

自律航法を用いた視覚障害者向け屋内位置推定システムの検討

中込瑞大^{†1} 森信一郎^{†1}

概要: 近年、視覚障害者の為に進行可能な方向を示したり、危険な場所を知らせたりする点字ブロックが、歩道や駅構内など、移動に頻繁に用いられる場所では広く設置されてきている。しかし、大学などの施設内には、点字ブロックや、その他の障害者をサポートする仕組みが設置されていない事例が少なくなく、そうした場所は視覚障害者にとって厳しい環境であるといえる。そこで、施設内などにおいて GPS 等による位置推定が使えない場合でも自身の位置を知ることが出来る、自律航法によるナビゲーションシステムを用いて視覚障害者を誘導・案内するシステムを提案する。しかし、自律航法による位置推定を行う際には、まず計測開始時の位置や向きを端末にインプットする必要がある。そこで、固定された既存の構造物が持つ向きの情報を活用する。本稿では位置の情報を埋め込んだ QR コードを地面に設置し、端末のカメラで撮影することで位置情報を得るとともに、その画像から向きを推定する手法について検討する。

キーワード: 自律航法, QR コード, 屋内測位

Consideration of the indoor positioning system for visually impaired with pedestrian dead reckoning

MIO NAKAGOME^{†1} SHINICHIRO MORI^{†1}

Abstract

In recent years, Braille blocks that indicate dangerous places or moveable direction have been widely installed in many places where frequently walked through such as sidewalks and stations. However, there are still no such supportive facilities in many places including my university. That makes difficult for blind people to go there and walk around. Alternatively, we can use positioning system such as GPS to know our position, and there is geomagnetic sensor to know our direction. But they cannot be used in indoor environment. So we propose the positioning system using Pedestrian Dead Reckoning to allow navigate users even inside the building. However, in order to use Pedestrian Dead Reckoning, we have to initialize the system by inputting orientation and position of user. To know that information, we use the fixed structure that already exists around us. In this paper, we get required information to run Pedestrian Dead Reckoning powered navigation system by shooting the QR code placed on the ground with camera on Android device.

Keywords: Dead Reckoning, QR Code, Indoor positioning

1. はじめに

現代では、視覚障害者の移動の補助を目的とした点字ブロックが、駅構内をはじめとして人通りが多い歩道などに広く設置されてきている。こうした点字ブロックには2種類あり、進行可能な方向を示す平行な線状の突起が並んだ誘導ブロックと、曲がり角や階段の出入り口などの注意を喚起すべき位置に設置される点状の突起が並んだ警告ブロックがある[1]。これらの点字ブロックは手に持った白杖の先端を当てたり、突起による足裏への刺激を受けたりすることで認識することができる。また、弱視者にとって見つけやすいよう、多くの箇所では黄色の点字ブロックが用いられている。これによって、視覚に障害を持っていても単身で自身の向かうべき方向や注意が必要な場所を知ることができる。しかし、あらゆる場所にそうした点字ブロックが設置されているわけではなく、大学構内など様々な人が訪れる場所でも設置されていない場合が少なくない。視覚

障害者にとって、点字ブロックのない場所で自身の位置や向いている方向を把握しつつ目的の場所まで移動することは困難である。そのため、点字ブロックのない場所でも正しく目的地へ歩いて行けるように、自身の位置や向いている方向を把握できるような測位技術が必要であると考えた。そこで、自身の位置の推定に用いる手法としてはGPSのような測位技術が一般的に挙げられる。しかし、GPSは屋内では利用できないほか屋外においても周囲に高層建築などの遮蔽物がある場合には誤差を生じるなど、あらゆる場所において高精度な測位結果が得られることを保証するものではない。また、自身の向きを知るためにはある程度の距離の移動を行う必要があるが、向きが分かっていない状態で移動を行うことは目の見えない利用者にとっては非常に危険なことである。これに対し、向きの取得に関しては地磁気センサが用いられる場合が多い。しかし、地磁気センサもその動作の可否が周囲の環境に依存する。例えば、高層建築の内部や車両などのそばといった場所では地磁気

^{†1} (株)千葉工業大学
Chiba Institute of Technology

弱くなったり乱れが生じたりしてしまうため、正確な方位を安定して取得することが出来ない。視覚障害者に対して安全にナビゲーションを行うためには、こうした周囲の環境の影響を受けずにその場で移動すべき方向を示すことが可能な測位技術が必要であるといえる。

2. 関連研究

2.1 RFID タグを用いた手法

視覚障害者を誘導する仕組みの一つとして、RFID タグ（電子タグ）を用いて誘導するものがある。[3]に示す文献では、靴のつま先部分に電子タグリーダを装着し、地面に敷き詰めた電子タグを読み込むことで正確な利用者の絶対位置を得るとともに、読み込んだ電子タグの情報を利用して進行方向を指示することが出来る。利用者の靴に電子タグリーダを取り付けることで動作し、それ以外に特別に必要となる操作がないことから、利用者にとって負担が少ないことが利点として挙げられる。しかし、あらかじめ指定した範囲から外れるとナビゲーションを行うことが出来ないため、利用者の移動範囲が大きく制限される。また、電子タグは読み込むことが出来る範囲が狭く、つま先部分の電子タグリーダが設置された電子タグの真上を通過する必要がある。問題なくナビゲーションを行うためには電子タグを広範囲に敷き詰めることでカバーするか、逆に範囲を絞って設置する場合は目の見えない人にとっては電子タグを探すことが難しくなる。このように、利用者にとっての使い勝手や設置者にとってのメンテナンス性は一概に良いとは言えない。

