

ランドマークを利用した装着型ロボットアームの開発 —操作者の移動を制限しない制御方法—

M2019SC007 森本広也

指導教員：大石秦章

1 はじめに

ロボットは主に工場の中で、危険が伴う作業や単純な作業を人の代わりに行うことで安全性や生産性の向上に貢献してきた。現在では、ロボットに人の支援や補助を行わせる研究が行われている。その中でロボットアームを新たな腕として人の体に装着し、人間の体の限界をロボットで補う事をを目的とした身体拡張の研究が行われている。このような装着型ロボットアームは、両手がふさがった状態でのドアの開閉(図1)や、天井板の取り付け支援(図2)などに活用できると期待される。

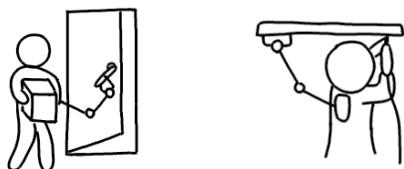


図1 ドアの開閉 図2 天井板の取り付け

文献 [1] の研究では、モーションキャプチャで足の動きを計測し、装着型ロボットアームを制御している。しかし、モーションキャプチャを用いると、操作者本人の行動範囲がカメラの撮影範囲に制限される問題がある。そこで、本研究ではモーションキャプチャを使わず、操作者の移動を許すような方法でコントローラの位置を計測し、その結果に基づいてロボットアームを新たな腕として自在に動かす方法を提案する。この方法により、操作者が自由に動けるような装着型ロボットアームが可能になると考える。

2 システム

2.1 概要

本研究は、画像認識カメラと慣性センサを併用し、計測を操作者の身体上で完結することで、モーションキャプチャを用いずに装着型ロボットアームを制御する方法を提案する。ただし、今回は簡単に示すために、ロボットアームの動作や動作の指示は2次元で行う事にする。このシステムの全体の流れを図3に示す。

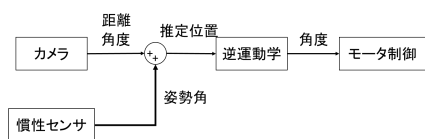


図3 全体の流れ

システムはランドマーク法を利用して、目印とコントローラの位置関係を読み取り、ロボットアームを動かす構造になっている。ロボットアームは体に装着できる軽量な多関節ロボットであり、コントローラは土台にカメラと慣性センサを固定させ、手首に装着できるようにした物である。カメラは、土台に対して回転を行い、対象物(今回は、操作者の胴体に付けた目印)の方向に向くため、カメラの土台に対して対象物までの角度を計算する。またカメラ画像中の認識した対象物の大きさに基づいて対象物までの距離を計算する。慣性センサは腕の回転により生じた角速度を積分することで、コントローラの土台の姿勢角を計算する。このコントローラが得る計測情報を制御機器に送信して、操作者に付けたコントローラが目印に対する相対的な位置を推定する。この推定位置をロボットアームの先端位置として定め、逆運動学を使って各サーボモータの制御を行う。操作者がセンサを備えたコントローラを手首に付けて腕を動かすと、装着するロボットアームが自分の新たな腕のように動くことを目標とする。

2.2 構成要素

本研究で使用する機材は、次のとおりである。

身体に装着できるロボットアーム(図4)を製作した。このロボットアームは図5に示すような3自由度の多関節ロボットとなっている。各リンクを L_1 , L_2 とし、各サーボモータを M_1 , M_2 , M_3 で示す。今回はロボットアームを2リンクのアームとしてみなして考え、ロボットが動作する2次元平面内に x 軸と y 軸をとる。 M_1 の角度は不変とし、 M_2 の角度 θ_1 と、 M_3 の角度 θ_2 のみを可変とする。

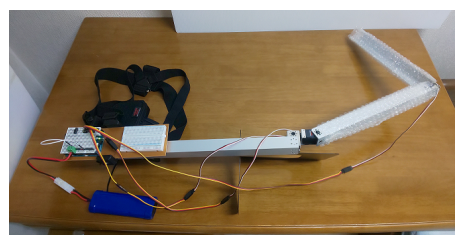


図4 装着型ロボットアーム

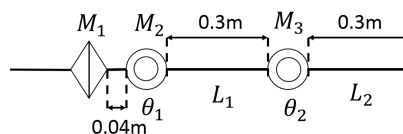


図5 ロボットアームの構造図

手首に付けたコントローラの位置の計測には、色を認識するカメラ Pixy2 (図 6) とジャイロセンサや地磁気センサなどが一つにまとまった Witmotion 社製の慣性センサ (図 7) を用いる。Pixy2 は計測対象の色を判別し、常に撮影対象の方向へ向くことができる。その際、カメラが土台に対して、ピッチ方向およびヨー方向にの周りにどの程度回転したかを -90 度から 90 度まで計測することができる。またカメラの画像中の対象物の大きさを測定し、この情報から対象物までの距離を計算できる。慣性センサは、角速度を測定し、これらを積分することで、センサ自身の現在の姿勢角を推定することができる。



