

生活支援ロボットによる飲料を注ぐための両手動作の協調制御

Hands cooperation motion control for liquid pouring motion by life support robot

知能機械システム工学コース

知能ロボティクス研究室 1225052 三木 和之

1. 緒言

現在、高齢化による病気やけがなどにより、寝たきりになる方がいる。必要なケアとして定時的に水分の摂取の介助がある。我々の研究室では寝たきりの方の生活を支援するために、人型の生活支援ロボットを開発している。本研究では、寝たきりの方への水分の摂取の支援のために、生活支援ロボットによる飲料を注ぐ動作の実現を目指している。

飲料を注ぐためには、飲料の質量をフィードバックして動作を決める必要がある。先行研究(1)では力覚センサとロボットが持った物の質量の関係を実験により調査を行った。また日常生活は工場と違い、人と共に行動するため様々な外乱に対応する必要がある。そこでコップを持つ手と注ぐ手の力覚センサそれぞれに飲料の質量を計測し、2重で判断をすべきと考える。そこで本報告では、注ぐ方の手にある力覚センサを用いた飲料の質量の計測方法を開発する。そして開発した計測方法の有用性を検証する。

2. 生活支援ロボット

生活支援ロボットを図1の左図に示す。生活支援ロボットはメカナムホイールによる全方向移動や周囲状況の把握をするためのロボットの顔面部、胸部に搭載されたカメラや各種センサ、最大2kgまで握持できる手を搭載した、7自由度のアーム等により、様々な支援動作を実現できる。生活支援ロボットの手首部には力覚センサが搭載されている。手首部の力覚センサを図1の右図に示す。力覚センサはロボットの両手首に各1個取り付けられており、定格容量はx, y方向は $\pm 250\text{N}$, z方向は500Nであり、3軸力覚センサである。

また実際の力覚センサによる重力から質量に変換した際の分解能は先行研究(2)より、約15gであった。

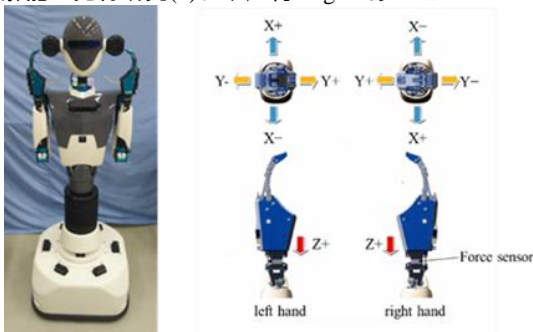


Fig.1 Life support robot and force sensor

3. 注ぐ動作

開発した生活支援ロボットによる飲料を注ぐ動作の流れを図2に示す。

動作は初めにペットボトルを 1° 傾ける。次に力覚センサから値を取得し、質量を計測する。計測した値が目標に到達していたら、角度を 0° に戻し、動作を終了する。目標値に到達していなければ、次に前回の計測値と今回の計測値を比べる。前回の計測値と同じであればもう一度ペットボトルを

傾け、動作を繰り返す。同じでなければもう一度力覚センサから値を取得するところから始める。

また動作は図3に示す片手にコップ、片手にペットボトルを持った状態から始める。

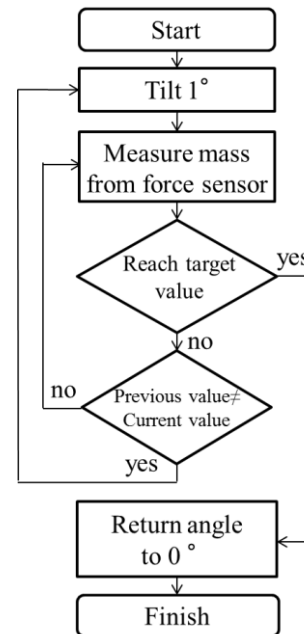


Fig.2 Flow of pouring beverage



Fig.3 Start of action

4. コップを持つ手による計測

力覚センサの分解能より、コップを持つ手の力覚センサを用いた水を注ぐ動作を開発した。また動作の検証実験を行った。実験内容は300g, 450g, 650gの水を入れた容量650gのペットボトルから注ぐ。コップに注ぐ目標値を150gとした。また力覚センサからの値は5回取得し、平均値を用いた。実験結果を表1に示す。

実験結果は各条件ではほぼ20g以内に収まり、誤差があったが計測することができ、注ぐことができた。しかし、ペットボトルの水が600gの2回目において118gで32gの誤差があった。これは、力覚センサの精度が良くなかったために、誤差が出たと考える。

Table1 Experimental result

First water mass	1st time	2nd time	3rd time
300g	122g	162g	135g
450g	158g	129g	134g
600g	161g	118g	151g

5. 注ぐ手による計測

ペットボトルを持つ手の力覚センサを用いた質量の計測方法を考えたため、まず飲料を注ぐ際の力覚センサの出力を調べる実験を行った。ロボットハンドに 650g の水を入れたペットボトルを持たせ、ハンドの角度を 15° 毎傾けた。15° 傾け力覚センサの値を計測した後 0° に戻し計測を行った。このように新しい角度を計測した後、それまでの力覚センサの値を計測した。これにより、飲料を注ぐ際の力覚センサの出力を調べた。ロボットが注いでいる様子を図 4 に示す。計測したハンドの角度は 0° から 120° を計測した。