2.2 AR マーカを用いた手法

AR マーカを用いて、施設内において利用者の位置推定およびナビゲーションを行うことが出来るシステムが考案されている。[4]では、あらかじめシステムに AR マーカの位置姿勢や設備の情報を入力する必要があるが、端末のカメラに映った AR マーカの位置や向きをもとに利用者の位置や向きを取得し、適切な設備に案内する手法が提案されている。これには AR マーカと端末に搭載されたカメラのみで姿勢推定や距離計算を行うことが出来るといった AR マーカの仕組みを利用しており、そのほかのセンサ類を必要としない位置推定が可能である。ただし、[4]で挙げられていた問題として、AR マーカを設置した空間で端末のカメラのみをもちいて位置・姿勢の推定を行う際、その精度は良好とはいえないといった難点がある。また、継続的に位置や向きを得ようとする場合には、AR マーカを端末のカメラの撮影範囲に収め続ける必要がある。視覚に障害を持つ人はカメラに映っている映像を確認できないことからカメラの撮影範囲に AR マーカを収めること自体が難しく、この手法を目的地までの継続的な誘導に用いることは困難であるといえる。

3. 提案手法

そこで本研究では、建築物や設置物が地平面上で向きが固定されていることを利用して移動すべき方向を認識する歩行者自律航法を用いた視覚障害者向けのナビゲーションシステムを提案する。歩行者自律航法では、端末の加速度センサと角速度センサを用いて歩行者の位置や向きを推定する。先述の GPS や地磁気といった環境によっては利用できない指標を用いないため、屋内外問わず安定した位置推定および方位推定を行うことができる。ただし、歩行者自律航法で得られるデータは初期の位置および向きに対する現在の相対的な値である。そのため、現実空間においてナビゲーションを行うためには最初に利用者の初期の位置および向きをシステムに入力する必要がある。そこで、向きが固定された既存の構造物を利用してこれらの情報を取得する。

本稿では、地平面に設置した QR コードを端末のカメラから読み取ることで自律航法システムの利用に必要な情報を得る方法を提案する。QR コードには予めそれが設置される地点の二次元座標上の点の座標情報を格納しておく。これを端末のカメラで撮影し、撮影した画像内の QR コードから位置情報を取得すると同時に、撮影した画像内における QR コード内の位置検出パターンの位置と加速度センサから得られる値を用いて算出した姿勢情報を用いて、端末が向いている方向を方位の初期値として得る。この QR コードは、例えば自動ドアの前後やエレベータの扉の前のような、必ず通る場所や動線となる場所の地面に設置する。これにより、視覚に障害を持つ利用者でも QR コードを探すことが比較的容易になると考えられる。本稿では、地面に設置された QR コードから端末の相対的な向きを得る手法について検討し、その性能について評価を行うとともに、歩行者自律航法を用いたナビゲーションシステム [2]に本手法を適用することが可能であるか検証する。

3.1 QR コードを用いた方位推定

今回提案する手法では、歩行者自律航法システムのキャリブレーションモジュールにおける方位取得の手法を改良する。3.4 に挙げる従来手法では端末を壁に押し付けるにあたり、端末の機種によってはカメラなどの突起によって背面が必ずしも平坦ではないために壁と端末が平行にならないことで角度にずれが生じる、付近に動かないことが保証された壁がなければ利用できない、壁に押し付ける動作の過程でユーザが端末を落としてしまうことがあるといった問題があった。これに対し、今回提案する手法では地面に設置した QR コードの撮影画像から端末の向いている方位を取得する。これにより、周囲に壁がなくともその場でキャリブレーションを行うことができる。また、端末を壁に押し付けるために持ち方を大きく変える必要がなくなるほか、視覚障害者が端末を押し付けるために壁を探す必要も

なくなる。以下に方位取得の手順を示す。

まず、世界座標系における端末のロール角度 ϕ とピッチ角度 θ を、加速度センサの三軸の出力値 (a_x, a_y, a_z) を用いて以下の式(2)(3)により算出する[5]。これらの値は自律航法における姿勢情報として保持するが、今回の画像変形にはこれらのうちピッチ角度のみを用いる。

$$\phi = \tan^{-1} \frac{a_y}{a_z} \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \quad (2)$$

