

影生成ロボット DeSCaRo の DP アルゴリズムによる改善

—DP アルゴリズムと回転構造で影生成ロボットを制御する—

Improvement of The Shadow-Generating Robot DeSCaRo by DP Algorithm

-Controlling the Shadow-Generating Robot with DP Algorithm and Rotation Structure-

○ XIE Runkang (立命館大) 李 周浩 (立命館大)

XIE Runkang, is0599pv@ed.ritsumei.ac.jp

Joo-Ho Lee, leejooho@is.ritsumei.ac.jp

Ritsumeikan University

Using rotating structure instead of the common straight cross-connected structure to alleviate the excessive torque problem due to gravity and vibration. Using the DP algorithm to automatically get the machine position data in 3D space from the input 2D image. With the position data control the robot to make a shadow consistent with the image.

Key Words: Robot, Dynamic Programming, Image Processing

1 はじめに

人間は、光の中で手を使ってさまざまな仕草をすることで、面白い影像を作り出すことができる。出来上がったシャドウは、芸術的に価値がある。このような姿勢を作って芸術的な影を作ることを模倣するために設計されたのが、影生成ロボット DeSCaRo である。しかし、過去の実験 [1][2][3] では、解決すべき問題が多くあった。本研究はこれらの問題を解決ように、さらに DeSCaRo の効率を上げた。

1.1 機械構造によるトルク過大問題

文献 [1] では、DeSCaRo を普通の直交連続方式でモータを相互接続した。この接続方式は以下の図 1 に示すように、モータのジョイント回転軸がリンクに直交してロボットを構造する。

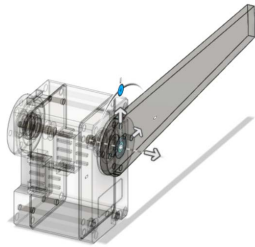


Fig.1: 直交連続方式

この接続方式では、リンクで受けた力はジョイントのランナーの端に伝わる。リンクとジョイントの関係は、レバー構造に近い。リンクの長さが長くなればなるほど、リンクから伝わる重力などの力に対して、ジョイントがロボットの姿勢を維持するために出力必要な力が大きくなる。その結果、長時間、大きな力を大電流で出力するため、モータは多くの熱を蓄積し、ついには異常で動かなくなる。あるいは、リンクを回転させるのに必要な力が、モータの出力可能な上限を超えてしまい、正常に動作できなくなる。

1.2 画像認識アルゴリズムの効率が低い

文献 [2] では、DeSCaRo が自動的に影絵を認識し、それをもとにロボットの各ジョイントの目標位置を決定するために、遺伝的アルゴリズムを使用する。単純にジョイントの回転角度を遺伝子として、各個体の影とターゲット画像の類似度を比較することお評価関数とする。しかし、GA アルゴリズムで影を認識することは実に効率が低い。単純に評価関数を最小にすることで得た影は完璧にターゲット画像の影を再現できない。また、特定の複雑

画像に対して、綺麗に認識できない影をでる可能性がある。GA で認識できない例の入力画像は図 2、出力画像は図 3 に示す。図の黒い部分はターゲット画像である。出力画像の青い部分は決定したロボットの位置情報で得た影である。この実験で、GA の世代数が 200 代、個体数が 100 体に設置した。図 2 と図 3 で、GA アルゴリズムの効果は非常に精密ではないことを確認できる。



Fig.2: GA の入力画像



Fig.3: GA の出力画像

2 回転構造方式

2.1 機械構造

トルク過大問題というのは、根本的にモータのランナーにすべての重力がかかっていることである。マシンアームである以上、マシンアーム全体が直線であるという基本設計を変えることはできない。長腕でないレバーには構造を変えられないという前提で、力の方向だけを変える。リンクから伝わる力の一部を機械構造物に分散させて、現在位置を維持するためのモータの負担を軽減する。今は図 4 に示している機械構造を提案する。

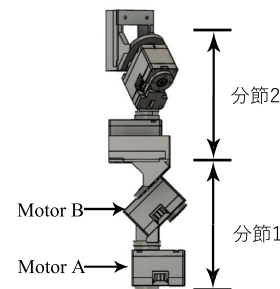


Fig.4: 機械構造説明

図4の構造は二つのモータで構成される。「分節」と呼ばれる。この分節はロボットアームのリンク部であり、ジョイント部でもある。分節の中で、モータがどうやって回転しても、二つのモータの中心点はずっと同じ線にいる。この性質により、分節がロボットアームのリンク部に考える。一つ分節は次に繋げている分節の向き方向を制御している。二つ分節で構造したロボットアームの可動域は図5と図6に示す。図4にAと標記されたモータは、次の分節の向きを水平方向に制御している。図4にBと標記されたモータは、次の分節の向きを垂直方向に45度ずれた方向が回転の軸として制御している。一つのモータだけを一周回転すると、次の分節の端が通過する経路は、3次元空間の円である。

