

アーム型ロボットにおける可動範囲に関する一考察

About the range of movement for the arm typed robot.

加藤 大登¹ 鈴木 勇貴¹ 植村 渉^{1*}

¹ 龍谷大学
¹ Ryukoku University

Abstract: 第四次産業革命 (Industrie 4.0) では、工場のオートメーション化が注目されており、柔軟な生産体系が求められる。本研究では、そのような場における、自動搬送ロボット (Automatic Guided Vehicle:AGV) に注目する。従来、AGV が物を取ったり置いたりする時は、その作業対象の前に移動して、静止してから作業を行っていた。しかし、効率化を考えると、作業できる領域に入った段階で作業を開始した方が望ましく、また、他の移動ロボットや人間等の近接を考えると、作業中に移動できた方が望ましい。そこで、本研究では、ロボットアームを搭載した移動式ロボットが、作業をしながら数 cm 程度の移動を行う場合を目標とする。その際に、ロボットの移動を考慮してロボットの先端座標を扱うことで、ロボットがどのように移動しても安定して物体を扱うことができる。本研究では、そのような動きをするために、ロボットの先端座標を固定したときの状況を検討する。

1 はじめに

第四次産業革命 (Industrie 4.0) として、工場のオートメーション化が注目されている。そこでは、大量生産を目的とする今までの工場と異なり、変種変量生産が求められている。自動化の究極は、段取り替えなしで、一品物を次々と作るラインが目標となる [1]。

そのようなラインでは、ロボットアームによる柔軟な組み立て作業が必要となり、その加工機器に対して効率よく部品を提供したり、できあがった加工品を適切に搬送することが必要となる。前者は、World Robot Summit [2] のものづくり分野 [3] として世界大会の開催を予定しており、後者は、RoboCup[4] Logistics League[5] として世界大会が開催されている。本研究では、自動搬送ロボット (Automatic Guided Vehicle:AGV) に注目する。従来、AGV が物を取ったり置いたりする時は、その作業対象の前に移動して、静止してから作業を行っていた。しかし、効率化を考えると、作業できる領域に入った段階で作業を開始した方が望ましく、また、他の移動ロボットや人間等の近接を考えると、作業中に移動できた方が望ましい。そこで、本研究では、ロボットアームを搭載した移動式ロボットが、作業をしながら数 cm 程度の移動を行う場合を検討する。その際に、ロボットの移動を考慮してロボットの先端座標を扱うことで、ロボットがどのように移動しても安定して物体を扱うことができる。本研究では、そのようなアームの制御を行うために、まずはアームの先端を固定し

た時に土台のロボットが移動できる範囲を検討する。

2 移動式ロボットとロボットアーム

本章では、本研究で扱う移動式ロボット Robotino と、ロボットアーム Cobotta について紹介する。

2.1 移動式ロボット: Robotino

RoboCup Logistics League では、ドイツの FESTO 社製の全方位移動型ロボットである Robotino をチーム標準のロボットとして用いている。このロボットには、オムニホイールが 3 個ついており、そのモーターを制御することでどの方位にも進むことが可能である。実際にプログラムする際は、各プログラミング言語からハードウェアを制御する API を呼び出す。各モーターの回転速度を指示する形だけでなく、ロボットの座標系に対する速度を指定することで各モーターの回転速度を計算する関数も用意されている。図 1 に弊研究室のチーム (BabyTigers-R) が 2019 年の世界大会で用いた Robotino を示す。ロボット下部の駆動部分は、各チーム共通であるが、CPU の入っているヘッド部から上の部分は、チーム独自のものとなっている。Robotino には、モーターが 3 個ついており、それぞれの速度 $v_n(t)$ ($n = 1, 2, 3$) は式 1 による PID 制御を行っている [6]。

$$u_n(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_N} \int_0^t e(t') dt' \right) + K_d \dot{e}(t) \quad (1)$$

*連絡先: 龍谷大学理工学部電子情報学科
〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5
E-mail: wataru@rins.ryukoku.ac.jp



図 1: BabyTigers-R の 2019 年度 RoboCup 世界大会にて用いた移動式ロボット

ここで, $u_n(t)$ は操作量, K_p は PID 制御の比例項 p , K_i を積分項とし $K_i = 1/T_N$ とする. そして, K_d は微分項である. Robotino では, $k_p = k_i = k_d = 25$ を利用し, 式 2 の値を用いている.

$$K_p = k_p/2, K_i = k_i/1024, K_d = k_d/2 \quad (2)$$

図 2 に, Robotino の座標の計算方法を示す.

2.2 多関節アーム型ロボット: Cobotta

Cobotta は, デンソーウエーブ社製のアーム型ロボットである. 工業用ロボットと仕組みは同じであるが, サイズが小さく, 重さも 4.5kg と軽量である. アームの制御方法として, 直接アームを動かしてモータ角を覚えさせるダイレクトティーチングが手軽にできるアームである. RoboCup Logistics League では, 加工機器に材料であるワークを提供したり, 加工されたワークを受け取る際にグリッパーやハンドが必要となる. グリッパーやハンドに対する制約はなく, それを含むロボット全体のサイズに対する制約を満たせば競技に出ることができる.