次に、QR コードの撮影画像から端末の向いている方位を得る。端末で撮影した画像について、式(3)で求めた端末のピッチ角度を用いて画像を変形することで、地面のQRコードを正面から取ったような画像に変形する。画像の変形は、画像処理ライブラリである OpenCV のうち Android 用に提供されている機能を用いて Android 端末上で行う。この変形により、少し離れた位置から端末を傾けて撮った場合でも QR コードの向きを推定できるようにする。ただし、今回の画像変形を行うにあたって、端末の世界座標系におけるロール角度は0である状態—すなわち水平に保たれており、変化させる値は端末の世界座標系におけるピッチ角度のみであるとする。まず、端末で撮影された画像を縦方向に引き伸ばす。撮影端末のピッチ角度に基づく被写体の縦の長さの比率は三角関数の計算によって求められると考えた。そこで、今回は以下の式を用いて被写体の縦の長さを補正する。この時、地平面と水平の状態におかれた端末のピッチ角度 θ を0度と定義する。

$$h^* = \frac{h}{\cos \theta} \quad (3)$$

撮影した画像の高さ h を式(4)に代入し、変形後の縦の長さ h^* を得る。縦方向に引き伸ばすことで、端末のピッチ角度の傾きによる縮みを復元する。次に、引き伸ばした画像について、画像内の奥行き位置の差によって生じる台形ゆがみを補正する。補正には以下の式(5)(6)で得られる値を用いる。

$$R_1 = 1 - \frac{\sin \theta}{2} \quad (4)$$

$$R_2 = 1 + \frac{\sin \theta}{2} \quad (5)$$

画像内中央に台形に変形された正方形があると仮定して、台形の上底の長さが R_2 倍、下底の長さが R_1 倍となるように画像を変形する。変形のイメージを図1に示す。ここまでの一連の変形により、地面に設置されたQRコードを真正面から撮影したような画像を得る。図2、図3に、例としてピッチ角度30度で撮影したQRコードの画像と、同条件で撮影した画像を上述の方法によって変形した結果の例を示す。

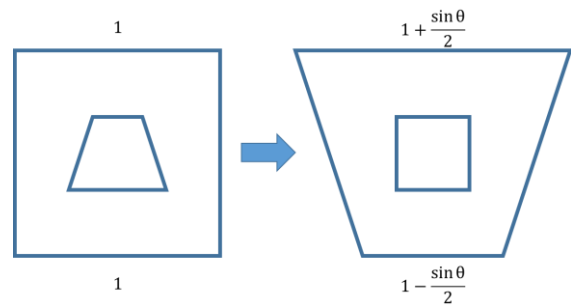


図1 台形変形のイメージ

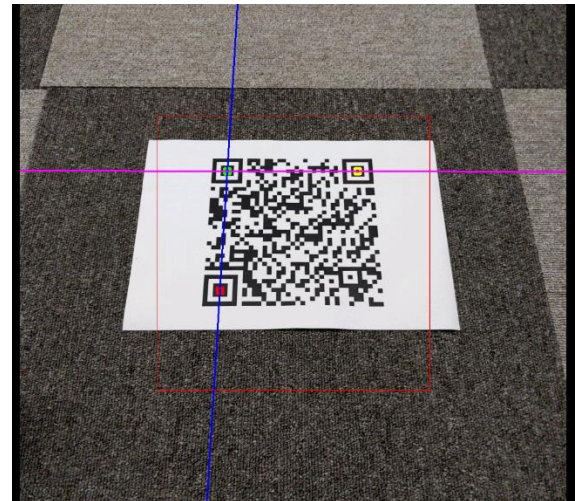


図2 変形前の画像

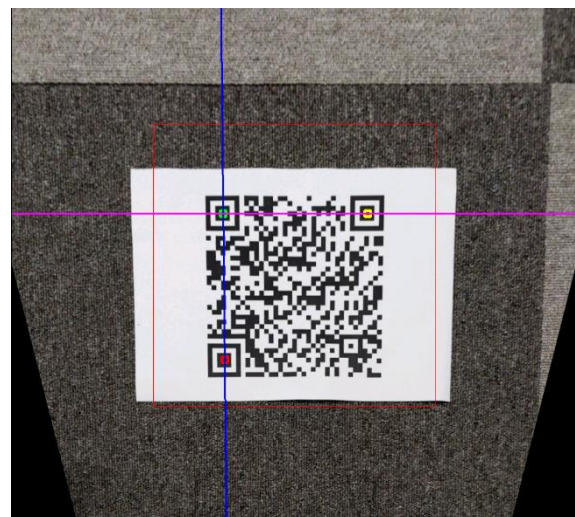


図3 変形後の画像

こうして変形したQRコードを、正面から撮影した画像としてQRコードリーダーライブラリに認識させ、QRコードの位置検出パターン座標を得る。QRコードリーダーとして、今回はAndroid用に提供されているライブラリであるZXingを用いた。これにより得られた位置検出パターン3つの画像上の座標のうち、QRコード左側の2点の画像内における座標から、それら2点を結ぶベクトル \vec{a} を作成す

る。このベクトルと、画像座標系の軸ベクトル \vec{b} のなす角を以下の式を用いて算出する。この方位算出のイメージを図4に示す。これによって得られた角度を世界座標系における端末のヨー角度 ψ 、すなわち利用者の向いている方位として得る。

$$\begin{cases} \psi = \pi - \cos^{-1} \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} & (\vec{a} \times \vec{b} > 0) \\ \psi = \cos^{-1} \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} - \pi & (\vec{a} \times \vec{b} \leq 0) \end{cases} \quad (6)$$

