

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：基盤研究（C）一般

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19560244

研究課題名（和文） 車輪型移動ロボットの走行制御に関する研究

研究課題名（英文） A Study of the Driving Control for a Moving Wheeled Robot

研究代表者

鶴田 和寛 (TSURUTA KAZUHIRO)

九州産業大学・工学部・教授

研究者番号：60389236

研究成果の概要（和文）：車輪型移動ロボットをモデル化し、移動しながら負荷を推定し、車輪同士の協調制御を行うことでスムーズな動作を実現した。さらに、障害物などの外乱が入った場合でも安全に動作できる走行制御手法を確立した。

研究成果の概要（英文）：A moving wheeled robot was modeled, estimated a load of the robot while moving and developed a cooperative control among the wheels in this study. As a result of this study, I accomplished a smooth operation of the robot. Moreover, I established the moving control method which can work safely when the disturbance at the obstacle and so on entered.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 19 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
平成 20 年度	700,000	210,000	910,000
平成 21 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：運動制御

1. 研究開始当初の背景

電動車椅子などの車輪型移動ロボットにおいて、乗り心地の改善や安全性の確保が望まれている。乗り心地に関しては、例えば、体重の重い人と軽い人が同じ電動車椅子を利用した場合、電動車椅子から出力される必要トルクを変えなければ同じような動きを実現できない。そこで、速度制御を行ったとしても、体重がわからないと速度ループが過剰に働く場合があり、振動を誘発して暴走する可能性がある。さらには、路面の状況によっても必要トルクが変化するため、乗り心地

を改善するには利用する人や使用環境に対応した調整機能が必要である。安全性の確保に関しては、例えば、2 輪駆動において片方の両輪が何らかの障害物の影響で指令した速度に達しない場合、車椅子が目的とした方向とは異なった方向に進んでしまう恐れがあるため、両輪の協調動作を行う機能が必要である。さらには、障害物に衝突した場合、指令された動作を自律的に取りやめて危険を回避する機能が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、車輪型移動ロボットにおいて、移動しながら負荷を推定し、車輪同士の協調制御を行うことでスムーズな動作を実現し、さらに、障害物などの外乱が入った場合でも安全に動作できる走行制御手法を確立することを目標とする。研究項目は以下の3つである。

(1) 車輪型移動ロボットの動特性モデルを作成するため、メカ特性（周波数応答、ステップ応答、位置決め応答、負荷イナーシャ、粘性摩擦係数、クーロン摩擦など）をオフライン（予め設定した動作指令を用いる）で同定し、駆動条件（駆動速度、初期姿勢、駆動方向など）の違いで、同定したモデルがどのように変化するかを調査する。

(2) 車輪同士の協調動作を行うための制御アルゴリズムを開発する。その際、リアルタイムで負荷変動を同定しながら補償する。補償することで、路面の変化などの外乱の影響を受けずに目標軌道に追従可能となる。

(3) 車輪型移動ロボットの目標軌道上に障害物などの外乱があった場合、その障害物を感知し、回避もしくは停止する技術を開発する。

3. 研究の方法

(1) 平成19年度：初年度は、実験システムの構築と基本的なPID制御を用いた制御特性の把握に主眼を置く。具体的には、①シミュレーションソフトであるMATLAB/SIMULINKから直接モータ制御が実現できる制御コントローラを購入し、そのシステムを用いてオフライン動作でメカ特性を把握するモータ制御システムを構築する。このシステムを用いて、②オフライン的に負荷イナーシャ値、粘性摩擦定数、クーロン摩擦およびメカ共振振



図1 車輪型移動ロボット

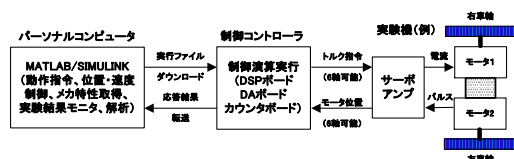


図2 車輪型移動ロボットの構成図

動数を同定してモデル化する。③制御コントローラからMATLAB/SIMULINKを用いてモータを直接制御し、車輪型移動ロボット（図1、図2参照）が動作可能な実験システムを構築し、シミュレーションと実際の位置決め応答および軌跡追従応答を比較しながら駆動条件による制御特性の違いを把握する。

(2) 平成20年度：①モータのトルク不足により前年度に実施できなかった車輪型移動ロボットのメカ特性をオフラインで把握しモデル化する。②線形制御則と非線形制御則の比較ができるシミュレーション環境と実験環境を構築する。③ボールねじ駆動の1軸スライダおよび車輪型移動ロボットのメカ特性をオフラインで同定して得られたメカモデルを規範モデルとし、駆動条件（加減速度、最高速度、駆動方向、搭載負荷など）を変えて、線形制御則と非線形制御則をシミュレーションおよび実験で比較する。

(3) 平成21年度：①前年度から実施中の車輪型移動ロボットのメカ特性のモデル化を実施する。②車輪同士の協調動作を行うための制御アルゴリズムを開発する。③目標軌道上に障害物などの外乱があった場合、その障害物を感知し、回避もしくは停止する技術を開発する。