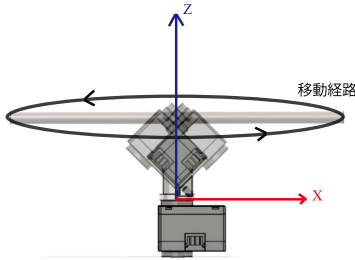


Fig.5: 分節のモータ A だけを制御する場合の可動域

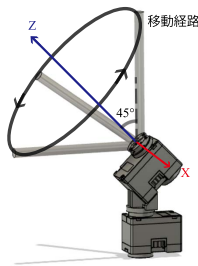


Fig.6: 分節のモータ B だけを制御する場合の可動域

二つの円を組み合わせると、図7に示しているように最後の可動域は半球体の表面になる。二つの分節で作るロボットアームの端はこの半球体の任意点に到達可能である。また、ロボットアームが更に分節の数を増やすと、可動域が半球体の表面から実の3次元空間の球体になる。例としては、二つの分節の可動域は一つ分節の可動域に基づいて、一つ分節の可動域内のすべての点を次の分節の球体可動域の中心点として、外に拡張する。この方法により、可動域が表面だけではなく、3次元空間の立体領域になる。

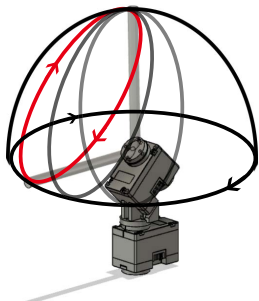


Fig.7: 分節全体の可動域

回転構造方式はリンク部を関節の回転軸に垂直な平面に設置しないことで、力の一部を機械構造つまり回転軸 y 方向に分散させることができる。回転軸に垂直な方向の力が小さくなるため、関節が姿勢を維持するため対抗必要があるトルクも小さくなる。これにより、マシンアームにありがちな過大トルクの問題はある程度解決される。

2.2 位置情報による逆運動学

一般的ロボットアームでは、順運動学と逆運動学の解法として、DH パラメータ法という方法がある [4][5]。

DH パラメータ法は現在の関節座標系から次の関節座標系までの移動距離と回転角度をパラメータとしてロボットアームの現在の状態を表現する方法である。本研究では、標準 DH パラメータ法を使用する。二つ以上の分節で可動域が3次元空間の立体領域になるので、以下の表1に二分節の DH パラメータを示す。

Table 1: 二分節の標準 DH パラメータ表

リンク番号	α (°)	β (°)	a(mm)	d(mm)
1	-45	β_1	0	41.5
2	45	β_2	0	43.5
3	-45	β_3	0	41.5
4	45	β_4	0	43.5

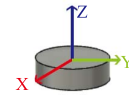


Fig.8: 座標系変換

表1は四つのモータと繋がる連続部品のパラメータを表している。これらのパラメータは部品両側の回転座標系間の転移情報を表示している。パラメータ α は図8に示すように前の座標が次の座標系に転換するため現在の x 軸を回転軸としてどのぐらいの角度で回転することを示している。パラメータ β は現在の z 軸を回転軸としてどのぐらいの角度で回転することを示す。パラメータ a は座標系が x 軸回転軸として回転前に、x 軸の方向に移動する距離を示す。パラメータ d は座標系が z 軸回転軸として回転した後、z 軸の方向に移動する距離を示す。機械構造でパラメータ α, b, d は事前にわかる。パラメータ β は入力目標位置に対して変わるので、パラメータ β を計算することは制御アルゴリズムの目標である。

また、リンク2と4は標準 DH パラメータ法の制限を満たしていないため、以下の式(1)で同時変換行列を計算する。式(1)のパラメータ α, β, b, d の意味は標準 DH パラメータ法の定義と同じである。

$${}^{i-1}T_i = Rot_{z, \beta_i} Rot_{x, \alpha_i} Trans_{z, d_i} Trans_{x, a_i} \quad (1)$$

