位置のデータを用いて計算すると遅くなり曲がる時の遅延があり、0.5 秒くらい遅かったので誤差が多くなったためである。今後は、測位に当たって車輪センサと方位セン

サを両方利用して実験をする予定である。また、この遅延時間も出来るだけ小さくなるように新しい高速化アルゴリズムを検討する。

文 献

- [1] Zoom levels
http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Zoom_levels
- [2] OSM OpenStreetMap
<http://www.openstreetmap.org>
- [3] JOSM is an extensible editor for OpenStreetMap
<http://josm.openstreetmap.de>
- [4] A-Star Algorithm
http://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm
- [5] pgRouting
<http://www.pgrouting.org/index.html>
- [6] QR Code
http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code
- [7] 加速度センサ・方位センサを用いた屋内位置推定方式の論文
- [8] FootPath: Accurate Map-based IndoorNavigation Using Smartphones
<http://www.comsys.rwth-aachen.de/fileadmin/papers/2011/2011-IPIN-bitsch-footpath.pdf>
- [9] PATH PLANNING USING INDOOR MAP DATA GENERATED BY THE PLAN VIEW OF EACH FLOOR
http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/B2Location%20based%20services%20and%20ubiquitous%20cartography/CO-103.pdf