

緯度経度に平行なボクセル立方体(クアッドキューブ)による 構造物表現で位置補正するソフトウェア技術の検討

～ 第1報 クアッドキューブ技術を検証するための自立制御移動ロボットの開発 ～

畑中 豊司(Hatanaka Toyoshi)、竹中章勝 (Takenaka Akimasa)、田中 武則(Tanaka Takenori)

@新潟ロボット協会(NiiRobo) (新潟エスラボ株式会社)

1.概要

屋外を自律制御移動するロボットが自己位置推定を行う方法の1つとして衛星による測距システム(以下、GPSという)がある。しかし、GPSは細かい精度を求めた場合に必ずしも有効な手段とは言えない。ビルなどの建造物の付近では、電波の反射や解析現象により実際とは異なる位置を指し示すことが一般に経験則として知られている。

自律制御式移動ロボットの自己位置推定を行う手法として、2次元レーザースキャナー(以下、LIDARという)を用いる場合は多い。しかし、このLIDARでは自位置からの相対位置を測距する為グローバルな緯度経度の位置はわからない。

筆者らの所属する新潟ロボット協会は、LIDARによる周辺構造物の情報から緯度経度の位置情報を付与した地球地図データベース(GMDB: Global Map Data Base)を作成し、GPS情報とLIDARの計測情報から精度の高い位置情報補正するソフトウェア技術を開発している。

また、この技術の実証実験のために"つくばチャレンジ"[1]にエントリーし、手動車椅子を電動化する「車椅子用電動ユニット(YAMAHA製)」をベース車両とし、メイン制御PCにRaspberry Pi(ラズベリーパイ財団による開発)を用いた自律制御移動ロボットを開発した。

本論文では、クアッドキューブ技術の紹介と、自律制御移動ロボットを用いて、"つくばチャレンジ2019"と大阪で開催された"中之島チャレンジ"[2]に参加した結果について報告する。

2.クアッドキューブ技術

クアッドキューブとは、緯度経度の度数を細分化し緯線

と経線に囲まれたボクセル(占有格子)四辺形を底辺とする高さ2mの立方体で移動体周辺の障害物を表現するソフトウェア技術である。

(1)緯度経度四辺形

緯度経度四辺形(LLQuad: Latitude Longitude Quadrilateral)とは、占有格子地図の縦横の線を緯線と経線に並行で囲み、その1辺の長さを100kmから1mmまでの9段階とする四辺形である。緯度経度四辺形の1辺長さの種類を表1に示す。

一般にボクセルといわれている表現であるが本技術の場合、必ず緯線・経線に平行である点が異なっている。

LLQuadの辺長	定義値	対応度数	辺長
LLQuad100km	Q0	1.00000000	100km
LLQuad10km	Q1	0.10000000	10km
LLQuad1km	Q2	0.01000000	1km
LLQuad100m	Q3	0.00100000	100m
LLQuad10m	Q4	0.00010000	10m
LLQuad1m	Q5	0.00001000	1m
LLQuad10cm	Q6	0.00000100	10cm
LLQuad1cm	Q7	0.00000010	1cm
LLQuad1mm	Q8	0.00000001	1mm

表1 緯度経度四辺形の9種類の1辺長さ

緯線の1度の長さは111kmであるが、経線の1度の長さは緯度により変化する。たとえば京都駅付近の東経135.7594度、北緯34.9876度の位置では約10m×10mの長さを正確に荒らすと11.1m×9.0mとなる。さらに緯度が高いアイスランドでは緯線1度の長さは4.87m、同じくアンカレッジでは5.37mとなる。

(2)地球地図データベース

地球地図データベース(GMDB:Global Map Data Base)は測域空間の情報を格納する地図である。地球トップ面(Q0)とは100kmの緯度経度の度数で区切る180×360のポインタ配列(緯度-90~90度、経度-180~180度)である。この地球トップ面に、縦横10分の1に細分化するポインタ配列を6階層連ねることで、細かい位置情報に近づけ(Q0からQ1->Q2->Q3->Q4->Q5->Q6)最終的にQ6の位置に10cm×10cmのクアドキューブ(GP構造体)を1つ管理する。

(3)LIDARの計測値をPN21で区切る

本実証実験で使用するロボットで使用するLIDARは、北陽電機社製UTM-40LX-EWを用いている。ただし、クワッドキューブ技術は特にメーカーや機種は依存しない。LIDARを1回転して得られる空間スキャンデータを1回の測域データといい、このLIDARの場合、1回の測域データは1080点の平面(2次元)データである。PN21とは、図1のように中心にLIDARを置き、そこを原点(0,0)とし、±10枚の正方形パネルに区切る。