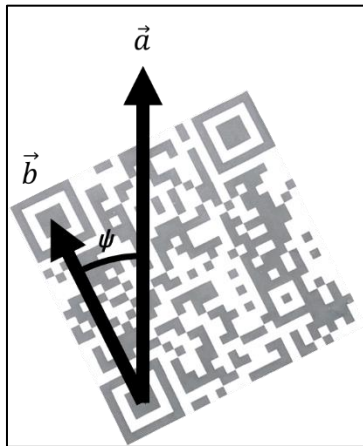


図4 方位算出のイメージ

このようにして方位を得るとともに、QRコードに格納した位置情報を取得することで、端末の位置と向きのキャリブレーションを行う。得られた位置と向きの情報を[2]の自律航法システムに入力することでナビゲーションを行う。自律航法システムは以下の図5のように構成されている。ここで、自律航法システムを構成する各モジュールについて簡単に解説する。

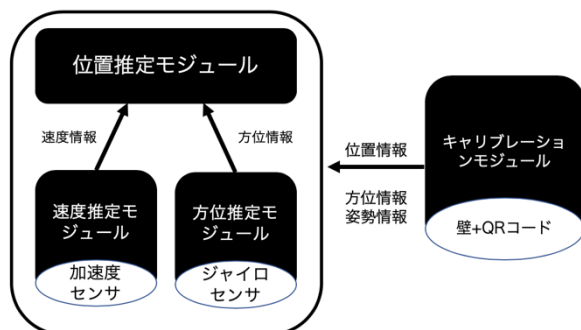


図5 システム構成図

3.2 速度推定モジュール

速度推定モジュールでは、利用者の歩行速度の推定を行う。この速度の推定には、文献[6]で提示された手法を用いる。具体的には、端末の加速度センサを用いて歩行時に発

生する振動のデータを取得し、このデータをFFT変換した後のピークの値を歩行周波数として取得する。ただし、ピークの出現位置が1Hz未満、または3Hz以上の場合は、その振動は歩行の振動ではないとみなし、0Hzを代入する。得られた歩行周波数を以下の式(7)に代入することで、歩行速度が得られる。

$$V = (0.001f)^2 + 0.37Hf \quad (7)$$

式中のHには利用者の身長、fには歩行周波数が代入される。なお、本システムにおける、加速度センサのサンプリングは1秒間に50回の頻度で行い、FFT変換には256個(時間にしておよそ5秒分)のデータを用いた。この速度推定手法の精度を検証するため、身長の異なる被験者に一定の距離(86m)を歩いてもらい、得られた速度を経過時間で積分することで得た推定距離と比較した。その結果、身長が適切に入力されていれば、誤差は86mあたりおよそ5m以内に収まることが分かっている。しかし、5秒間の蓄積データを用いて速度を得るため、その分速度の反映にタイムラグがあり、歩くのを止めても端末上では進んでしまうといった現象が発生する。これを防ぐため、今回用いるシステムでは、FFTに用いるデータの後方を0埋めすることで、FFT変換に必要な振動データのサンプル数を64個に削減した。これにより、歩き始めと停止が速度に反映されるまでの時間が約5秒から約1秒までに減少したため、始点および終点における速度反映の遅延による位置ずれの改善が期待できる。

3.3 方位推定モジュール

方位推定には、一般に加速度センサ、角速度センサ、地磁気センサのそれぞれ3軸を組み合わせて行うが、地磁気は地下街や高層建築物内部などでは弱まるため、方位推定に誤差が生じる。そのため、自律航法においては加速度センサと角速度センサの計6軸のセンサ情報を用いて方位を推定する。しかし、地磁気を利用できないことから自律航法単体では初期の方向が得られず、計測開始時からの相対的な方向の変化の取得に限られる。自律航法を用いて方位の推定を行うには先述の通り最初に初期の方向を入力する必要があるが、今回はこれを3.1に述べたQRコードと端末カメラで方位を推定する手法を用いることで解決する。今回用いる自律航法システムにおける方位推定モジュールでは、まず3.1で得た向きの情報(世界座標系におけるヨー姿勢)を受け取った直後に、式(1)(2)によって加速度センサで世界座標系に対する端末のピッチ・ロール姿勢を取得することで、世界座標系における端末の現在の姿勢情報を得る。こうして初期値を格納した後、角速度センサの3軸の値をサンプリング時間ごとに積分していくことでこれらの姿勢情報を更新していき、その姿勢情報におけるヨー軸の角度を方位として得る。なお、姿勢情報の保持にはジンバルロックが発生しないクォータニオンを用いている。