Fig. 4 Robot is pouring

力覚センサの x 方向の実験結果を図 5, y 方向の実験結果を図 6 に示す。また、図 5, 図 6 において 0° から 60° においてペットボトルから水は流れなかったため、0° から 45° の出力を省略している。また、60° の点は水が 650g 入った状態での力覚センサの出力値であり、120° の点は水が 0g 入った状態での力覚センサの出力値である。

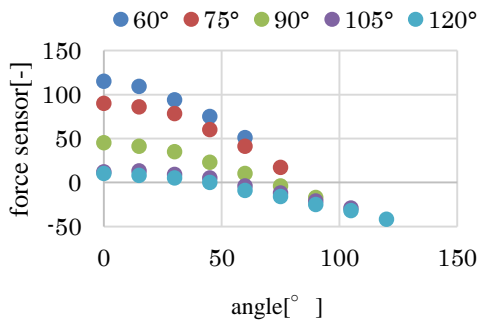


Fig.5 Experimental results in x direction

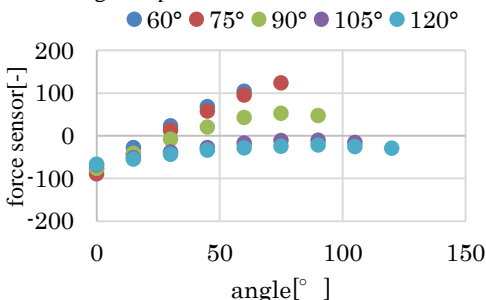


Fig.6 Experimental results in y direction

1 次関数的な関係より、各角度まで傾けた時のペットボトルに残っていた水の量を計算した。結果を表 2 に示す。

Table2 Plastic bottle water mass

Angle[°]	Plastic bottle water mass[g]
60	650
75	495.2
90	216.7
105	12.4
120	0

この注ぐときのデータから近似式を取り、ロボットハンドの角度から 3 点を取り、3 点を通る二次関数を求め、求めたい質量の時の力覚センサの出力を代入し求めるという計測方法の開発を行った。図 6 の 75°まで傾けた時の近似式を f_{y75} 、90°まで傾けた時の近似式を f_{y90} 、120°まで傾けた時の近似式を f_{y120} 、未知の質量 m を持った時の力覚センサの出力を n としたとき、y 方向を用いたペットボトルの中の水の質量の計測を以下の式を用いて、行えると考える。

$$m = an^2 + bn + c$$

ただし、

$$a = \frac{(m_{120} - m_{90})(f_{y120} - f_{y75}) - (m_{120} - m_{75})(f_{y120} - f_{y90})}{(f_{y120} - f_{y90})(f_{y120} - f_{y75})(f_{y90} - f_{y75})}$$

$$b = \frac{m_{120} - m_{90}}{f_{y120} - f_{y90}} - a(f_{y120} + f_{y90})$$

$$c = m_{120} - af_{y120}^2 - bf_{y120}$$

また、注ぐ動作において角度が 60°の時までは計測をせずに注ぎ、60°から 120°の間を開発した計測の式を用いるその時点のペットボトルの質量を計測する。そして最初の質量の差が目標値になるまで注ぎ続けることにより注ぐ動作の開発が可能と考える。

また、近似式は図 8-5, 図 8-6 から以下とした

$$f_{y120}(\theta) = -0.0056\theta^2 + 0.9965\theta - 67.93$$

$$f_{y90}(\theta) = -0.0174\theta^2 + 3.0214\theta - 80.33$$

$$f_{y75}(\theta) = -0.0129\theta^2 + 3.8731\theta - 92.89$$

上記から計測できるか検証した。式を用いて 12.4g, 650g の 45° と 60°の力覚センサの出力を用い計算を行った。計算結果を表 3 に示す。計算結果より 650g の時に誤差が大きく、この計算を用いて注ぐことはできないことが分かる。誤差の大きい理由として、出力の変化を 2 次関数で近似していたが、2 次関数で近似するのが正しくなかったためと考える。

Table3 Calculation result

水の質量[g]	各角度の計算値[g]	
	45°	60°
650	624	562
12	11	25

6. 結言

コップを持つ手とペットボトルを持つ手の力覚センサによる質量の計測方法の開発を行い、検証を行った。その結果、コップを持つ手の場合、多少の誤差はあったが有効性を示すことができた。ペットボトルを持つ手の場合は、3 軸力覚センサが受ける力のモーメントによる影響、角度の変化、ペットボトル内の水の質量の変化により、計測が難しく注ぐ動作に使いなかつた。

今後は、3 軸力覚センサから 6 軸力覚センサに変更し、力のモーメントを計測、質量と力覚センサの出力の関係を理論として示し、注ぐ動作の開発をしていく。

文献

- (1) 三木和之, 王碩玉, 瀋博, “生活支援ロボットによる飲料を注ぐための持った物の質量の推定方法”, 第 20 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 講演番号 3A4-07, 徳島, 2019 年 12 月
- (2) 三木和之, 王碩玉, 瀋博, “ロボットアームの手首部にある力覚センサによる質量の推定の提案”, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会 第 16 回ポトラック & ワークショップ, 発表番号 1-9, 高知, 2018 年 11 月