受動関節機構を有する移動ロボットによる協調搬送制御 (斜面路走行における搬送台のファジィ水平化制御)

Cooperative Transfer Control of Mobile Robots Using Parallel Mechanism with Passive Joints (Level Control of Carrier Platform Using Fuzzy Theory on Slope)

○学 山崎 公史(島根大院), 正 浜口 雅史(島根大), 正 谷口 隆雄(島根大)

Hirofumi YAMASAKI, Graduate School of Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane, 690-8504 Japan

Masafumi HAMAGUCHI, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane, 690-8504 Japan

Takao TANIGUCHI, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane, 690-8504 Japan

key words : Passive Joint, Mobile Robot, Cooperative Transfer Control, Fuzzy Control

1. はじめに

近年, 移動機構を持たせたロボットの研究が盛んに行われている。これは, 工場などの特殊な環境下だけにとどまらず, 一般の家庭や病院, 公共の施設など私たちの身近な領域にまで, ロボットの応用分野が拡大することが予想されているからである。高齢化が進んだ現在では, 荷物などの搬送が困難な人に代わり, ロボットが作業を行うことが期待されている。一般に, ロボットは物体を搬送する作業を行うことが多い。しかしながら, ロボット単体では積載能力に限界があり, 重量物の搬送を行えない場合がある。そこで, 複数の人間が協調して物体を搬送する場合と同様に, 複数台のロボットを用いて協調させることにより, 物体を搬送する研究が行われている。これにより, 多様な大きさの重量物の搬送が可能となる。

著者らは, 斜面路走行における移動ロボットの協調搬送制御を行った⁽¹⁾。しかし, 下り斜面路走行には, 十分に対応できておらず, 下り斜面路走行にも対応できる協調搬送制御系を構築する必要があった。

本研究では, 斜面路走行を対象とし, 受動関節機構を有する3台の移動ロボットによる協調搬送制御系を構築することを目的とする。具体的には, 後方2台のロボットの速度と舵角をファジィ制御することにより搬送台の水平化制御を行う。協調搬送シミュレーションを行い, 本制御系の有効性を確認する。

2. 実験装置

図1は実験装置全体の外観であり, 図2(a)は搬送台を真上から見た図, 図2(b)は受動関節機構部の図である。3台のロボットが各リンクを介して搬送台を支え走行する。各リンクは, 上端に1自由度の回転関節を, 下端に3自由度の回転関節を有している。なお第4関節は搬送台の重心方向と垂直な回転軸をもつ。図2(a)にその回転軸方向を示している。また搬送台上にジャイロセンサを取り付けることにより, 搬送

Fig. 1 Experimental equipment

Fig. 2 Parallel link mechanism

台の傾斜角速度を測定する。そして出力された信号を DSP 内で処理し, 後方の2台のロボットの速度制御, 舵角制御を行う。X 軸回りをピッチ角, Y 軸回りをロール角, Z 軸回りをヨー角と定義する。

3. ファジィ理論によるレベル制御

本研究では, 後方2台のロボットの位置制御にファジィ理論を用い, 搬送台の水平化制御を行う。斜面路下りでは, 次の2つの入出力関係をもつファジィルールを作成した。

(1)ピッチ角制御

入力: 搬送台のピッチ角と角速度

出力: Robot B, C の速度変化量

(2)ロール角, ヨー角制御

入力: Robot B, C の第4関節角度と Robot A の第1関節角度

出力: Robot B, C の速度変化量と舵角変化量

斜面路下りにおいては, 次の入出力関係をもつファジィルールを作成した。

(1)ピッチ角, ロール角, ヨー角制御

入力: 搬送台のピッチ角と Robot B, C の第4関節角度と Robot A の第1関節角度

出力: Robot B, C の速度変化量と舵角変化量

ここで, Robot B, C の速度変化量は, 舵角に対して第4関節の回転軸に垂直な方向に移動するようにしている。

一例として, 斜面路上におけるピッチ角制御のルールを表1に示す。 θ は搬送台のピッチ角度, ω は搬送台のピッチ角速度である。表1において, 例えば, 「搬送台のピッチ角 θ が負 (N), かつピッチ角速度 ω が正で (P) ののであれば, ロボット B, C の速度変化量を零 (Z) とする。」となる。

Table 1 Fuzzy rule for velocity of robot B and C

$\omega \backslash \theta$	N	Z	P
N	P	P	Z
Z	P	Z	N
P	Z	N	N

さらに、本研究では、作成したメンバーシップ関数の頂点位置を遺伝的アルゴリズム(GA) によって最適化した。メンバーシップ関数は図3のような形状とする。GAの探索条件は、個体数：30、終了世代数：500、1変数のビット数：8bit、交叉率：0.6、突然変異率：0.1とし、ルーレット選択、エリート保存則を用いた。適合度 J を以下に示す。ここで t_f はシミュレーション終了時間、 p はペナルティ項を表す。 α には、各ルールにおいて注目した搬送台のピッチ角、ロール角、ヨー角の値が入る。

$$J = 1/(J_1 + p) \quad (1)$$

$$J_1 = \int_0^{t_f} |\alpha| dt / t_f \quad (2)$$

装置の可動範囲を超える入力が入った場合には $p=10$ とし、それ以外では $p=0$ とした。

GAによって最適化した斜面路下りにおけるピッチ角制御におけるメンバーシップ関数の頂点位置を表2に示す。

Fig. 3 Configuration of membership function

Table 2 Values of tops in membership functions for pitch control on uphill

Rule		a	b
Antecedent	θ [deg]	1.37×10^{-2}	-1.37×10^{-2}
	ω [deg/s]	4.78×10^{-1}	-4.78×10^{-1}
Consequent	Speed [m/s]	1.97×10^{-1}	-1.97×10^{-1}

4. シミュレーション結果

図4に示す斜面路を走行したときのシミュレーション結果を図5~7に示す。今回は、ピッチ角、ロール角、ヨー角の制御効果を調べるため、シミュレーション開始から5s後にRobot AとRobot Bに、誤差舵角として傾き10deg/sを持つランプ状外乱を0.1s間、5.1s以降は常に1degだけ外乱を与えた。メンバーシップ関数の頂点座標値は表2のものを使用している。ピッチ角、ロール角、ヨー角とも制御をしていないときに比べ、搬送台を水平に保てていることがわかる。下り斜面路においても、上り斜面路同様に良好な結果を得ることができた。

Fig. 4 Slope in experiment

Fig. 5 Pitch angle of platform

Fig. 6 Roll angle of platform

Fig. 7 Yaw angle of platform

5. まとめ

受動関節を有する3台の移動ロボットを用い、斜面路において搬送台を水平に保つための制御系を構築した。提案した制御系の有効性をシミュレーションにより確認した。今後は、実験においても、その有効性を検証する。

参考文献

- (1) 山崎公史, 浜口雅史, 谷口隆雄: 受動関節を有するパラレルリンク機構による移動ロボットの協調搬送制御 (ファジィ制御による斜面路走行時の搬送台レベル制御), 第19回計測自動制御学会中国支部学術講演論文集, pp. 106/107 (2010)