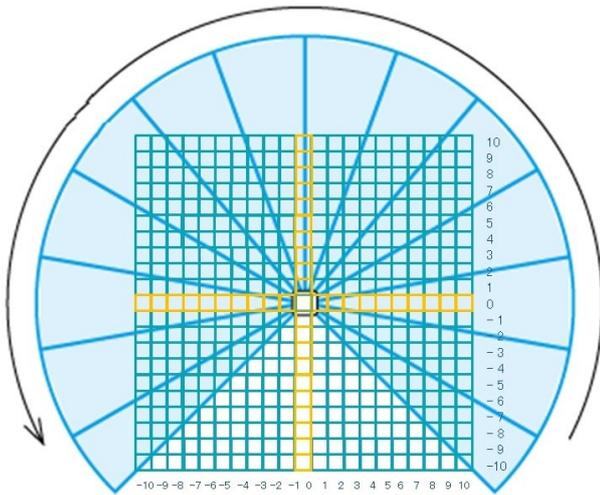


図1. PN21区切りのイメージ図

平面を区切るときに1辺の長さを10cm / 20cm / 50cm / 1m / 2m / 5m / 10mの長さとし、これをP7という。1回の測域データをP7で区切るとき、それぞれの格子内に一番初めに入ったレーザ・ビームの先端位置をGP構造体の緯度経度の値として管理する。このときの値は緯度経度1°の1億分の1のQ8(LLQuad1mm)で保持する。

なお、PN21の(0,0)にLIDARを設置するとき、進行方向の方位角(PN21のマス目の(0,10)の方向)を0°とする。右側の(10,-10)は135°、左側の(-10,-10)は-135°とする。

(4)GP構造体

GP構造体のGPとはグリーンポール(緑の棒)を意味で、内部のデータを1mm×1mm(Q8)で高さ2mのポール(棒)の情報で管理しているからである。これをGMDBの内部で管理する場合は10cm×10cm(Q6)の範囲に1つだけ管理する。仮想表示する場合はP7のいずれかで得られたものであるかの情報を保持しているため、高さは2mの立方体で底面積は10cm平方から10m平方の立方体で表現する。

(5)PN21の進行区切りと北区切り

PN21を用いて1回の測域データを区切るとき、進行方向に向いて区切る場合(以下、進行区切り)と北の方向に区切る場合(以下、北区切り)がある。

進行区切りは、進行した方向と移動した距離を計算するために用いる(SLAM計算: Simultaneous Localization And Mappingの計算)。

一方、北区切りは、地球地図データベース格納するGP構造体群を作成するときに用いる。

(6)全走行域の地球地図データベースの作成

地図データベースのデータ作成は、PN21を用い進行方向区切りの計算と北区切りの計算を直近の2回(移動前の位置と移動後の位置)の測域データを得られたときに都度行う。初期状態から1回目のGP構造体群のデータを格納したとき初期地図の作成という。この手順で順に移動しながら地図の範囲を広げ、全域のデータの格納を続けると最終的に全走行域の地球地図データベースが作成できる。

(7)地球地図データベースの位置検索

地球地図データベースの位置検索は、地球トップ面から4階層目(Q4)のポインタ群を複製し完了する。たとえば30m×30mの範囲の検索は所定の位置のQ4のポインタの3×3個分を複製するだけで完了する。

3.走行ロボット

新潟ロボット協会では、手動車椅子を電動化する「車椅子用電動ユニット（YAMAHA 製）」を用いて自立制御移動ロボットの開発をした。これは、図 2 のように市販の手動車椅子に後付けで「電動」の機能を付加する装置である。水色部分が市販の車椅子でカラー表示部分が車いす用電動ユニットである。このロボットを NR01A とした。

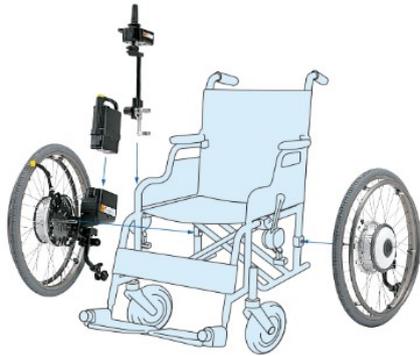


図 2.車椅子用電動ユニット

(YAMAHA の Webpage より引用)

(1)軽量の PC を使用

NR01A のホスト PC は Raspberry Pi 3 Model B+（以下、ラズパイという）である。これに USB ケーブル接続にて Arduino UNO と接続し、デジタルポテンショメータ（以下、DPM という）を経由して、車椅子用電動ユニットに進行・停止・回転の信号を送るという一連の制御系を当協会システム構築した。ホスト PC であるラズパイに LIDAR を LAN 接続し、(UTM-40LX-EW : 北陽電機製) 測域データを取得する。