図 6 Pixy2

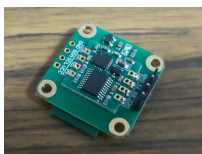


図 7 慣性センサ

制御機器には、Arduino (図 8) を用いる。Arduino は、専用の開発環境 IDE が用意されており、プログラムを構築するだけで、すぐに使用できる。カメラや慣性センサの情報を計算し、位置推定を行うことや、ロボットアームの各サーボモータの制御を行うことに用いる。

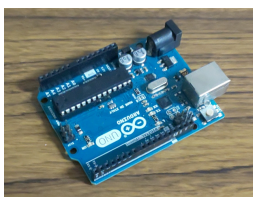


図 8 Arduino

3 位置推定

位置推定にはランドマーク法を用いる。ランドマーク法とは、環境に色や特徴を持った目印とするランドマークを配置し、ステレオカメラなどを用いて目印との距離を求め、自分がどこにいるのか場所を推定する方法である。主にロボットやドローンが自分の位置を把握するために用いられる。本研究では、図 9 のようにコントローラを操作者の手首に、ランドマークとする四方 4cm の赤色紙の目印を操作者の胴体に取り付ける方法で計測する。

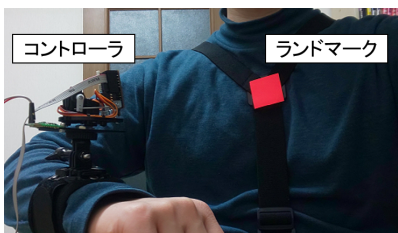


図 9 コントローラとランドマーク

2次元平面中に操作者の胴体に固定した x 軸, y 軸の絶対座標を図 10 のように定義する。続いて相対座標系として、コントローラ上にある X_b 軸, Y_b 軸のカメラ土台座標系とその上で回転する X_c 軸, Y_c 軸のカメラ座標系を図 10 右のように定義する。コントローラは操作者の手首に付いているので、カメラの土台には腕の回転によってヨー軸まわりの回転が発生する。この腕による土台座標系のヨー角を慣性センサを用いて、 ϕ_b として計測する。カメラが目印に方向を向ける際に発生するカメラ座標系の土台に対するヨー角は ϕ_c として計測する。

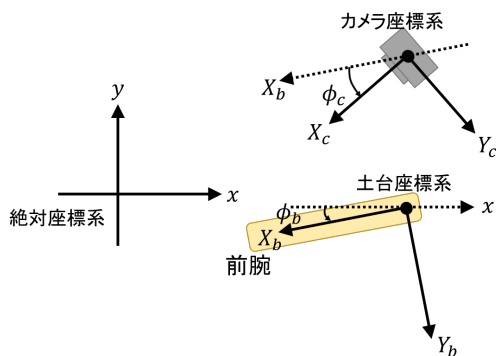


図 10 計測に関する座標系

計測を行う際に、図 11 のように絶対座標系上の原点に目印があるとし、任意の座標にコントローラを配置する。二次元平面上では、コントローラの座標にカメラ座標系とカメラ土台座標系が重なっている。まず慣性センサで腕の動きによって回転したカメラ土台のヨー角 ϕ_b を計測する。次にカメラ座標系にて、カメラの位置から目印までの距離 d 、土台に対して目印までのなす角の ϕ_c を計測する。上記で得られた慣性センサとカメラのヨー角 ϕ_b, ϕ_c と距離 d から、絶対座標系上のコントローラの位置 x, y の座標を次のような式で計算する。

$$\begin{aligned} x &= d \cos(\phi_c + \phi_b) \\ y &= d \sin(\phi_c + \phi_b). \end{aligned}$$

