

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19360110

研究課題名（和文） ヒューマノイド型多自由度跳躍移動ロボットの実現

研究課題名（英文） Realization of humanoid type multi-degree of freedom jumping robot

研究代表者

成清 辰生 (NARIKIYO TATSUO)

豊田工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70231496

研究成果の概要（和文）：

単脚跳躍ロボットを設計・試作し、制御システムの構築と制御系設計を行った。このロボットは3自由度のシリアルリンク機構であるため、跳躍実現には冗長自由度を有する。この自由度を用いた跳躍実現を、出力零化問題として定式化した。跳躍実現には、速い重心速度を実現しなければならない。目標の重心速度とロボットの重心速度の差を出力とする出力零化制御則を開発した。3自由度単脚跳躍移動ロボットへ設計した制御則を実装するため、制御システムを構築した。ロボットは脚部長45cmで、胴体部にはサーボアンプを搭載した構造となっており、総重量10.8kgを有している。このロボットの信号処理はサンプリング時間100 μ s(100kHz)という高速サンプリング能力を持つDSPによって行った。このDSPへ制御系を実装し、跳躍ロボットを実時間制御した。理想速度場の切り替えや重み付けにより、制御目的を実現するアルゴリズムを実現した。これらの成果により、4cmの高さの跳躍を実現した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we first designed and made a monopod robot. Since this robot is 3 DOF and serial link robot, there is a redundancy in the flying phase. We synthesized output zeroing control which regulates the error between desired velocity of center of gravity and real velocity. By numerical simulation we demonstrate the usefulness of this control law. In order to apply this control law we developed the control system of the monopod robot. This 3DOF monopod robot is 45 cm height and has servo amp on the torso. Total weight is 10.8 Kg. Signal processing of this experimental system is carried out by DSP with 100 μ s(100kHz) sampling. In order to overcome the underactuated and nonholonomic control problems, we developed the passive velocity field control. Finally we attained 4 cm height jumping of the monopod robot.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	11,500,000	3,450,000	14,950,000

研究分野：制御工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：跳躍ロボット, 4脚走行ロボット, 非ホロノミックシステム

1. 研究開始当初の背景

今後のロボット技術の中核となると思われる跳躍運動や高度な身体運動制御機能を実現するヒューマノイドロボットとその制御系設計理論の開発については、これまでも跳躍運動を実現する機構に関する様々な研究が行われている。しかし、その多くは、跳躍に特化した機構を導入することで跳躍運動を実現するものであったため、Raibert らによって開発された単脚ホッピングロボットの域を出るものではなかった。

2. 研究の目的

本研究は、今後のロボット技術の中核となる跳躍運動や高度な身体運動制御機能を実現するヒューマノイドロボットとその制御系設計理論の開発を目的とし、ヒューマノイドロボットや脚式移動ロボットの性能向上と多自由度機械の制御性能向上を目指し、人間型多自由度ロボットによる跳躍運動や跳躍走行および宙返り動作を実現するシステムの開発と制御系設計を行う。

3. 研究の方法

(1) 試作した1号機制御システムの制御系設計を行い、シミュレーションにより有効性を確認した。

(2) 3自由度単脚跳躍移動ロボットへ設計した制御則を実装するため、制御システムを構築した。

(3) 3自由度単脚跳躍移動ロボットの制御システムへ制御則を実装し、実験を行い、有効性を確認した。

(4) 単脚ロボットの制御結果を拡張するため、4脚型跳躍移動ロボットを設計・試作した。前2脚の自由度は各脚毎2自由度を有し、後2脚は各脚3自由度を有するロボットである。各関節は小型サーボモータによって駆動される構造とした。

(5) 4脚跳躍移動ロボットの制御システムを構築した。4脚型跳躍ロボットの自由度は前脚が各脚毎2自由度を有し、後脚が各々3自由度を有する構造であり、各関節は小型サーボモータによって駆動される。4脚型跳躍ロボットの制御アルゴリズムを検討するため、基礎的なシミュレーション実験を行った。

4. 研究成果

図1に示す1号機制御システムの制御系設計を行った。1号機は3自由度のシリアルリンク機構であるため、跳躍実現には冗長自由度を有する。この自由度を用いた跳躍実現を、出力零化問題として定式化した。跳躍実現には、速い重心速度を実現しなければならない。目標の重心速度とロボットの重心速度の差