(2)走行制御

車椅子用電動ユニットはジョイスティックで動作の制御を行う構造となっており、車椅子を手動操作した時に近い機敏かつ繊細な走行や動作が可能となっている。

自律制御走行時にはホスト PC であるラズパイから Arduino Uno ボード経由で DPM にデータを与えることで駆動輪の制御を行う構造とした。

(3)駆動輪に与える制御命令

車椅子用電動ユニットから駆動輪を動作させるソフトウェア命令は前後に進む動力系と左右の回転系の 2 つの

ポートにデジタルデータを与えることで実現できる。

動力系の前後方向の制御信号はコントロール用ポートに 0 から 255 までの数値で速度制御する。制御信号 128 がニュートラルとなり停止、127 から 0 方向へ減じる数値データを与えると後退し、128 から 255 方向へ増加させると前進し数値が増すごとに加速する。時速 3.9km/h にするために、192 の値までを与える制御とした。

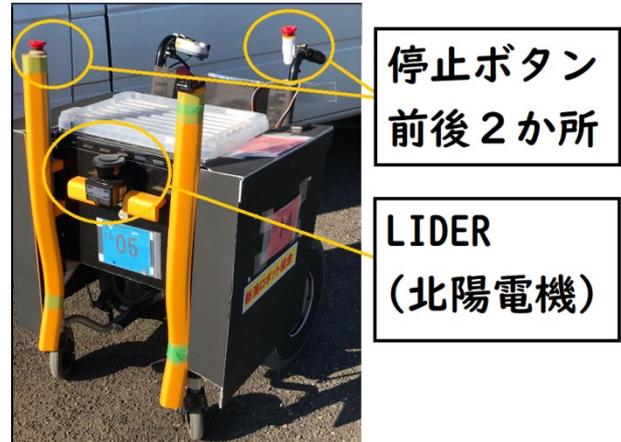


図 3.NR01A（前方から）

回転系制御信号は同様にポートに 0 から 255 までの数値を与えることができ、128 はニュートラルで前方への直進である。0 は左方向、255 は右方向に回転する。

今回は後方に LIDAR を設けないが車椅子は自位置で回転できるので問題ない。

(4)NR01A の諸元

NR01A の諸元を次の表 2 に示す。

全長	0.75m
全幅	0.65m
重量	50kg
走行速度	3.9km/h
非常停止スイッチ	2 か所（バッテリー遮断）
非常停止後	手動で移動
リモコン操作	有線操作
巻き込み防止	本体と車輪にカバー装着
LIDAR	UTM-40LX-EW(北陽電機) 使用個数 1 個（前進のみ）
ホスト PC	Raspberry Pi 3 Model B+
サブボード	Arduino UNO

表 2.NR01A の諸元

4. つくばチャレンジでの走行成績

(1)DPM の焼損（本走行 3 日前）

本走行の 3 日前の 11 月 7 日、新潟での動作実験中に、DPM が焼け焦げた。DPM の一部が黒く変色し自動走行では稼働できなくなった。また「車椅子用電動ユニット」に付属する制御ボードも焼け焦げて破損した。いずれの部品も 3 日後の本走行までには入手が不可能な為、自動走行はできずに走行記録が 0m となることが確定した。

原因は、ラズパイと Arduino の電源を DPM から直接とったため DPM の電圧の供給に過負荷がかかった為と推察している。

(2)本走行当日の安全チェックと本走行

新潟ロボット協会の NR01A は、本走行前のオフィシャル安全チェックで手動操作による前進と停止ボタン 2 か所による停止ができたので 11 時ごろに安全チェックをパスすることができた。その後スタートまでに DPM の修復を試みたが自動走行機能は回復できなかった。本走行では 13:42 のスタートとなったが 1 分間を経過しても、スタートの白線を越えることはできず失格となり記録は 0m となった。

(3)中之島チャレンジエクストラに向けて

2019 年 12 月 7 日と 8 日に大阪で行われた中之島チャレンジ（エクストラ）にエントリーし、NR01A は、再び走行にチャレンジした。この日までに焼損した DPM ボードの代替品を入手し車椅子用電動ユニットの中古品を入手し DPM ボードと電動ユニットの制御パーツを交換し再び動作可能となるように準備した。中古の別途入手した椅子用電動ユニットは代替機とした。

(4)中之島チャレンジエクストラ

本走行前日の実験走行日に直進動作をし、20m の走行ができることを確認した。その夜に右に回転させてさらに制御できるように改造を加え、曲がった後に少し直進してから停止するようにした。12 月 8 日の本走行では 1 回目の走行時に右に回る動作ができ、18m を記録した。2 回目の本走行では、前進でき距離が伸ばせるのでその改造をさらに加えた。結果、33m を記録した。