2019 年の BabyTigers-R は, 専用の把持装置を作成せず, RT-SHOP 社製の CRANE+[7] を利用している.

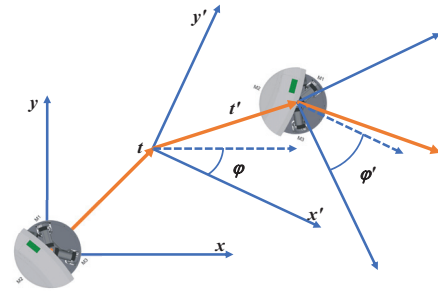


図 2: Robotino の座標の計算方法 (Odometry)

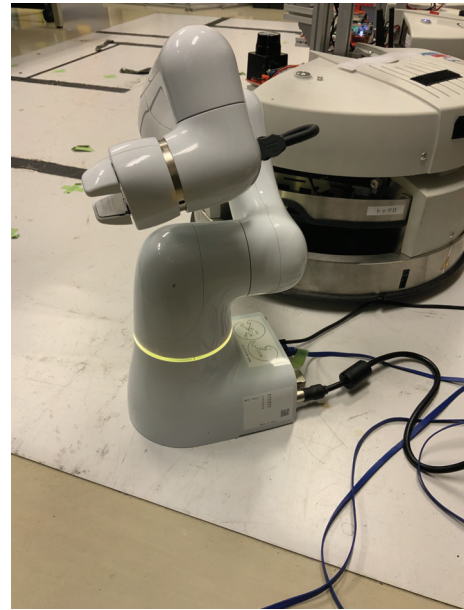


図 3: 6 自由度を持つ小型アーム型ロボット Cobotta

2020 年の大会に対しては, Cobotta の利用を検討している. CRANE+は, モーターが 5 つあり, ハンド部のモーターを除くと自由度は 4 である. 一方, Cobotta はハンド部を除くと自由度は 6 であり, CRANE+よりも複雑な動きが可能となるが, 同一先端座標に対する各モーターの角度の組が一意に定まらず, 制御が複雑になる.

図 3 に Cobotta の全容を示す. また, 表 1 に各モーターの設定可動範囲を示す. ソフトウェアとしての設定可能値と, Soft Axis Limiting (SAL) の値である. ただし, 組み合わせによっては物理的に設定できない角度も含まれる. SAL は, 値を超えるとモーターの電源を OFF にする機能である.

3 先端座標の計算

本章では, グリッパーの制御方法について検討する. 各モーターの値から, グリッパーの先端座標 (x, y) を計

表 1: cobotta の各モータ角のソフトウェアリミットと SAL の角度制限値 [deg]

項目	ソフトウェアリミット		SAL の角度制限値の範囲	
	-方向	+方向	最小値	最大値
J1	-150	150	-160	160
J2	-60	100	-70	110
J3	18	140	8	150
J4	170	170	-180	180
J5	-95	135	-105	145
J6	-170	170	-180	180

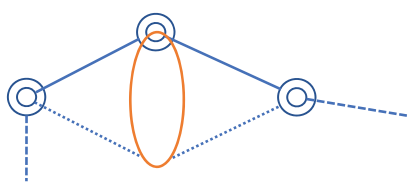


図 4: 3 自由度のアームにおける 2 軸目の可動範囲

算する方法を運動学と言い、一つずつ順番に計算すれば求まる。アームの根元を基準座標 (x_1, y_1) とし、そこから各モータの角度 ϕ_i とモータ間の長さ l_i を基に、次の関節点の座標 (x_{i+1}, y_{i+1}) を計算する ($1 \leq i < n$: n はモータの数)。

一方、アームの先端座標から各モータの角度を計算する方法は逆運動学と言い、自由度が高いアームの場合、複数の解が存在する場合が生じるため、そこから一つを選ぶ仕組みが必要である。図 4 に 3 軸アームの両端を固定した場合を示す。先端座標が、両方のアームを伸ばした状態である場合は、各モータの角度は一意に決まる。しかし、そうでない場合は、2 軸目の関節は、図のように円上のいずれの点でも存在でき、円運動することができる。

ここで、アームを固定している土台が動く場合を考える。このとき、先ほどとは逆の状況になる。つまり、従来は土台が固定されていて先端のアームの軌跡を計算するのに対して、ここでは先端のアームを固定して土台の固定点が軌跡を描くことになる。そのため、計算の対象となるモータの順番を逆に行うことで、アームの先端を空間に固定したまま土台部分の移動が可能になる。ただし、土台の部分はロボットに固定されているため、 z 軸方向を向いている条件が必要となる。