4. 研究成果

(1) 平成19年度：①シミュレーションソフトであるMATLAB/SIMULINKから直接モータ制御が実現できる制御コントローラを購入し、そのシステムを用いてオフライン動作でメカ特性を把握するモータ制御システムを構築した。②オフラインで負荷イナーシャ値、粘性摩擦定数、クーロン摩擦およびメカ共振振動数を同定してモデル化する方法を確立し、モータ駆動された1軸スライドシステムに対して、購入した制御コントローラシステムを用いて同定が可能であることを確認した。一方、車輪型移動ロボットではモータのパワー不足によりトルク飽和が起これ、制御特性の同定ができなかった。③駆動条件の違いによる制御特性の違いを把握するため、同じスライダを2台用意し、一方には5kgの重りを載せ、同じパソコン（RT-Linux）上で同時に制御し、リアルタイムで制御対象の負荷を変えて位置決め特性がどのように変化するかを確認した（図3、図4、図5参照）。この変化に関しては、一般的なPID制御則に非線形制御補償を加えることで位置決め特性が悪化しないことを確認した。本成果をロボット産業マッチングフェア北九州2007、九州国際テクノフェア2007で公表・出展した。

(2) 平成20年度：①モータのパワー不足によりトルク飽和が発生していた車輪型移動ロボットのモータのギア比を変更し、購入した制御コントローラを利用した制御実験装

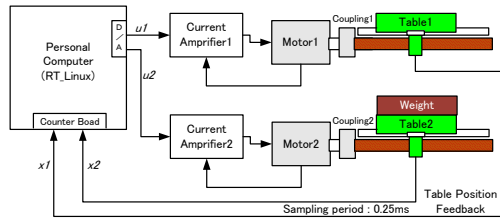


図3 負荷変動を模擬した実験システム

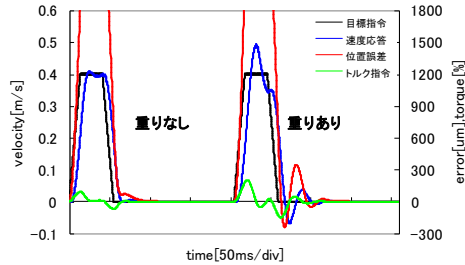


図4 非線形補償なしの位置決め応答

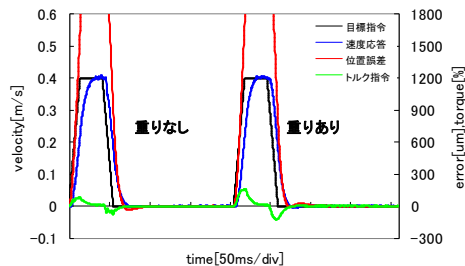


図5 非線形補償ありの位置決め応答

置を用いて、オフラインでメカ特性（複数のハードウェアを含めたトルク定数、負荷イナーシャ値、メカ共振周波数）を測定した。制御対象を2慣性系+軸干渉を考慮してモデル化した。②代表的な線形制御則であるPID制御、フィードフォワード制御、2自由度制御、および、非線形制御則として、スライディングモード制御、適応制御をシミュレーションと実験で比較可能な環境を構築した。③非線形外乱、指令加速度等がリアルタイムで変更可能なソフトウェアを作成した。また、制御対象として、ACサーボモータ、1軸転がり案内スライダ、非電磁アクチュエータを用いた1軸スライドシステムを用いて、線形制御則と非線形制御則の比較を実験で評価した。その結果、摩擦の悪影響が大きいシステムにおいて非線形制御則の方が位置制御応答が優れていることが分かった。本成果を、福岡ナノテク Now2008、産学連携フェア 2008 北九州で公表・出展した。

(3) 平成21年度：①MATLAB/SIMULINKを利用した制御実験装置を用いて、オフラインで車輪型移動ロボットのメカ特性（複数のハードウェアを含めたトルク定数、負荷イナーシャ値、メカ共振周波数）を測定した。制御対象を2慣性系+軸干渉を考慮してモデル化し、