5. 経験のまとめ

つくばチャレンジ（エントリーナンバー1905）と中之島チャレンジ（同 1914）で出走することができ、経験からの得られたものは多い。

(1)ハードウェアのトラブル

ラズパイと Arduino のボードを DPM からの同時に電源を取ると、焼損してしまうことがわかった。また別の電源からの供給をすると正常に動作することがわかった。

(2)車椅子用電動ユニットの活用

車椅子用電動ユニットでラズパイと Arduino と DPM を接続して自動制御できるようにすると、直進後 1 回右に回り、さらに直進することで、走行距離 33m を越える自動走行ロボットを制作し動作させることができた。

車椅子用電動ユニットを採用して有益だった点は、直進性がすぐれていることである。また、6 年程使用された中古品がネットオークションで容易に入手できるので、1 台目は 8 万円、2 台目は 2 万円以内で入手でき、通常使用後の再利用で少々傷んでいても問題はなく、コストパフォーマンスが高かった。

6. 次年度に向けて

新潟ロボット協会では、車椅子用電動ユニットを用いて、ラズパイと Arduino のボードで自動走行ロボットを開発できた。

今年の走行結果は不十分なものであったが、ロボットのハードウェアの基本構成は完成された状態となったので来年のつくばチャレンジと中之島チャレンジへの準備として、次にあげる観点の準備を行いたい。

(1)自動走行制御課題

ホスト PC がラズパイであっても制御能力的に十分であることを来年の実証実験で明らかにしたい。

本ソフトウェアは、点群データをクラウドキューブという立方体のデータに置き換えるため、大幅にデータ量は低減できると考える。今回の実験走行期間には、LIDAR を使って空間計測した情報から地球地図データベースを作

成することを実証しようとしているが、データの計測が間に合わなかったため、来年のつくばチャレンジでは、内部地図をホスト PC 内で保持できるように早急に準備して対応できるようにしたい。

GPS と組み合わせて地球地図データベースの検索と、LIDAR からの PN21 データの照合により、精度の高い位置補正ができると考えられる。この補正ができることの実験結果は、来年に実施となる。

(2)GPS 情報の補正技術の検証

GPS と地球地図データベースを連携させ、GPS から得られた位置情報が、補正できるものか、確認することを計画する。

本ソフトウェア技術では、1 回の測域データを PN21 に分解するが、各パラメータたとえば P7 というのは推測の範囲で設けた分解基準である。現実利用の場面において実用的なものとなるかは、各パラメータの適正値の範囲などをこれからの実験により明らかにしたい。

(3)位置情報のモニタリング課題

新潟ロボット協会では、位置情報のモニタリングを 2020 年にシステムを構築し実証実験をする予定である。

これは、つくばチャレンジにおいては 2 つの LPWA の無線通信基地局を設け、つくばチャレンジを行うロボット（一部のチーム：長距離移動体）に協力を願って、新潟ロボット協会が準備する 10 台程度の GPS による位置情報発信機を手持ちしてもらって位置情報が無線通信基地局に集め、その集めた各ロボットの位置情報を携帯型の Wi-Fi 通信機を用いてインターネット回線を通じてクラウドに送信する。本部のモニタリングモニターや、ロボットの位置情報を知りたいユーザは、QR コードで提示された URL をブラウザで閲覧することで、リモート走行中の移動体の位置がリアルタイムに表示できるようにする。

株式会社データ変換研究所で 2014 年から 2018 年まで行っていた携帯アプリを使った位置情報提供も、前述システムに併用できるようにし全てのチームが携帯アプリでできるようにする。

(4)最後に

社会人チームと学生チームの大きな違いは、社会人チー

ムには卒業というタイムリミットがないので、参加する気になれば、同一メンバ・同一ロボットで、何度でも再挑戦ができることである。この社会人の強みを生かし、「つくばチャレンジ 2020」「中之島チャレンジ 2020」に向けてこの 12 月から取り掛かり今年のレベルを来年は超えていきたい。

最後に、本ロボットの製作にあたり LIDAR を貸与していただいた北陽電気株式会社様はこの場をお借りして謝意を申し上げる。

7. 参考文献

[1] つくばチャレンジ(2019 年 12 月 9 日確認):

<https://tsukubachallenge.jp/>

[2] 中之島チャレンジ(2019 年 12 月 9 日確認):

<http://www.proassist.co.jp/nknschallenge>.

[3] 後藤他: “LIDAR ベースの確率的な位置推定における GNSS 情報を用いたリセット手法の提案”, SICE SI, pp. 3239-3242, 2017.

[4] 猪熊他: “つくばチャレンジ 2017 におけるチームさくらの取り組み”, つくばチャレンジ参加レポート集, pp. 92-95, 2017.