3.4 位置推定モジュール

3.2、3.3 節で説明したモジュールから得られた速度・方位情報を基に、二次元座標上における利用者の計測開始地点から現在の位置に及ぶ歩行の軌跡を算出する。具体的には、サンプリング時間ごとに速度から移動距離を算出、その距離に方位推定モジュールから得られる方位の情報を乗せることで移動ベクトルを生成し、現在位置に加算していく。これを継続的に行うことで現在位置の推定を行う。その際に、二次元座標上における移動ベクトル加算後の現在位置を逐次記録することで、歩行軌跡を得る。この方法を用いて取得した歩行軌跡の例を図 6 に示す。縦軸横軸は二次元平面を示している。

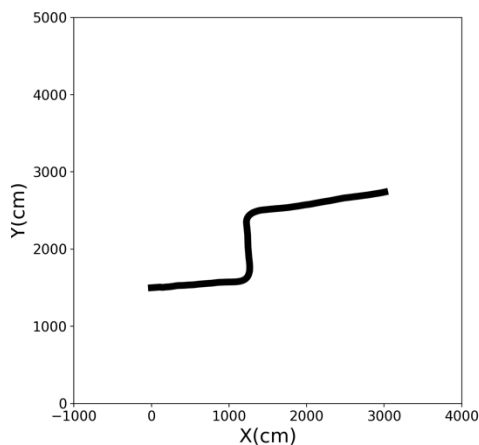


図 6 歩行軌跡の例

4. 実験

4.1 実験目的

提案手法 3.5 に挙げた、地面に設置した QR コードによる方位取得手法について、実際の端末-QR コード間の角度と提案手法によって取得される角度の誤差を測定することで、精度の評価を行う。

4.2 実験方法

利用者がスマートフォンを手に持っている際の高さをおよそ 80cm であると仮定し、80cm の高さの三脚に提案手法を実装したアプリをインストールした Android 端末を、提案手法の式 (2) (3) で算出されるピッチ角度とロール角度が 0 度となるように固定する。Android 端末として今回は Google Pixel 3a を用いた。表 1 にその主な仕様を提示する [7]。

表 1 Google Pixel 3a の主な仕様

Google Pixel 3a			
OS	Android 9.0		
CPU	Snapdragon 670	CPUコア数	8
RAM	4 GB LPDDR4X RAM	ストレージ	64GB
カメラ画素数			
背面	12.2 メガピクセル	前面	8 メガピクセル
搭載センサー			
Active Edge™ ⁹		Pixel Imprint™ (指紋認証セ	
近接センサー、周囲光センサー		気圧計	
加速度計、ジャイロメーター		Android センサーハブ	
磁力計		接触センサー	

端末の背面カメラの直下に一辺のサイズを 20cm として印刷した QR コードを設置する。QR コードのサイズを 20cm 四方と設定した根拠として、事前に 5cm 四方で印刷した QR コードに対して読み取り可能な限界距離について測定を行っている。測定は、壁に設置した QR コードから端末を 200cm 離れた状態から徐々に近づけていき、認識した時点の QR コードからの距離を記録することで行った。実験には、1310 万画素の外側カメラを搭載した Android 端末を用いた。その結果、5cm 四方の QR コードに対しておよそ 70cm の距離が読み取り可能な限界距離であることがわかった。この結果から、QR コードを認識させる場合は、QR コードのサイズは撮影する距離の 1/14 倍以上あればよいことがわかる。ただし、これはあくまでも 1310 万画素のカメラを用いた場合における限界距離であるため、端末によるカメラの個体差や QR コードの認識率を考慮すると、QR コードのサイズは少なくともその 2 倍以上あることが望ましい。今回用いる Google Pixel 3a に搭載されているカメラは 1220 万画素である。そこで、今回は利用者が端末を手に持つ高さとして仮定した 80cm においても十分に読み取り可能なサイズとして、A4 サイズ一杯に印刷可能な 20cm 四方の QR コードを作成した。なお、この QR コードには 32 バイト分の仮のデータを格納しており、その誤り訂正レベルは一般的に幅広く利用されているレベル M (誤り訂正能力 15%) で作成している。QR コードを設置する際、端末の向きと QR コードの向きを同方向にそろえるため、測定前にアプリから出力される方位角度を確認しながら、方位角度が 0 度となるように QR コードの向きの調整を行う。その後、15 度ずつ QR コードを回転させ、その都度方位角度を記録していく。これを 90 度回転させるまで行う。また、ピッチ角度についても初期の 0 度から 15 度刻みに変更し、60 度まで同様に計測する。その際、端末のカメラのレンズと QR コードの中心の距離が 0 度の時に計測したときと同じになるよう、端末と QR コードの位置を調整した。以下の図 7、図 8 に実験装置の概観を示す。

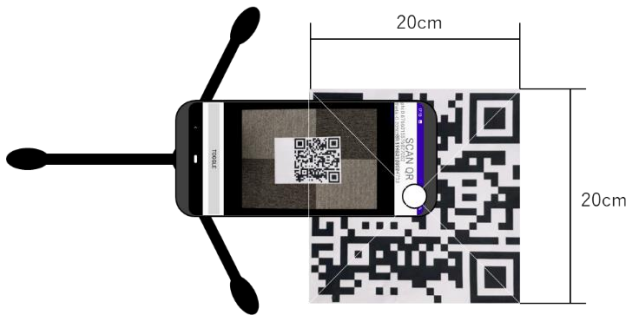


図 7 実験装置の概観 (上から)

