

卒業論文要旨

生活支援ロボットを用いて水をこぼさずに運ぶ動作の開発

Development of a Motion to carry Water without spilling using a Life Support Robot

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1240105 豊岡 晃次

1 緒言

少子高齢化に伴い、要介護者の総数は年々増加している。在宅介護の割合が約 7.5 割と最も高い要介護度⁽¹⁾は要介護度別人口の推移でも 10 年で約 45 万人急増している⁽²⁾。これは自宅での介護の割合が増しているということであり、生産人口が減少している現在、自宅介護に人手を取られることは社会的な損失に繋がる。よってこれらの負担を低減することができれば、今後の社会に大きく貢献できる。

生活支援ロボットは要介護者の生活を支援するために開発されている。人型の上半身を備えており、人間と同様の動作を再現できる。これにより要介護者の生活を常時支えることが可能になる。

本研究では水を溢さずに運ぶ動作の実現を目的として、7 軸アームを搭載した人型生活支援ロボットにトレイを持たせコップに入った水を溢さずに運ぶことを目指す。特に急停止時に注目する。そのために急停止時における水の波を抑制するために、水の波を抑制するための軌道計画法を提案する。本報告では、急停止時における水の波を抑制するアームの動作を、事前に設定した目標座標と目標傾度により制御するため、遺伝的アルゴリズム⁽³⁾を用いて、左右のアームの先端座標、先端傾度からそれぞれのアームの各関節の角度、リフトの移動量、腰の各関節の角度を導き、最後にシミュレーション実験により、本提案手法の有効性を示す。

2 生活支援ロボット

本報告で使用する生活支援ロボットの外観を図 1 に示す。ロボットアームは 7 自由度あり、可動域の範囲で人に近い動作を再現できる。ハンドは親指のみ操作でき、残りの指は親指に掛かった荷重に合わせて開閉する。手首には x, y, z 軸それぞれの方向に荷重センサを搭載している。また下半身にはオムニホイールが搭載されており、平面において任意の方向に移動が可能である。頭部、胸部にはカメラ、下半身土台の上部には測域センサを搭載している。



Fig.1 Life support robot

3 ロボットアームの制御

3.1 順運動学

ロボットアームモデルを図 2 に示す。順運動学を用いてロボットアームを数式モデルに変換する。アームの回転は四元数⁽³⁾で表現し、オイラー角を用いて数式化した。四元数とは複素数を拡張した表現であり、任意のベクトルを回転軸とし、指定した角度分任意のベクトルを回転させることができる。また、オイラー角とは回転させる物体に付随した座標系を用いて物体を回転させる手法である。腹部に原点を置き、各部位ごとに回転後の座標を計算し、それらを加算することでアームの先端座標を算出した。本数式ではアームの先端座標を親指の付根とした。また単位ベクトルを用いて各部位ごとに回転後の座標を計算することでアームの先端傾度を算出した。四元数を式(1)、回転四元数を式(2)、アームの先端座標計算式を式(3)、アームの先端傾度計算式を式(4)に示す。

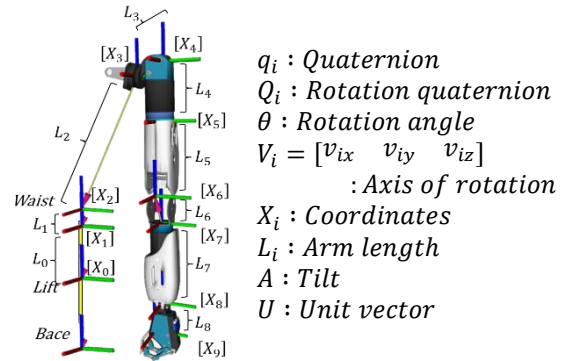


Fig.2 Robot arm model (Left)

$$q_i = [\cos \frac{\theta}{2} \quad v_{xi} \sin \frac{\theta}{2} \quad v_{yi} \sin \frac{\theta}{2} \quad v_{zi} \sin \frac{\theta}{2}] \quad (1)$$

$$Q_i = \prod_{n=0}^i q_n \quad (2)$$

$$X_{i+1} = Q_i L_i \bar{Q}_i + X_i \quad (3)$$

$$A = Q_i U \bar{Q}_i \quad (4)$$

3.2 逆運動学プログラム

7 軸アームの先端座標、先端傾度から逆運動学を算出することはできない。よって遺伝的アルゴリズムを用いて式(1)(2)(3)(4)から逆運動学の数値解を求める。遺伝的アルゴリズムとは、生物の進化を模したアルゴリズムである。ランダムに生成したデータ群の中から評価の高い個体を選別し、交叉、変異を繰り返すことによって最も評価の高い個体を生成する手法である。逆運動学プログラム⁽³⁾のフローチャートを図 3 に示す。本プログラムでは評価値が小さいものほど評価

が高い個体とした。また世代数は 200 世代、交叉、変異を行う確率はそれぞれ 60%(0.6)、40%(0.4)とした。

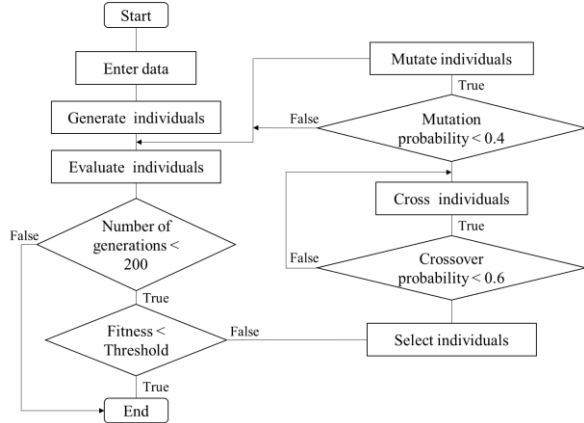


Fig.3 Inverse kinematics analysis using genetic algorithm

3.3 評価関数

左右のアームの先端座標と先端傾度により制御を行うため、評価関数には左右の目標座標と計測座標の絶対誤差、目標傾度と計測傾度の絶対誤差、各関節の移動量の3つに重みを掛けたものを用いた。また各関節の可動域を逸脱した個体に対しては評価値にペナルティを加算した。評価関数を式(5)示す。シミュレーションではペナルティを $1e16$ とした。