を出力とする出力零化制御をフィードバック実現した。

3自由度単脚跳躍移動ロボットへ設計した制御則を実装するため、制御システムを構築した。

ロボットは脚部長45cmで、胴体部にはサーボアンプを搭載した構造となっており、総重量10.8kgを有している。このロボットの信号処理はサンプリング時間 $100\mu\text{s}$ (100kHz)という高速サンプリング能力を持つDSPによって行った。このDSPへ制御系を実装し、制御モータにかかる負荷を軽減するため、跳躍ロボットを実時間制御し、制御系についても、着地時の衝撃を緩和するための着地制御機能を追加した制御へ修正を加えた。跳躍

ロボットでは、特に安定な跳躍前進運動を持続させるには、着地姿勢の安定化が要求されるため、跳躍時の重心周りの角運動量が保存されることに起因する非ホロノミック制御問題となる。この問題の対応には受動速度場制御を用いた制御を検討し

理想速度場の切り替えや重み付けにより、制御目的を実現するアルゴリズムを実現した。これらの成果により、4cmの高さの跳躍を実現した。

さらに、より人間に近い跳躍運動を実現できる4脚型跳躍移動ロボットを試作した(図2)。前2脚の自由度は各脚毎2自由度を有し、後2脚は各脚3自由度を有するロボットである。各関節は小型サーボモータによって駆動される構造とした。開発した4脚跳躍移動ロボットの制御システムを構築した。4脚型跳躍ロボットの自由度は前脚が各脚毎2自由度を有し、後脚が各々3自由度を有する構造であり、各関節は小型サーボモータによ

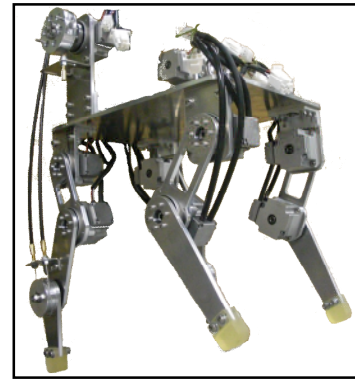


図1 1脚跳躍ロボット



図2 4脚跳躍ロボット

て駆動される。4脚型跳躍ロボットの制御アルゴリズムを検討するため、基礎的なシミュレーション実験を行った。4脚型跳躍ロボットでは、特に安定な跳躍前進運動を持続させるには、着地姿勢の安定化が要求される。この問題は、跳躍時の重心周りの角運動量が保存されることに起因する非ホロノミック制御問題となる。この問題の対応には受動速度場制御を用いた階層型優先タスク制御を用いた。さらに、強化学習などの機械学習の理論を取り入れて制御系の設計を行った。

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 20 件)