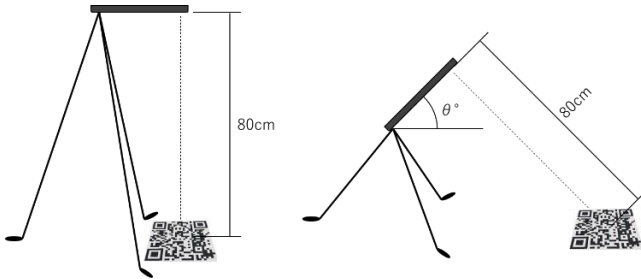


図 8 実験装置の概観 (横から)

4.3 実験結果

計測の結果を以下の表 2 に示す。表の縦方向はヨー軸角度、横方向はピッチ角度となっている。表中のすべての値の単位は弧度法における度であり、表中のダッシュ (—) は測定不能だった値を表している。実際の角度との誤差を表 2 と同様の表記で表 3 に示す。ピッチ角が 0 度の場合、誤差は最大で 0.43 度に抑えられており、ピッチ角度がついている場合でも最大で 3.0 度となっている。

表 1 計測結果

ヨー\ピッチ	0	15	30	45	60
15	14.83	15.08	16.16	16.29	14.98
30	29.84	30.45	31.92	33.00	31.66
45	—	43.23	—	47.75	—
60	59.57	59.93	60.62	62.50	60.94
75	75.04	74.53	75.92	78.00	75.43
90	90.00	89.22	90.13	92.11	90.55

表 2 実際の角度との誤差

ヨー\ピッチ	0	15	30	45	60
15	-0.17	0.08	1.16	1.29	-0.02
30	-0.16	0.45	1.92	3.00	1.66
45	—	-1.77	—	2.75	—
60	-0.43	-0.07	0.62	2.50	0.94
75	0.04	-0.47	0.92	3.00	0.43
90	0.00	-0.78	0.13	2.11	0.55

図 9 に実際の角度との誤差について撮影時のピッチ角度ごとにまとめたグラフを示す。このグラフからわかることとして、ピッチ角度 45 度における誤差がもっとも大きく、また、全体として正方向に誤差が出ていることが挙げられる。これは、通常よりも角度が大きく見えている、すなわち本来の縦の長さよりも長く引き伸ばされてしまっていることを示唆している。要因の一つとして、縦方向の引き伸ばしに使用する式が正しくなかったことが考えられる。今回使用した式では撮影する地点と QR コード平面の高低差について考慮していない。本来であれば高低差がある場合は末端のピッチ角度が 90 度となっても QR コードの画像上における縦の長さが 0 になることはない。ほかにも、一般に画像上の被写体の大きさはカメラと被写体の距離に反比例することが知られており、一概に三角関数だけで解決できる問題ではないと考えられる。また、今回使用した姿勢を用いた画像の変形はロールの回転に対応しておらず、ピッチ角度がついた状態でロール角度をつけると取得できる方位が大きすぎてしまう。これについては今後ピッチ角度の変化にも対応できる変形方法を考案する、あるいは姿勢を用いた画像の射影変換の手法について調査を行う必要があると考えている。

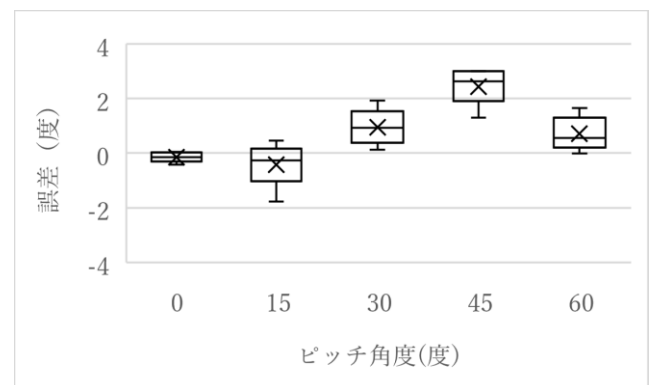


図 9 撮影時のピッチ角度による推定向き誤差の分布

図 10 に QR コードの向きに対する推定された向きの誤差をまとめたグラフを示す。前述の通り、誤差は全体的に正の方向に表れており、正しい方向からはおよそ+1度の角度が取れていることがわかる。しかし、QR コードのヨー角度が 90 度の時点で角度に誤差が出ている点は画像の引き伸ばしすぎに起因するものではないと考えられる。ヨー角度が 90 度の時は、計測開始前に端末と角度の同期をとった状態、すなわち QR コードを回転していないヨー角度 0 度の場合と同様な結果となることが想定されていた。正確な原因は不明であるが、現段階では計測中に QR コードを物理的に回転させる手順において生じた誤差ではないかと推測している。

