

卒業論文要旨

生活支援ロボットを用いた室内清掃動作の開発

Development of a Motion to Clean Rooms using a Life Support Robot

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1220032 大賀 陸司

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。主な介護者の構成割合は約 8 割が家族で介護を行っている状況である⁽¹⁾。これは自宅での介護が多いということであり、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。

本研究では室内の床掃除として、7 軸アームを搭載した人型生活支援ロボットを用いて掃除機を操作する。室内を清掃するには、清掃場所と道具を認識し、清掃場所まで移動した後、アームを任意に動作させる必要がある。そのために清掃範囲を指定したときのロボットの予備動作と操作動作を提案する。本報告では、アームの動作を事前に設定した複数の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⁽²⁾を用いて、アームの先端座標、先端傾度からアームの各関節の角度を導く逆運動学解析プログラムを提案する。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。手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。

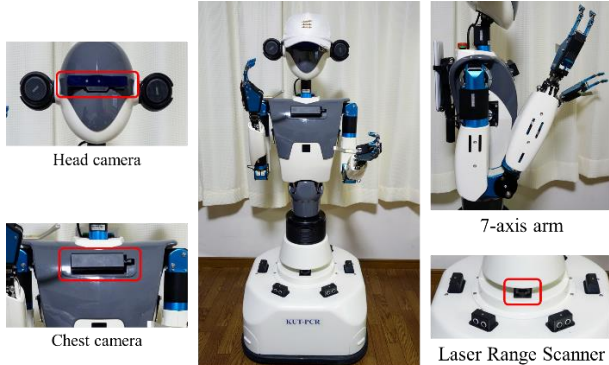
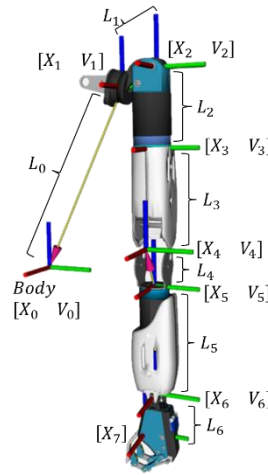


Fig. 1 Life support robot

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られる。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。



q_i : Quaternion
 Q_i : Rotation quaternion
 θ : Rotation angle
 $V_i = [v_{ix} \ v_{iy} \ v_{iz}]$
: Axis of rotation
 X_i : Coordinates
 L_i : Arm length
 A : Tilt
 U : Unit vector

Fig. 2 Robot arm model (Left)

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

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

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

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

3.2 逆運動学解析プログラム

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)から逆運動学解析を行う。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

異を施す。これ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。逆運動学解析プログラム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。

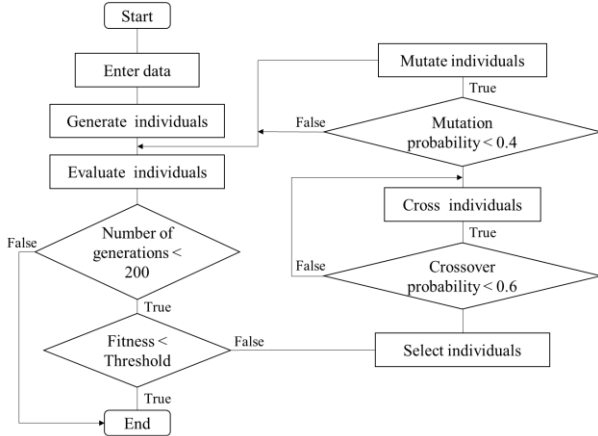


Fig. 3 Inverse kinematics analysis using genetic algorithm

3.3 評価関数

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100とした。

$$fitness = \begin{cases} |g_{pos} - X_i| + |g_{ang} - A_i| \\ |g_{pos} - X_i| + |g_{ang} - A_i| + p \end{cases} \quad (5)$$

g_{pos} : Target coordinates
 g_{ang} : Target inclination
 $fitness$: Evaluation value
 p : penalty