- ① 松田忠典, 川西通裕, 成清辰生: Stability Feeler による実数 μ 解析, システム制御情報学会論文集, Vol.23, No.12, pp.277/287 (2010) 査読有
- ② 不破勝彦, 成清辰生, 森田良文: 新しい最小次元状態推定器に基づいた安定化制御器の設計法, 計測自動制御学会論文集, Vol.46, No.4, pp.189/198(2010) 査読有
- ③ 不破勝彦, 成清辰生, 神藤久: 零感度制御に関する一考察, 電気学会論文誌C編, Vol.129, No.12, 2163/2164(2009) 査読有
- ④ 不破勝彦, 成清辰生, 門脇秀二, 森貴彦, 神藤久: 計測不可能な入力の推定器による外乱抑制とその応用, 日本機械学会論文集, Vol.75, No.759-C, 97/104(2009) 査読有
- ⑤ Tatsuo Narikiyo: Control of underactuated Mechanical Systems via Passive Velocity Field Control: Application to Snakeboard and 3D Rigid Body, Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications, No.71, 2358/2365(2009) 査読有
- ⑥ 不破勝彦, 成清辰生, 神藤久: モード切換え型制御系の評価方法に関する一考察, 計測自動制御学会論文集, Vol.45, No.5, 283/285(2009) 査読有
- ⑦ 成清辰生, 中川雅史, 川西通裕: モバイルマニピュレータの位置と力のハイブリッド制御, 計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.11, 919/926(2008) 査読有
- ⑧ 成清辰生, 不破勝彦, 村野剛志: 周波数推定に基づく外乱抑制制御系の実装, 電気学会論文誌C編, Vol.128, No.12, 1727/1734(2008) 査読有
- ⑨ Tatsuo Narikiyo, Masanori Sakata and Michihiro Kawanishi: Attitude Control of a Flexible Planar Space Robot, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.1, No.5, 368/375(2008) 査読有
- ⑩ N. V. Q. Hung, H. D. Tuan, T. Narikiyo, P. Aplarian: Adaptive Controls for Nonlinearly Parameterized Uncertainties in Robot Manipulators, IEEE Trans. Control Systems Technology, Vol.16, No.3, 458/468(2008) 査読有
- ⑪ Tatsuo Narikiyo, Junichiro Sahashi, Kazutomu Misao: Control of a class of underactuated mechanical systems, Nonlinear Analysis: Hybrid Systems, Vol.2, No.11, 231/241(2008) 査読有
- ⑫ 不破勝彦, 成清辰生, 神藤久: 極配置問題におけるフィードバックゲインの構成とその応用, 計測自動制御学会論文集, Vol.43, No.6, 490/499(2007) 査読有
- ⑬ YoungWoo Kim, Tatsuya Suzuki, Tatsuo Narikiyo: FMS Scheduling Based on Timed Petri Net Model and Reactive Graph Search, AMM (Applied Mathematical Modeling), Vol.31, Issue 6, 955/970(2007) 査読有
- ⑭ YoungWoo Kim, Tatsuo Narikiyo: Realization of Parking Task Based on Affine System Modeling, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.21, 935/949(2007) 査読有
- ⑮ YoungWoo Kim, Tatsuya Kato, Shigeru Okuma, Tatsuo Narikiyo: Traffic Network Control Based on Hybrid Dynamical System Modeling and Mixed Integer Non-Linear Programming With Convexity Analysis, IEEE Transaction on SMC (Systems, Man, and Cybernetics)-A, Vol.38, No.2, 346/357(2007) 査読有
- ⑯ YoungWoo Kim, Tatsuya Harada, Tatsuo Narikiyo: Optimal Controller Design for a Constrained Polynomial Vehicle System with a Input-State Linearized Model, International Journal of Automotive Technology, Vol.9, No.1, 103/110(2007) 査読有
- ⑰ YoungWoo Kim, Sinya Matsuzaki, Tatsuo Narikiyo, Jong-Hae Kim: Non-linear Optimal Control Design of Vehicle With Low Speed Operation Based on Data Mining Algorithm, International Journal of WEVA (World Electric Vehicle Association), Vol.1, No.1, 10/18(2007) 査読有
- ⑱ 不破勝彦, 成清辰生, 神藤久: 零感度状態推定器の一構成法, 電気学会論文誌C, 127巻, 12号, 2033/2041(2007) 査読有
- ⑲ 成清辰生, 若松康介, 不破勝彦, 神藤久: 繰返し制御を用いたロボスタサーボ系の構成とディスク型記録装置への応用, 電

気学会論文誌 C, 127 巻, 12 号, 2018/2026(2007) 査読有

- ⑳ 不破勝彦, 成清辰生, 神藤久: 計測不可能な入力 の 推定機構 を もつ オブザーバ を 用いた 外乱抑制制御, 電気学会論文誌 C, 127 巻, 11 号, 1918/1927(2007) 査読有

[学会発表] (計 18 件)