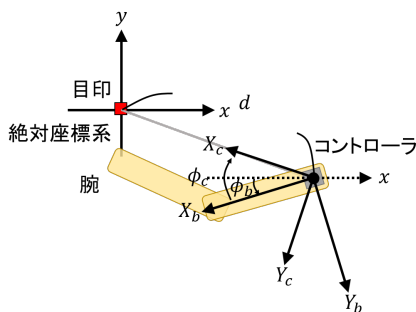


図 11 計測を行った場合の例

この式から得られる x, y の値を逆運動学に用いて関節角を求め、ロボットアームの先端位置を移動させる。

4 逆運動学

ロボットアームを制御するために、リンク構造に基づいた逆運動学を利用する。今回は二次元平面内の動きで考えるので、次のような2リンク構造を持ったアームモデルを示す。

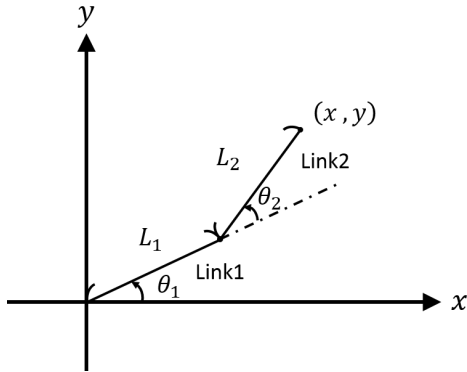


図12 x, y 軸上の2リンクアームモデル

アームモデルの Link1, Link2 の長さを L_1, L_2 とし、関節角は θ_1, θ_2 とする。ここで先端位置を (x, y) とする時、対応する関節角度 θ_1, θ_2 は次の式で求めることができる：

$$\theta_1 = -\arccos \frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1\sqrt{x^2 + y^2}} + \arctan \frac{y}{x},$$

$$\theta_2 = \arctan \frac{y - L_1 \sin \theta_1}{x - L_1 \cos \theta_1} - \theta_1.$$

この逆運動学の式を使うと、ロボットアームの先端が指定された位置に移動するためには、各関節の角度がいくつになればよいかを計算できる。したがって、センサ情報で手首に取り付けたコントローラの位置を正確に推定できれば、腕の動きに合わせたロボットアームの動作制御が可能になる。また、逆運動学の式には2つの解が得られるが、人の腕の構造に合わせた関節角が得られる解にする。

5 計測実験

実際に装着型ロボットアームを動かす前に、コントローラの計測性能の評価を行う。2通りの実験を行い、ロボットアームの制御に使用する時に推定位置が正確に動くかどうかを検証する。

5.1 実験：推定位置の評価

この実験では、コントローラを体に装着せずに、机の上に置く。評価実験用の紙を敷き、その上に図13のようにコントローラとランドマークとする目印を配置する。紙には10cm四方の正方形が書かれている。この実験から、コントローラの推定位置による軌跡が10cm四方の正方形の形になるかどうかで評価を行う。

まず初めにコントローラを回転させずにカメラから目印までのなす角と距離を計測し、正方形の線をなぞるように動かす。この方法ではカメラのみの計測で得られるグラフ

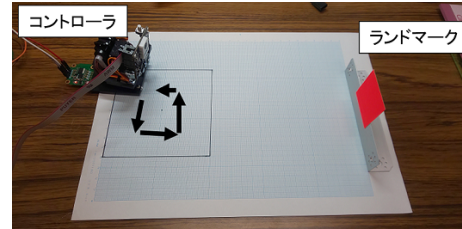


図13 コントローラ評価実験

の軌跡がなぞった正方形になるか評価する。この計測結果を図14に示す。青色の軌跡は問題なく動作したもので、紫色の軌跡は大きく誤差が発生したものである。この結果から、軌跡は正方形の線に沿って動いており、誤差が生じた場合でも大きくて0.1m未満であることが確認できる。また、推定位置が開始位置にもどっていることも確認できるので、位置推定できていることが考えられる。

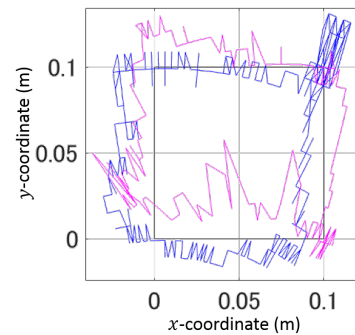


図14 コントローラを回転させない場合

次はカメラから目印までのなす角と距離を計測しつつ、コントローラを正方形の頂点間の移動の度にコントローラを90度回転させて、正方形の線をなぞるように動かす。この方法ではカメラに加えて慣性センサの計測から得られるグラフの軌跡がなぞった正方形になるか評価する。この計測結果を図15に示す。この結果から、カメラ計測のみと比べて精度は落ちているが、最大誤差は0.1m未満を保っており、推定位置が開始位置に戻っていることが確認できるので、位置推定できていることが考えられる。

