人間とロボットの協調搬送作業における最適な動作時間

Identifining Optimum Movement Time for Generating Smooth Motion in Human-Robot Cooperative System

○ 相根 祥吾 (三重大) Ahmad Faizal Bin Salleh (三重大院) 正 池浦 良淳 (三重大院)
早川 聡一郎 (三重大院) 澤井 秀樹 (三重大院)

Shogo AINE, Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, TsuCity, MiePrefecture, 514-0102, Japan
Ahmad Faizal Bin Salleh, Ryojun IKEURA, Soichiro HAYAKAWA and Hideki SAWAI, Graduate School of Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, TsuCity, MiePrefecture, 514-0102, Japan

Key Words: Minimum jerk model, Human-Robot cooperative system, Movement time, Traveled distance

1. 緒言

現在、日本の社会問題の1つに少子高齢化があり、労働者不足が懸念されている。その対策として、人と協調して物体を運ぶことのできるロボットの開発があげられる。これまで、人とロボットの協調搬送に関する研究は各種行われてきている。例えば、林原らは力センサとアームの関節角の情報を用いてロボットを制御することを提案した^[1]。

我々は人どうしの協調搬送特性を用いて人とロボットの滑らかな協調搬送作業の実現に向け研究している。まず、人どうしの協調搬送特性を調べた結果、搬送者が物体搬送距離と搬送開始のタイミングを知る時、躍度最小軌道を生成し、滑らかな協調動作を行うことが分かった^[2]。躍度最小軌道の生成のためには搬送時間と搬送距離の関係を調べる必要があり、人どうしの協調搬送実験からその関係について調べた。

本稿では、人とロボットの協調搬送実験を行い、人どうしの協調搬送での搬送時間の有効性を調べたので報告する。

2. 人どうしの協調搬送実験

躍度最小軌道でロボットを制御するために、まず人どうしにて協調搬送実験を行い、搬送時間と搬送距離の関係について調べた。図1は実験のイメージである。被験者は2人1組のペアになり、5グループで実験を行う。物体を動かす距離は、50mm, 100mm, 150mm, 200mmの4つで、物体を動かす方向は左右方向である。各方向各距離につき練習を5回行った後、5回データをとった。図2はモニターのイメージで、物体の現在地と目標位置が示され、被験者はこれを見て物体搬送を行う。図3は左右方向の実験結果である。このグラフは時間と距離の関係を表し、横軸は物体搬送距離を、縦軸は物体搬送時間を示す。この結果からロボットの動作時間を設定する。

Fig.1 Image of Human-Human cooperative experiment

Fig.2 Image of monitor

Fig.3 Result of Human-Human cooperative motion

3. 実験内容

3.1 実験装置

図4に実験装置の構成を示す。実験で使用する搬送物体は重さ約3kgで両端は取手がついている。この物体には位置計測用のマーカーが4つ取り付けられている。このマーカーの位置はNDI製OptotrakCertusPositionSensorで計測され対象物の位置と姿勢を計測すると同時に、被験者用のモニターに表示される。

Fig.4 Image of Human-Robot cooperative experiment

3.2 実験方法および条件

本実験はオペレータと被験者の二人に役割を分担する。オペレータはPCの操作、距離と方向の指示、実験開始の合図を出す。また、オペレータはロボットを起動させた際5カウント数え、その後にロボットが動き出す。被験者はロボットと協調して物体を指示された通りに運搬する。物体を動かす距離は、200mmで、方向は被験者から見て左、右の2方向である。

また、オペレータ1人、被験者5人で実験を行い、5つのグループに分けて実験を行う。調査の方法は対比較法を用いる。よって、2つの時間の組み合わせで1セットとする。各方向につき練習を2回行った後、調査を開始する。被験者には1セットごとにロボットの動作時間についてどちらがよ

り自分の速度感に一致している動作時間かを評価してもらう。

4. ロボットの動作時間

ロボットの動作時間は人どうしの協調搬送から得られた搬送時間を用いて実験を行う。これは、各方向各距離における最大の時間と最小の時間を抽出し、その間に等間隔となるように3つ時間を設定して、合計5つの時間を使って実験を行う。この5つの時間は各方向・各距離において最大のものから順に Max、MidMax、Ave、Midmin、Min という言葉に置き換える。表1には左右方向の200mmの動作時間をまとめる。図5は時間設定の例である。