- ① T. Matsuda, M. Kawanishi and T. Narikiyo: Computation Method for Complete D-stability Intervals of a Class of Matrices Based on Generalization of the Stability Feeler, Proceedings of the 49th IEEE Conference on Decision and Control, pp. 1454-1459, December(2010) 査読有
- ② T. Jennawasin, M. Kawanishi and T. Narikiyo: Exactness Verification of Sum-of-Squares Approximations to Robust Semidefinite Programs with Functional Variables, Proceedings of the 2010 American Control Conference, pp. 4096/4100, Baltimore, USA, June 30-July 2(2010) 査読有
- ③ T. Narikiyo, M. Kawanishi, T. Mizuno and Y. Hanada: Robust Adaptive Position/Force Control of Mobile Manipulators -Theory and Experiments-, Proceedings of the SICE 2010, Taipei, Taiwan, pp. 1326/1331, Aug. 18-21(2010) 査読有
- ④ Tadasuke Matsuda, Michihiro Kawanishi and Tatsuo Narikiyo: Computation of Real Structured Singular Value by Stability Feeler, Proceedings of the 7th Asian Control Conference, August 27-29, Hong Kong, China, 672/677(2009) 査読有
- ⑤ Tanagorn Jennawasin, Michihiro Kawanishi and Tatsuo Narikiyo: Performance Bounds for Optimal Control of Polynomial Systems: A Convex Optimization based Approach, Proceedings of the ICROS-SICE International Joint Conference 2009, August 18-21, Fukuoka, Japan, 3925/3928(2009) 査読有
- ⑥ Tatsuo Narikiyo, Michihiro Kawanishi and Masashi Nakagawa: Robust Adaptive Position/Force Control of Mobile Manipulators with Dynamic Uncertainties, Proceedings of the IASTED International Conference Control and Applications, July 13-15, Cambridge, UK, 264/269(2009) 査読有
- ⑦ Michihiro Kawanishi, Tatsuo Narikiyo and Takaya Hashimoto: Bilinear Matrix Eigenvalue Optimization using Parallel Branch and Bound Method with Adaptive Computational Granularity, Proceedings of the IASTED International Conference Control and Applications, July 13-15, Cambridge, UK, 201/206(2009) 査読有
- ⑧ Tatsuo Narikiyo, Michihiro Kawanishi and Tomohito Mizuno: Robust Adaptive Position/Force Control of Mobile Manipulators with Kinematic and Dynamic Uncertainties, Proceedings of the ICROS-SICE International Joint Conference 2009, August 18-21, Fukuoka, Japan, 4704/4709(2009) 査読有
- ⑨ Tatsuo Narikiyo, Katsushi Fuwa, Shuuji Kadowaki, Takehiro Mori, Hisashi Kando: Disturbance Attenuation based on an Observer with a Function of Estimating Unmeasurable Inputs and its Application, Proceedings of the Twelfth IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control, November 2-4, Cambridge, MA, USA, 282/287(2009) 査読有
- ⑩ Tadasuke Matsuda, Michihiro Kawanishi and Tatsuo Narikiyo: Real μ -Analysis by Stability Feeler, Proceedings of the Twelfth IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control, November 2-4, Cambridge, MA, USA, 235/242(2009) 査読有
- ⑪ Tadasuke Matsuda, Michihiro Kawanishi, Tanagorn Jennawasin and Tatsuo Narikiyo: Real μ -Analysis by Stability Feeler • Estimation of Lower Bounds and Reduction of Conservativeness, Proceedings of the Twelfth IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control, November 2-4, Cambridge, MA, USA, 243/251(2009) 査読有
- ⑫ YoungWoo Kim, Tatsuya Kato, Shigeru Okuma, Tatsuo Narikiyo: PWARX Traffic Network Hybrid Controller Based on 0-1 Classification, Proceedings of the 17th IFAC World Congress, July 6-11, Seoul, Korea, 117/122(2008) 査読有
- ⑬ Katsuhiko Fuwa, Tatsuo Narikiyo, Hisashi Kandoh: A Construction of Disturbance Observer to Cope with Frequency Variation and Its application to Vibration Suppression Control System, Proceedings of the 17th IFAC World Congress, July 6-11, Seoul, Korea, 2696/2701(2008) 査読有

- ⑭ Tatsuo Narikiyo, Katsuhiko Fuwa, Takeshi Murano: Implementation of Disturbance Attenuation System Based on Frequency Estimation, Proceedings of the 17th IFAC World Congress, July 6-11, Seoul, Korea, 2702/2707(2008) 査読有
- ⑮ Tatsuo Narikiyo, Masanori Sakata, Michihiro Kawanishi: Attitude Control of a Flexible Planar Space Robot, Proceedings of the 47th IEEE Conference on Decision and Control, 596/601(2008) 査読有
- ⑯ YoungWoo Kim, Tatsuo Narikiyo, Goro Obinata: A New Nonlinear Controller Design Method Based on Polynomial Data-mining Algorithm, Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007, Nov.23-25, Nagoya, Japan, 1142/1149(2007) 査読有
- ⑰ YoungWoo Kim, Tatsuo Narikiyo, Narikiyo Tatsuo: Generation of Differentiable Homomorphism Function Based on Self-Organizing Polynomial Data-mining Algorithm, Proceedings of The 7th International Conference on Power Electronics, Oct.22-26, Daegu, Korea, 107/112(2007) 査読有
- ⑱ Tatsuro Hino, Michihiro Kawanishi, Hiroshi Kanki, Tatsuo Narikiyo: Control of parallel mechanism with redundant actuators and non-redundant actuators, Mechatronics, MEMS, and Smart Materials, Vol. 6794, Part. 1, 639/644(2007) 査読有

[図書] (計1件)

- ① N. V. Q. Hung, H. D. Tuan and T. Narikiyo : Lipshitzian Parametrization-Based Approach for Adaptive Controls of Nonlinear Dynamic Systems with Nonlinearly Parameterized Uncertainties: A Theoretical Framework and Its Applications, Frontiers in Adaptive Control Edited by Shuang Cong, 223/252(2009) 査読有

[その他]

ホームページ等

<http://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Denshi/5s20/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成清辰生 (NARIKIYO TATSUO)

豊田工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70231496

(2) 研究分担者

川西通裕 (KAWANISHI MICHIIHIRO)

豊田工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00283870

(3) 研究分担者

不破勝彦 (FUWA KATSUHIKO)

大同大学・情報学部・准教授

研究者番号：70324481