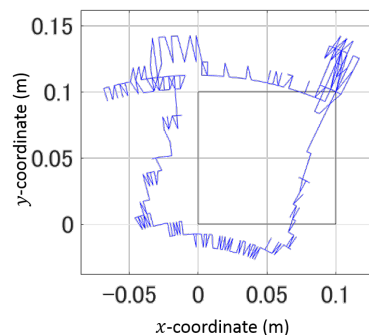


図15 コントローラを回転させる場合

5.2 実験：推定位置への影響

この実験では、コントローラを装着した操作者が移動を行うときのカメラと慣性センサの動作を確認する。操作者は手首を胴体に対して固定した状態で左右に 1.0m の幅で往復する。ロボットアームを自身の腕のように動かすには、操作者の移動が計測結果に影響を与えない必要がある。そのためこの実験で得られるグラフは、操作者の移動とは無関係に固定した位置を示すことが望まれる。この結果を図 16 に示す。

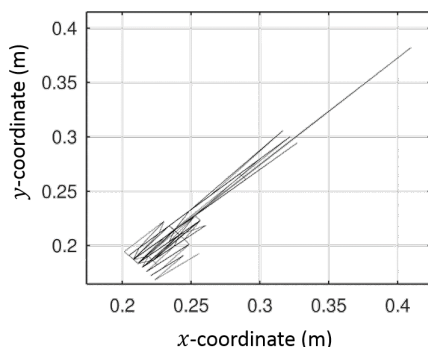


図 16 歩行検証結果

この結果のグラフからは、多くの場合、推定位置は固定位置を示している。誤差が発生する時に推定位置が大きくずれてしまっているが、すぐに固定位置に戻っているため影響は少ないものであると考える。グラフの結果に発生した誤差については、操作者が移動を行うと目印の映り方などの環境状態も変化することになり、カメラが目印を正確に読み取れなかったことによって起きたと考えられる。

6 まとめ

本研究では装着型ロボットアームを製作し、ランドマーク法に基づく制御を考えた。コントローラの位置測定に関する評価実験を行い、0.1m 未満の精度で位置推定できていることを示した。しかし、位置推定の軌跡には、雑音が含まれているため、そのまま制御に利用しようとすると、ロボットアームの先端位置が細かく振動することが考えられる。この状態では物を運ぶ際に、割れたり、こぼしたりする状況が想定され、実際の使用に適した状態ではないと考えられる。これを今回の課題として、得られる軌跡の雑音を減らす方法について考えていく必要がある。また、今後の発展として、 x , y , z 軸の三次元空間での位置推定の制御則を組むこと、新たに身体座標系を定義し操作者の体の回転に対応した制御を考えること、制御に用いる腕が操作に拘束されている状態では新たな腕として機能させたとは言えないのでコントローラの制御状態と自由状態に切り替える方法を考えることなどが挙げられる。

参考文献

- [1] M.H.D.Y. Saraiji, T. Sasaki, K. Kunze, K. Minamizawa, M. Inami: “MetaArms: Body Remapping Using Feet-Controlled Artificial Arms” .*UIST2018 - Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Berlin, Germany, pp. 65–74, October 2018.
- [2] 八塚崇之・井上善雄・芝田京子・田村光: 「慣性センサを用いた移動物体の移動推定技術に関する研究」, 中国四国支部総会講演会講演論文集 (2014), vol. 52.
- [3] 坂口貴司・金森務・片寄晴弘・佐藤宏介・井口征士: 「加速度センサとジャイロセンサを用いた屈曲動作計測」, 計測自動制御学会論文集 (1997), vol. 33, no. 6, pp. 455–460.
- [4] 伊藤彰人・辻内伸好・堀尾健児・宮川裕基・北野敬祐: 「慣性センサを用いた手先位置姿勢推定とロボット教示システムへの適用」, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 (2017), 1P1-L09, 2017.
- [5] 竹内一雅・大田順・池田和生・相生康道・新井民夫: 「人工ランドマークを用いた移動ロボットのナビゲーション」, 日本機械学会論文集, vol. 66, no. 647, pp. 2239–2246, 2000.
- [6] 松元明弘・横田和隆: 『図解ロボット技術入門シリーズ ロボットメカニクス—構造と機械要素・機構—』, オーム社.