回転座標系間の同時変換行列を計算した上で、二分節の最後の端の目標位置から各モータの回転角度を計算できる。四つのモータの第1番目、第2番目のモータだけでロボット端の位置を決めるので、第1番目、第2番目のモータの回転角度を求めることが必要である。目標位置とモータの回転角度の関係式は式(2)と式(3)に示す。p は目標位置の座標位置ベクトルである。

$$\beta_1 = \pm \arccos \left(\frac{p_z - 170}{\sqrt{p_x^2 + p_y^2}} \right) + \arctan \left(\frac{p_x}{p_y} \right) \quad (2)$$

$$\beta_2 = \frac{\pi}{2} \pm \left[\frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{p_z - 85 - p_y * \cos \beta_1 - p_x * \sin \beta_1}{85} \right) \right] \quad (3)$$

可能な解は八つある。二分節のモータを制御できる上で、ロボットの各関節の目標位置を入力として、多分節のロボットの各モータの回転角度を計算できる。

3 影画像認識アルゴリズム

入力情報は二次元平面だけであるので、二次元から三次元の位置情報に転換することは本研究の中心である。DeSCaRoのようなロボットアームの影はいくつかの線で表現できる。ロボットの機械制限で、線をいかにして三次元空間に排列するかが、研究の具体的な目標である。

3.1 DP アルゴリズムによる影再現方式

過去の実験 [2] では、GA を用いる認識アルゴリズムを提案した。しかし、この方法は影の面積だけを標準にする。人間が影の意味を認識するというのは影の面積情報だけではなく、見た影の形状情報とこの形状に関連する発想が重要である。面積より影の形状情報に注意する必要がある。

形状という情報は本体の画像と周りの空白の境界また境界線の間の角度などの情報。形状情報を優先に再現することは画像の境界線を優先に再現する。境界線を再現するために、境界線に近い部分の影を優先に作る。また、前分節の設置で確定したい線の出発点が確定であるので、二次元平面に線の角度だけをアルゴリズムで決定する。本研究では、「左また右から中心 90 度に回す、第一番目良いところに線を確定する」という考え方を提案する。

原理としては、境界線に近い部分必ず画像の一番目左また右にいます。線を可動域内に左から時計回り、または右から反時計回りに回転させて各角度で作れる影を入力画像と比較する。入力画像との類似度が高いほど、より多くのポイントが付与される。画像の探索中に得られる点数はノイズにより変動するため、閾値を用いて点数を区分する。閾値以上の差がある 2 つの値のみを異なる値とする。「第一番目良いところ」というのは、最初に見つけた最大値の角度である。

また、前に紹介した回転構造方式は「次の分節の向き方向と位置は前の分節で決定する」という特性がある。ロボット全体を最優状態に致すために、ロボットには長期計画を立てる能力が必要である。DP アルゴリズムは以上の要求を満足できる。今は何番目の分節の影を決定しているかを DP アルゴリズムのステップにする。作る予定の影の長さとの長さ条件で点数が最大にする角度を状態にする。具体的な説明図は図 9 に示す。

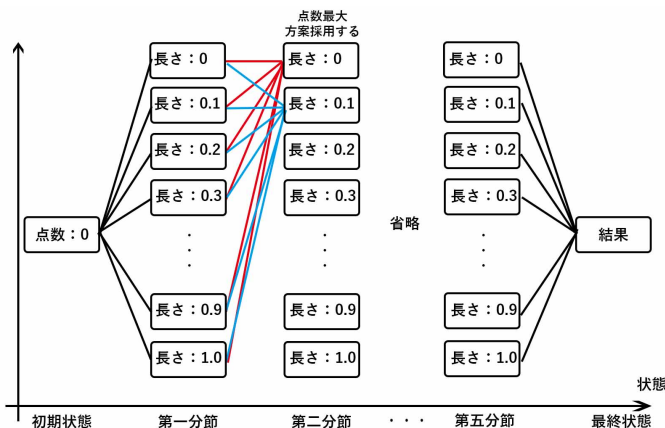


Fig.9: アルゴリズム説明図

複数のロボットアームを用いて影絵を形成する場合、ロボットアームの影が過剰に重なり、一部の影部分を見つけないことがある。このエラーを避けるため、一本のロボットアームの計算が終了した時点で、そのロボットアームの影で覆われている部分の画像の値を半分にする。こうすることで、エリアを覆う価値が小さくなると、残りのロボットアームは他のエリアを探索するように指示できる。

3.2 アルゴリズムの結果

図 10 図 11 図 12 は文字 O、F また複雑な符号画像ハートの入力画像に対しての出力。左の黒い画像は入力画像、右の青い画像部分はアルゴリズムの出力で作れる影である。ロボットの影で形状情報と意味を分かりやすく再現した。ロボットの構造の制限