図 5: Cobotta のアームの構成

4 可動範囲の確認と比較

各モータの可動範囲と長さを基に、土台部分を固定したときの先端部分の可動範囲と先端部分を固定したときの土台部分の可動範囲を調べた。図 5 が、cobotta のアームを真上に伸ばしたときの状態で、それぞれの関節部を示す。なお、今回は簡単のため、真横から見た可動範囲を検討する。そのため、土台部分のモータの回転は考慮していない。

先端部分の可動範囲は、図 6 となった。先端部分の可動範囲に関しては、デンソーウェーブの仕様書にも同様の図があり、それとの一致も確認している。一方、先端部分を固定したときの土台部分の可動範囲は、図 7 となった。先端部分稼働の場合と比べ、土台部分の軸が z 軸を向いているという条件があるため、先端部分稼働の場合よりも面積が狭い。また、実際に利用する場合には、土台部分が上下に動くことは困難であるため、この図の y 軸方向の直線上を移動するのみとなる。そのため、可動幅が長い部分に合わせて、ロボットの高さを設定した方が良いことが分かる。例えば、最初の J1 のリンクの位置 (y 軸の値が最小値となる部分) に対して、 z 軸方向に約 8cm 分の幅があるため、4cm ぐらい高い場所に設置するのが望ましいことになる。つまり、アームの上端に対して、真下 48cm ほどの部分に土台が来ようようにロボットに搭載すれば、先端部分を固定した時に動く範囲を広く取ることができると考えられる。

5 まとめ

第四次産業革命 (Industrie 4.0) では、工場のオートメーション化が注目されており、柔軟な生産体系が求められる。本研究では、そのような場における、加工用アーム型ロボットを搭載した移動式ロボットに注目した。通常のアーム型ロボットの制御は、アームの先端座標を指定することで行うが、本研究では、アームの先端座標を空間に固定し、それを載せている移動式

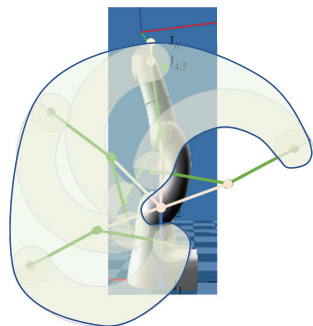


図 6: 土台を固定したときの先端部分の可動範囲

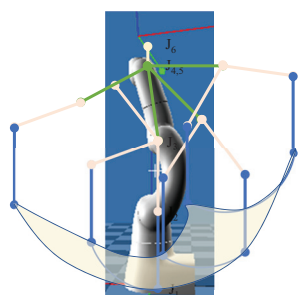


図 7: 先端部分を固定したときの土台の可動範囲

ロボットを動かすことを目指した．特に，従来のアーム型ロボットはアームの先端の可動範囲が性能を決める重要な項目であったが，土台側の可動範囲は考慮されていなかった．本研究にて，土台の可動範囲は，先端の可動範囲と異なり，狭い範囲であることが分かった．今回は土台部分の可動範囲のみを調べたが，範囲内の各点に対する評価は行っていない．今後の課題として，可動範囲内の各点に対して，逆運動学で求まる解の数を元に，可動範囲内の稼働しやすい部分とにくい部分を明確にする必要がある．

謝辞

本研究成果は，科学技術振興機構事業研究成果最適展開支援プログラム A-STEP 機能検証フェーズの支援を受けた．また，人協働ロボットとして株式会社デンソーウェーブより Cobotta をお借りして研究を行った．

参考文献

- [1] The Industrial Robotics Competition Committee, “Industrial Robotics Category - Assembly Challenge - Rules and Regulations 2018”, https://worldrobotssummit.org/download/rulebook-en/rulebook-Assembly_Challenge.pdf (閲覧日，2019年07月31日)
- [2] World Robot Summit, <https://worldrobotssummit.org/> (閲覧日，2019年07月31日)
- [3] World Robot Summit - Industrial assembly challenge, <https://worldrobotssummit.org/wrs2020/challenge/industrial/assembly.html> (閲覧日，2019年07月31日)
- [4] RoboCup Federation, <https://www.robocup.org/> (閲覧日，2019年07月31日)
- [5] RoboCup Logistics League (RCLL), <https://ll.robocup.org/home/> (閲覧日，2019年07月31日)
- [6] Festo, “Robotino View Help”, <http://doc.openrobotino.org/download/RobotinoView/en/index.html>, http://doc.openrobotino.org/download/RobotinoView/en/robotino_motor_dialog.htm, http://doc.openrobotino.org/download/RobotinoView/en/robotino_odometry.htm (閲覧日，2019年07月31日)
- [7] RT ROBOT SHOP, “ロボットアーム CRANE+ V2 完成品”, JANコード：4582221098197, https://www.rt-shop.jp/index.php?main_page=product_info&cPath=1324&products_id=3626 (閲覧日，2019年07月31日)