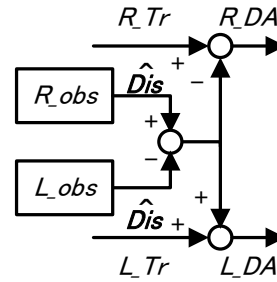


図6 提案した軸干渉補償方法

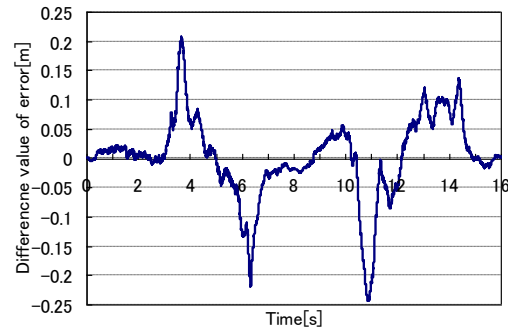


図7 軸干渉補償なしの両軸位置誤差

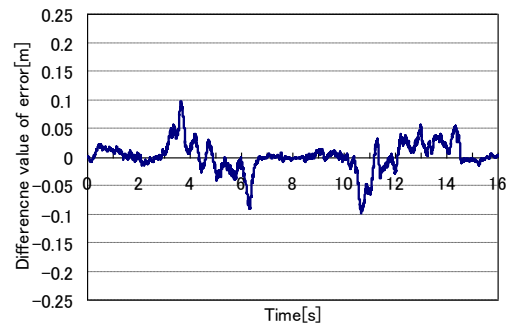


図8 軸干渉補償ありの両軸位置誤差

実験結果とモデル応答の周波数応答がほぼ一致するモデル作成に成功した。②各車輪に加わる外乱力を推定するために現存する複数の外乱オブザーバを評価し、本システムに適する外乱オブザーバを利用して、両軸に加わる外乱力を均一とするように補償する軸干渉補償方法を提案し（図6参照）、直線走行動作、曲線走行動作における実機実験で提案方法の効果を確認した（図7、図8参照）。さらに、車輪型移動ロボットの車輪軸を模擬した実験装置でH20年度に提案した非線形制御則（リアルタイムな負荷変動に対応可能）を評価したが、振動を誘発し、剛性の低い（振動しやすい）メカには適用できないことが分かった。従って、一般的なPID制御則に外乱オブザーバと軸干渉補償を加えた制御則が本車輪型移動ロボットに適することが分か

った。③障害物に衝突する前の障害物検知手段として、ステレオカメラによる障害物検知方法を開発し、さらに、無線 LAN を用いて遠隔操作できる方法を開発した。衝突した後の障害物検知手段として、外乱オブザーバで検知（推定）する方法を開発した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 10 件）

①Kazuhiro Tsuruta, Kazuya Sato, Sunao Sawada, Kouji Kosaka, Nonlinear Compensation Method with Bang-bang Compensator for a High Precision Stage using Synchronous Piezoelectric Device Driver, The 11th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control March 21-24, 2010, Nagaoka, Japan, pp.1-6, 査読有.

②Kazuhiro Tsuruta, Kazuya Sato, Nobuhiro Ushimi, Kouji Kosaka, Compensation for a High Precision Stage using Synchronous Piezoelectric Device Driver, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009, Australia, pp. 1162-1167, 査読有.

③Kazuya Sato, Kazuhiro Tsuruta, Takanori Nakashima, A robust adaptive H^∞ control for robotic manipulators with input torque uncertainties Nonlinear Friction, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 2008, pp. 116-124, 査読有.

④鶴田和寛, 佐藤和也, 牛見宣博, 藤本孝, スライディングモードの補償機能を備えた高速・高精度位置制御, 電気学会論文誌 D, 査読有, Vol. 128 No. 09 2008, pp. 1114-1120

⑤佐藤和也, 鶴田和寛, 菊池賢洋, 位置決め装置における入力部非線形補償特性を考慮に入れたロバスト適応制御系の設計と実験による検証, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 44, No. 83, pp. 646-653, 2008

〔学会発表〕（計 12 件）

①柴田寛史, 最上一輝, 鶴田和寛, 牛見宣博, 2車輪型移動ロボットのメカ特性の把握, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 平成 21 年 5 月 26 日, 福岡国際会議場（福岡市）

②吉田聡一郎, 宮嶋明良, 鶴田和寛, 澤田直超音波モータを用いた超精密位置制御テーブル駆動システム, (社)精密工学会九州支部「第 9 回学生研究発表会」, 平成 20 年 12 月 7 日, 九州大学（福岡市）

③最上一輝, 鶴田和寛, 牛見宣博, 外乱オブザーバを用いた車輪型移動ロボットの走行

制御に関する研究, ロボット学会 全国大会講演論文集, 平成 20 年 9 月 11 日, 神戸大学（神戸市）

④中嶋孝憲, 佐藤和也, 鶴田和寛, 入力トルクの不確かさを含むロボットマニピュレータに対する適応 H^∞ 制御と実験による検証, 計測自動制御学会 第 8 回制御部門大会資料, 063-1-1, 2008 年 3 月 6 日, 京都大学（京都市）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：モータ位置制御装置

発明者：鶴田 和寛

権利者：学校法人中村産業学園

種類：特許

番号：特願 2007-158010 号

出願年月日：19 年 6 月 14 日

国内外の別：国内

○取得状況（計 1 件）

名称：モータ速度制御装置

発明者：鶴田和寛、榊泰輔、藤本孝

権利者：学校法人中村産業学園、株式会社
川電機

種類：特許

番号：特許第 4053529 号

取得年月日：19 年 12 月 14 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kyusan-u.ac.jp/J/kougaku/tb/tsuruta/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鶴田和寛 (TSURUTA KAZUHIRO)

九州産業大学・工学部・教授

研究者番号：60389236