で細かい部分まで完璧に再現することはできないことも確認できる。

GA アルゴリズムと比べて、DP アルゴリズムの計算時間が確定である。一回の DP アルゴリズムはやく 2~3 時間で、GA アルゴリズムの方がパラメータに応じて 10 時間以上になる可能性がある。また、結果の精度としては DP アルゴリズムの方が認識しやすいことを確認できる。DP アルゴリズムで画像認識の効率を大幅に向上した。

線分の並びの情報が得る上で、ロボットの構造特性を利用して、3 次元空間での座標を求めることができる。二分節の可動域は半球体であるので、二次元に同じ位置に投影できる三次元空間の位置は二つある。二次元から適切な三次元空間の位置を選択することで、ロボットの三次元目標位置を確定できる。

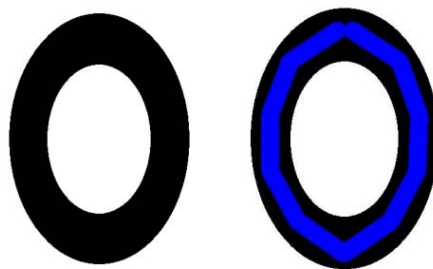


Fig.10: O 画像入力と出力



Fig.11: F 画像入力と出力



Fig.12: ハート画像の入力と出力

DP アルゴリズムは、GA アルゴリズムと比較して、効率的で正確であり、多くの入力画像の認識要求を満足できる。しかし、DP アルゴリズムには、特殊な画像に対してスムーズに認識を行えないという欠点もある。例えば、X という文字の画像では、DP アルゴリズムが左側部分の塗りつぶしを優先するため、最後に機械で X の影の作り方と人間の手で X の影の作り方に違いが出てしまうのです。その結果、影の形が歪みにくくなる可能性がある。

4 実機試験

画像認識アルゴリズムで出力したデータを機械制御アルゴリズムに入力し、三次元目標位置からロボット姿勢を制御して影を作る。本論文完成まで、一つのロボットアームでテストを実施した。

入力と結果は以下の図 13 図 14 図 15。図 15 は図 12 の左側部分の実機試験である。図 13 と図 14 は新しい作った雷の影に対して、認識し機械で投影する結果である。

機械部品間の誤差が少ないため、機械アームの伝導時に常に増幅される。始点から離れれば離れるほど、部品と出力画像の誤差が大きくなる。また、ロボットアームの筐体がまだ実装されていないため、ロボットアームの影を観察する時、特定のリンク部分が認識にくい可能性がある。

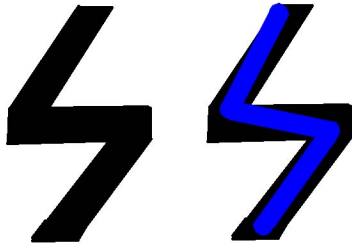


Fig.13: 雷の画像入力と出力



Fig.14: 雷の画像の投影



Fig.15: ハート画像の左側部分の投影

5 結言

現在、1 台のロボットアームでほとんどの投影作業を行うことができる。ロボットアームに過大なトルク負荷の問題は、機械構造における新たな接続方法の開発によって一定程度で解決された。今後は、このような接続によるロボットの制御をより精密化し、複数のロボットアームを制御して自動的に連携作業できるアルゴリズムを開発する必要がある。

影絵の認識アルゴリズムについては、現在の DP アルゴリズムですでに一定の成果を上げていますが、ロボットが人間と同じように「この部分はこういう直線でできているはずだ」と知的に考えられるようなアルゴリズムも将来の研究目標である。

参考文献

- [1] Shogo Yasumoto, Hirotake Yamazoe, Joo-Ho Lee, “Improvement of shadow art creation robot DeSCaRo and proposal of shadow art generation method”, 17th International Conference on Ubiquitous Robots(UR), pp.663–665, 2020.

- [2] Shogo Yasumoto, Hirotake Yamazoe, Joo-Ho Lee, “A Study on Shadow Painting Automatic Generation Algorithm in Shadow Generating Robot DeSCaRo”, Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1P1-P03, 2019
- [3] 川淵 美幸, Joo-Ho Lee, “DeSCaRo における影生成手法に関する研究”, 立命館大学 情報理工学部 卒業論文, 2017
- [4] Aziser, “逆運動学”, (online)<http://blog.sina.com.cn/s/blog-131fa47b20102whij.html>, 2016
- [5] Xiao Wenhao, Bai Ruilin, “多軸ロボットアームの動作軌道最適化の研究開発”, 中国江南大学 博士前期論文, 2014