$$\begin{aligned}
 &g_{lpos}, g_{rpos} : \text{Target coordinates(left, right)} \\
 &g_{lang}, g_{rang} : \text{Target inclination} \\
 &I_{old} : \text{One previous individuals} \\
 &I_{new} : \text{New individuals} \\
 &W_{i \sim k} : \text{Weight} \\
 &fitness : \text{Evaluation value} \\
 &p : \text{penalty} \\
 &fitness = \\
 &\begin{cases} W_i |g_{lpos} - X_{li}| + W_j |g_{lang} - A_{li}| + W_i |g_{rpos} - X_{ri}| \\ \quad + W_j |g_{rang} - A_{ri}| + W_k |I_{new} - I_{old}| \\ W_i |g_{lpos} - X_{li}| + W_j |g_{lang} - A_{li}| + W_i |g_{rpos} - X_{ri}| \\ \quad + W_j |g_{rang} - A_{ri}| + W_k |I_{new} - I_{old}| + p \end{cases} \quad (5)
 \end{aligned}$$

4 シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

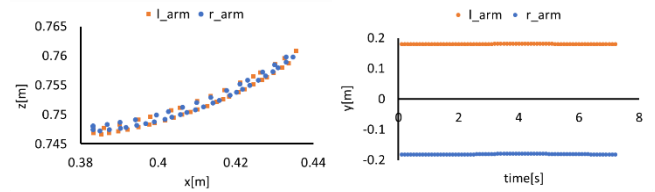
提案した手法の有効性を検証するためにシミュレーションによる実験を行った。両アームの目標座標、目標傾度に従って先端座標、先端傾度を制御できるか確認する。2パターンの目標座標を設定し、逆運動学プログラムから出力されたデータを両アーム、リフト、腰に入力した。左アームの目標座標、目標傾度を表1に示す。右アームの目標座標、目標傾度は左アームの y, roll が正負反転したものである。計測は各関節の角度が各 pattern の 2nd の状態から始めた。

Table.1 Target coordinates and inclination of left arm

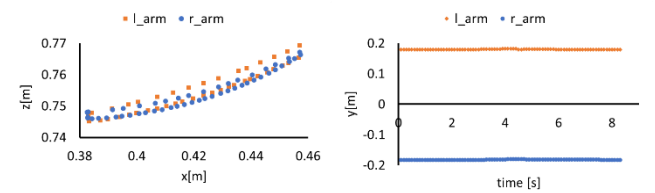
pattern	Goal point	Target coordinates[m]			Target inclination[rad]		
		x	y	z	roll	pitch	yaw
pattern1	1st	0.45	0.18	0.766	0.698	-1.83	0
	2nd	0.4	0.18	0.75	0.786	-1.57	0
pattern2	1st	0.48	0.18	0.77	0.698	-1.83	0
	2nd	0.4	0.18	0.75	0.786	-1.57	0

4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図4に示す。図4の2つの左図において初期座標から x 軸に約 0.022m, z 軸に約 0.002m のずれが見られた。これは逆運動学プログラムに入力したロボットアームのデータとシミュレーション上でのロボットアームの計測点に差異があると考えられる。図4(a)の左図について、初期座標から曲線を描き、目標座標の1つ目に到達、以降2つ目の目標座標に到達した。これは図4(b)も同様であった。目標座標に対する x 軸の値は 0.004m 以下、z 軸の値は 0.003m 以下の誤差に収まった。図4(a)の右図について、0.1秒ごとの y 座標の変化を表したものであり、両アーム間の距離はおおよそ等間隔になっており、誤差は 0.003m 以下である。これは図4(b)の右図も同様である。図4(b)の左図において目標座標に対する x 軸の値は 0.001m 以下、z 軸の値は 0.002m 以下の誤差に収まった。また図4(b)の左図の左アームについて、1つ目の目標座標に到達した後アームが約 0.004m 下がった。これは左アームにのみ現れた現象であった。アームの先端軌跡が曲線を描いているのは、アームの通過点を制御しているだけで軌道自体は制御出来ていないからである。これは目標座標を増やし間隔を密にすることで対策できると考えている。



(a) Pattern 1



(b) Pattern 2

Fig.4 Trajectory of the tip of the arm

5 結言

本報告では、生活支援ロボットの両アーム、リフト、腰を目標座標と目標傾度の指定により制御可能な逆運動学プログラムの有効性をシミュレーション実験によって検証した。y 軸に対するアームの精度は 0.003m 以下であり、両アームがおおよそ等間隔であった。これによりロボットアームでトレイを持たせることができ、水を抑制する動作ができると考えられる。本提案手法ではシミュレーション上のロボットアームを左アームのみに起こったずれを除き、一定の精度で制御できた。また、このずれが実機でも起こるのか確認する必要がある。今後は、実機を用いての動作確認、また実機でトレイを保持した状態での動作確認を行い、急停止時における水の抑制動作の有効性を検討する。

文献

- (1) 厚生労働省
「令和3年度 介護保険事業状況報告（年報）」
- (2) 公益財団法人 生命文化センター
「生命保険に関する全国実態調査 令和3年」
- (3) 大賀陸司, “生活支援ロボットを用いた室内清掃動作の開発”, 高知工科大学学士論文, (2022)