ロボットは人どうしの協調搬送での躍度最小軌道で制御する^[3]。躍度最小軌道とは手先の動きを表すもので、次の式で表される。

$$x(t) = x_0 + (x_f - x_0)(15\tau^4 - 6\tau^5 - 10\tau^3) \quad (1)$$

ここで、 $\tau = t/t_f$ であり、 x_0 は $t=0$ での物体搬送開始位置、 x_f は $t=t_f$ での物体搬送終了位置である。ロボットを動かす際に動作時間が未知数なので、動作時間を入力することでロボットが動くようにする。

Table1 Robot movement times for 200mm experiment

	Movement times[s]	
	Leftward	Rightward
Max	1.538	1.658
MidMax	1.374	1.434
Ave	1.210	1.210
Midmin	1.068	1.104
Min	0.926	0.998

Fig.5 Example of time configuration

5. 実験結果と考察

表2に左右方向の200mmでの実験結果を示す。5人全ての結果をまとめた。表2(a)の1番上の行で左から2番目のマスには3が書いてある。これは我々が定義した時間でMaxとMidMaxを比較した際にMaxのほうがよいと答えた被験者が3人いることを示す。また、黒マスは実験を行わなかったことを示す。

表3は先ほどの回答数を確率に直し、そこから標準正規分布の逆関数をとった結果を示している。これはz得点である。また、Averageは各動作時間のz得点を横に足して平均をとった。この値を尺度値として評価し、一番大きい値を持つ動作時間を最も良いものとする。表3(a)より左方向200mmではMax、つまり最大の時間1.538sが良いという結果となった。また、表3(b)より右方向200mmではAve、つまり中間に定義されている時間1.210sが良いという結果となった。

この結果より、次の疑問が生じる。なぜ左右方向の200mm

で最も良いロボットの動作時間に違いが出るのか。この項目について今後調査する予定である。

6. 結言

本稿では左右方向の搬送距離200mmでの人とロボットの協調搬送実験を行い、人どうしの協調搬送での搬送時間の有効性を調べた。左方向では最大の時間、右方向では中間に定義した時間が良いという結果が出た。

今後、左右方向の残りの距離、上下方向、前後方向の人とロボットの協調搬送実験の調査結果をまとめる。また、左右方向については動作時間の違いについて検証する。

Table2 Research frequency (overall)

(a)Leftward

	Max	MidMax	Ave	Midmin	Min
Max		3	4	2	3
MidMax	2		3	4	2
Ave	1	2		3	3
Midmin	3	1	2		3
Min	2	3	2	2	

(b)Rightward

	Max	MidMax	Ave	Midmin	Min
Max		2	1	3	2
MidMax	3		2	3	4
Ave	4	3		3	4
Midmin	2	2	2		3
Min	3	1	1	2	

Table3 The z scores

(a)Leftward

	Max	MidMax	Ave	Midmin	Min	Average
Max		0.253	0.842	-0.253	0.253	0.274
MidMax	-0.253		0.253	0.842	-0.253	0.147
Ave	-0.842	-0.253		0.253	0.253	-0.147
Midmin	0.253	-0.842	-0.253		0.253	-0.147
Min	-0.253	0.253	-0.253	-0.253		-0.127

(b)Rightward

	Max	MidMax	Ave	Midmin	Min	Average
Max		-0.253	-0.842	0.253	-0.253	-0.274
MidMax	0.253		-0.253	0.253	0.842	0.274
Ave	0.842	0.253		0.253	0.842	0.547
Midmin	-0.253	-0.253	-0.253		0.253	-0.127
Min	0.253	-0.842	-0.842	-0.253		-0.421

参考文献

- [1]林原靖男,園田幸伸,田窪朋仁,荒井裕彦,谷江和雄:人とロボットによる長尺物の協調運搬(人の協調挙動に基づく鉛直平面内の制御方法の検討),日本機械学会論文集(C編),67巻,653号,pp.162-169(2001)
- [2]Shahriman ABU BAKAR,Ryojun IKEURA, Yuichiro HANDA,Takemi YANO,Kazuki MIZUTANI and Hideki SAWAI: Communication during the Cooperative Motion in the Task of Carrying an Object between Two Humans,Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.5, No.2, pp.104-118(2010)
- [3]TAMAR FLASH and NEVILLE HOGAN: The Coordination of Arm Movements:An Experimentally Confirmed Mathematical Model, The Journal of Neuroscience, Vol.5, No.7, pp.1688-1703(1985)