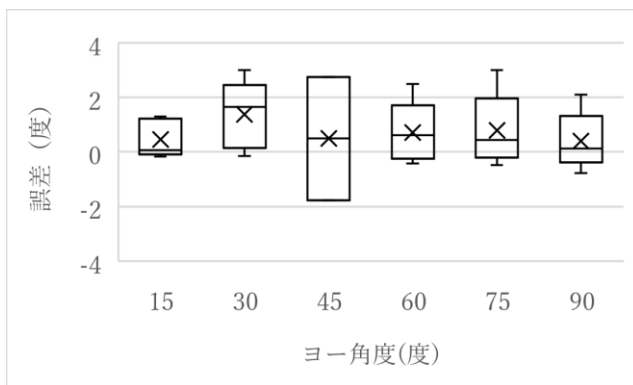


図 10 QR コードの向きに対する推定向き誤差の分布

4.4 自律航法システムへの適用

提案したキャリブレーション手法を行うことで自律航法を開始できることを確認するため、3.1 で述べたキャリブレーション手法を実装した自律航法ナビゲーションアプリを用いて大学施設内の廊下を周回した。計測開始時にスタート地点の地面に設置した QR コードを真上から撮影することで提案手法によるキャリブレーションを行い、その後直進および曲がり角での旋回を行う。その結果、以下の図 11 のような軌跡が得られた。縦軸および横軸は二次元平面の座標を示しており、単位は cm である。図中の軌跡の左上に見られる 2 本の線の終端について、左から終点と始点である。軌跡には平行四辺形状に歪むなどのエラーは表れておらず、姿勢のキャリブレーションが正常に行えていることがわかる。このことから、提案手法によるキャリブレーションはシステムに問題なく適用できることがわかった。また、始点に設置する際の QR コードのヨー角度の向きを 0 度から 15 度刻みで 75 度まで回転させて、同様に実験を行った。その軌跡を以下の図 12 に示す。これらの軌跡のように、撮影する QR コードの向きを変えることで、軌跡全体の向きが変わる。そのため、QR コードを複数個所に設置する場合には、あらかじめ QR コードを設置する際の方位を決めておき、すべての QR コードを統一された向きで設置する必要がある。

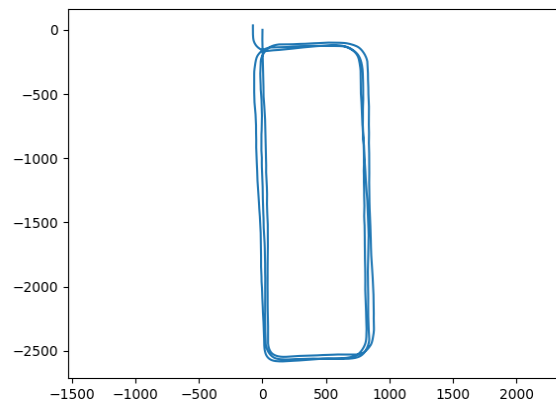


図 11 通路を 3 周した軌跡

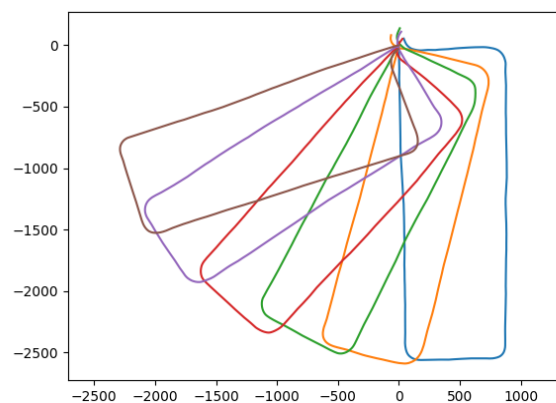


図 12 QR を 15 度ずつ回した軌跡

5. 考察

QR コードのヨー角度が 45 度の場合に、今回提案手法を実装したアプリでは角度を得ることが出来なかった。この現象の発生の要因として、QR コードの位置検出パターンを読み取ることが出来なかった可能性が挙げられる。位置検出パターンの特長として、その中心を通る直線でパターンを切り出すと、黒と白の縞模様の比率がどの方向からでも必ず 1:1:3:1:1 という比率になることが知られている[8]。この特性により、図 13 のように画像に対して水平な直線を用いて走査するアルゴリズムによって検出を試みる場合は、回転の角度が比較的緩やかであれば、中心を通る直線から少し離れた直線であっても内側の四角形の平行な 2 辺を通ってさえいれば 1:1:3:1:1 のパターンを切り出すことができるため、比較的容易かつ高速に検出が可能である。しかし、ちょうど 45 度に傾いた状態では、1:1:3:1:1 の比率となりうる水平な直線は位置推定パターンの四角形の対角線のみ 1 本に絞られる。そのため、45 度の状態で画像