4 シミュレーション

4.1 シミュレーション環境

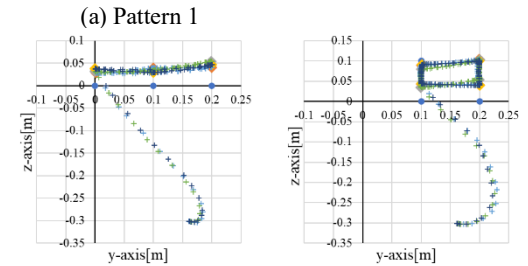
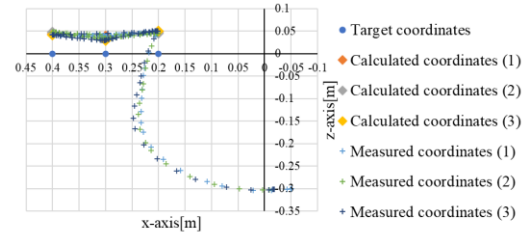
提案したプログラムの有効性を検証するためにシミュレーションによる実験を行った。目標座標、目標傾度に従って先端座標、先端傾度を制御できるか確認する。3パターンの目標座標を設定し、逆運動学解析プログラムから出力された角度データをロボットアームに入力した。先端傾度は常に初期状態からy軸に対して-90度に設定した。目標座標を目標傾度を表1に示す。実験は目標座標ごとに3回ずつ、計9回行った。計測は各関節の角度が0度の状態から始め、各目標座標を2度通過するまで行った。

Table 1 Target coordinates & Target inclination

Pattern	Goal point	Target coordinates[m]			Target inclination[rad]		
		x	y	z	roll	pitch	yaw
Pattern 1	1st	0.2	0.1	0	0	-1.57	0
	2nd	0.3	0.1	0	0	-1.57	0
	3rd	0.4	0.1	0	0	-1.57	0
Pattern 2	1st	0.3	0	0	0	-1.57	0
	2nd	0.3	0.1	0	0	-1.57	0
	3rd	0.3	0.2	0	0	-1.57	0
Pattern 3	1st	0.3	0.1	0	0	-1.57	0
	2nd	0.3	0.2	0	0	-1.57	0
	3rd	0.3	0.2	0.1	0	-1.57	0
	4th	0.3	0.1	0.1	0	-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(a)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、以降目標座標を順番に繰り返した。これは図4(b)(c)も同様であった。目標座標に対してy軸の値は0.001m以下の誤差に収まった。z軸の値は目標座標0.0mに対して約0.05mの誤差を示した。図4(b)について、目標座標に対してx軸の値は0.001m以下の誤差に収まった。z軸の値は目標座標0.0mに対して約0.05mの誤差を示した。図4(c)について、目標座標に対してx軸の値は0.001m以下の誤差に収まった。z軸の値は目標座標0.0mに対しては約0.05mの誤差、目標座標0.1mに対しては0.01m以下の誤差に収まった。これは指定した目標座標での目標傾度がロボットアームモデルの可動域外であったと考えられる。またアームの先端傾度は初期状態からy軸に対して-90度を常に維持していた。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。これは目標座標の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 (c) Pattern 3
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ロボットアーム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解析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。x, y軸に対するアームの精度は0.001m以下であり、z軸の目標座標を0.0mにしたときのみ0.05mの誤差が見られた。よって一部の空間を除き、一定の精度でアームを制御可能であることを確認した。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制御できた。今後は実機を用いての動作確認、また実機で道具を保持した状態での動作確認を行い、床清掃動作の有効性を検討する。

文献

- (1) 厚生労働省, “国民生活基礎調査の概況 平成28年度” pp. 30.
- (2) Fortin, F.A., De Rainville, F.M., Gardner, M.A., Parizeau, M., Gagne, C., “DEAP: Evolutionary Algorithms Made Easy”, Journal of Machine Learning Research, Vol. 13, (2012), pp. 2171-2175.
- (3) 坂上志之, 杉本浩一, “位置・姿勢誤差補償によるロボットの高精度軌道制御”, 日本機械学会論文集C編, 52巻, 474号 (1986), pp. 507-514.