に何らかの歪みやノイズが乗ることによって、その1本の比率を検出することが出来なくなることで、今回のように検出できないパターンが生じたと考えられる。

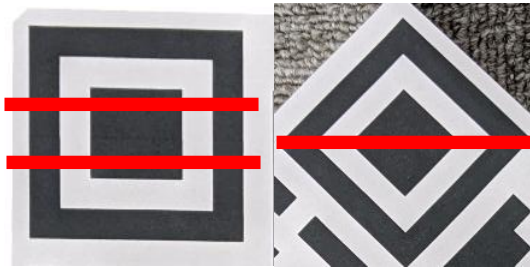


図 13 水平線で QR を走査する例

今回提案したキャリブレーション手法は地面に設置された QR コードから方位の取得を行うことを主目的としており、現状では自身の詳細な位置を知ることが出来ない。例えば、QR から手前に 1m 離れた場所から撮影した場合でも、QR に内蔵された位置情報に補正されてしまうため、その分自律航法システムが保持する位置情報と現実空間の位置に 1m のずれが生じてしまう。このような撮影場所と QR コード位置のずれを修正するには、QR コードに記述した絶対座標だけではなく、端末ないし利用者の相対的な位置情報を用いた補正が必要であるといえる。QR コードから得られる点の情報は位置検出パターンの 3 点であり、平面を同定するには必要十分な点数といえるが、あくまでも画像平面の座標であるため、この座標の情報から撮影時点での実空間座標系における座標を算出する手法が別途必要になると考えられる。なお、アラインメントパターンも含めれば 4 点以上の座標を得ることも可能であるが、QR コードに含めるデータ量によってはその位置が変化する為、より複雑な計算が必要となることが予測される。なお、QR コードが設置される地点は水平であることを想定しているため、傾斜のついた場所ではこの手法では姿勢を得ることが出来ないと考えられる。

今回の実験では 4.2 節で述べたような条件で QR コードを作成した。しかし、必ずしもこの QR コードの構成やサイズが最適であるとは限らない。QR コードの大きさは撮影される画像内において QR コードの占める画素数に直結する為、方位推定の精度に影響する。そのため、最低限読み取れるサイズより大きく作成することは勿論のこと、十分な精度で方位を推定できる大きさについては今後調査を行う必要がある。また、実際に QR コードを地面に設置する際に、QR コードの面が一定の期間でどの程度汚れるのかについて調べて適切な誤り訂正レベルを選択する必要があるほか、地面に大きな QR コードが設置されていることによる提案システム利用者以外の歩行者への心的影響などの考慮も今後の課題である。

6. まとめ

施設内などの屋内にも対応する視覚障害者を案内する自律航法ナビゲーションシステムの提案のうち、自律航法ナビゲーションシステムを始動させる為に必要な端末の方位の取得に関して、本稿では QR コードを地面に設置することで動作するキャリブレーションを提案し、計測実験を通してその精度を評価した。その結果、正面から撮影した場合は 0.5 度以内の誤差で角度を取得できるのに対し、ピッチ角度がついた場合には、最大で 3 度程度の誤差が出ることが分かった。また、提案した方位取得手法を歩行者自律航法システムへ適用することが可能であることも実験を通して確認した。今後の課題として、画像を変形させるための近似式の再考や姿勢情報を基とする射影変換手法の調査と検討、撮影した QR コードから端末の相対的な位置推定を行うことが挙げられる。また、実際に地面に配置する際に適切な QR コードのサイズや必要となる誤り訂正レベルの検討についても今後行っていく。これらの課題の解決を通して、利用者を正確にナビゲーション出来るシステムを構築し、最終的に視覚に障害を持つ利用者でも安全に目的地まで案内できるといえるナビゲーションシステムの開発を目指す。

参考文献

- [1] “用視覚障害者誘導用標示—JIS T9251” , <http://www.h-road-s.co.jp/service/texturedpavingblock/tpb07.html>, (参照 2020-12-01).
- [2] 中込瑞大, 齋藤彰吾, 森信一郎. 自律航法を用いた屋内ナビゲーションシステムの検討, 研究報告コンシューマ・デバイス & システム (CDS), 2019-CDS-26(15), 1-8 (2019-08-22), 2188-8604
- [3] 浅野 正義, 梶原 祐輔, 島川 博光. 電子タグを用いた単独歩行視覚障害者の誘導, FIT2015 (第 14 回情報科学技術フォーラム) RO-002
- [4] 吉田享子, 視覚障がい者のためのトイレナビゲーションシステムの実装と評価, 専修大学情報科学研究所所報(86), pp.13-18, 2016
- [5] 廣瀬 圭, 近藤亜希子, 特集③: 人間工学のための計測手法第 1 部: 動作計測 (2) —慣性センサによる動作計測—, 人間工学 Vol.50, No.4 ('14)
- [6] 煤孫光俊, 大瀧保明, 鈴木明宏, 佐川貢一, 石原正, 猪岡光. 移動形態と歩行速度を考慮した消費カロリーの無拘束推定, 計測自動制御学会東北支部第 202 回研究集会資料番号 202-11
- [7] “Pixel 3a の技術仕様を比較 - カメラ、電池、大きさ - Google ストア” . https://store.google.com/jp/product/pixel_3a_specs, (参照 2020-12-08)
- [8] “QR コードの概要” , https://www.denso-si.jp/dictionary/dic_qr/GeneralDescriptionoftheQRCode.pdf, (参照 2020-12-01)