

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20360107
 研究課題名（和文）可変拘束・可変構造機能をもつ冗長機械系のダイナミクスベースト制御・群知能に関する研究
 研究課題名（英文）Study on dynamics based control and swarm intelligence for redundant mechanical systems with switching functions
 研究代表者
 松野 文俊（MATSUNO FUMITOSHI）
 京都大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：00190489

研究成果の概要（和文）：

本研究では可変拘束・拘束構造機能をもつ冗長機械システムについて、システム固有の力学的特徴を活かしたダイナミクスベースト制御則を導出し、その有効性をシミュレーションおよび実験により検証する。さらに、可変拘束・可変構造機能をもつ機械システムの運動知能・群知能の獲得のための物理法則にかなった群行動アルゴリズムを構築し、その有効性をシミュレーションおよび実験により検証する。

研究成果の概要（英文）：

In this study we consider dynamics based control for redundant mechanical systems with switching functions and expand the concept to swarm behavior. We construct motion controller considering dynamics and behavior algorithm for swarm intelligence. To demonstrate effectiveness of proposed methods simulations and experiments are carried out.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

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：可変拘束，可変構造，冗長機械系，制御，群知能

1. 研究開始当初の背景

冗長性をもつ生物システムのダイナミクスは冗長機械システムの力学系として表現することができ、ダイナミクスベースト制御

を適用することができる。ロボティクスの分野で、剛体多体系あるいは柔軟多体系として機械システムのダイナミクスを記述し、その制御について論じる研究が行なわれている。

現状では、ロボットの制御則の設計指針は大きく分けて二通りの考え方があり、一つはロボットを数理的な非線形システムとして捕らえて、非線形項をキャンセルし線形の標準形に変換することにより制御しようとするモデルベース制御であり、他の一つは、ロボットを力学系として捕らえて制御を考えるダイナミクスベース制御である。前者は非線形特性のキャンセルにより、ロボットの固有の力学的本質をも消し去ってしまっている。後者は、ロボットのもつ非線形特性を踏まえた上で、その力学的特質を利用して制御系を構成しようとするものであり、近年活発に研究がなされている。

本研究はこれらの研究をさらに発展させ、生物システムを含む可変拘束・可変構造機能をもつ冗長機械システムを対象とし、ダイナミクスベース制御を前提として運動知能および群知能を獲得する学習アルゴリズムを開発することを目指しており、自律運動制御および運動知能・群知能の根源としてダイナミクスを位置付けるもので、新しい展開である。本研究はダイナミクスベース・インテリジェンスという概念を“個から群れへ”と展開しようとするもので、国内外で類を見ない研究である。

2. 研究の目的

研究代表者は制御対象が非線形で無限次元のような複雑なシステムであってもその物理的本質を突いた制御系設計を行えば、ロボットの簡便な制御則が導出できること示してきた。その概念をダイナミクスベース制御として提唱してきた。また、ダイナミクスベース制御を前提とした生物の運動知能獲得手法として、冗長性をうまく拘束し、その拘束条件を動的に変化させて、膨大な全探索空間を限定し探索空間を動的に生成する学習アルゴリズムを開発してきた。このような物理法則にかなった生物の運動知能である「ダイナミクスベース・インテリジェンス」について考察を行ってきた。

本研究では、可変拘束・可変構造機能をもつ冗長機械システムの運動知能および群知能について考える。まず、生物を拘束条件を変えることができる可変拘束機能をもち、それらが相互に結合・分離するような可変構造機能をもつ冗長システムとしてとらえる。その単体での物理法則にかなった運動知能と群としての群知能について考察し、「ダイナミクスベース・インテリジェンス」の概念の適用範囲を“個から群れへ”と拡張していくことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 可変拘束ハイブリッドシステムのダイナミクスベース制御

可変拘束機能をもつ生物として蛇を対象とする。生物の蛇は体幹方向の摩擦は非常に

小さく体幹に垂直な方向の摩擦は非常に大きい。この摩擦特性を工学的に実現するために受動車輪をそれぞれのリンクに取り付け、リンクを能動関節で多連結することによってヘビ型ロボットが実現されている。生物の蛇は体幹の一部を適応的に持ち上げて滑走する。これは工学的に見れば、受動車輪が横滑りしないという速度制約条件を適応的に変化させていることになり、ハイブリッドシステムとして記述される。このようなヘビ型ロボットに代表される可変拘束ハイブリッドシステムに対して、その力学特性を活かしたダイナミクスベース制御を実現し、その有効性を計算機シミュレーションにより検証する。

(2) 可変拘束・可変構造システムのダイナミクスベース制御・インテリジェンス

蟻の機能を模したロボットを用い、蟻が集団で餌を巣まで運搬するタスクに着目し、フェロモンを環境に敷設することにより生成されるフェロモントレールを用いた他個体の誘引と協調運搬において群知能を発現するアルゴリズムを構築する。群を可変拘束・可変構造システムとみなし、群れの形成と群れによるタスクの実現を可能とする制御系と集散アルゴリズムを構築する。これらの有効性をシミュレーションと実験により検証する。

4. 研究成果

(1) 可変拘束ハイブリッドシステムのダイナミクスベース制御

(a) n 台の受動車輪をもつヘビ型ロボットの協調制御

n 台のヘビ型ロボットが協調して3次元空間において物体を搬送する制御系を構築し、その有効性を検証することを目標として、以下を実施した。

1. 動力学モデルの導出とシミュレータの開発
2. 幾何学的拘束と速度拘束をもつシステムのダイナミクスベース制御則の構築
3. シミュレーションによる有効性の検証

(b) 受動車輪をもつヘビ型ロボットのハイブリッド走行制御

生物の蛇が体幹の一部を適応的に持ち上げて滑走する走行モード（サイナスリフティング滑走）を、受動車輪による速度拘束条件を適応的に変化させる運動としてモデル化し、ハイブリッドシステムとして記述する。運動学レベルのハイブリッドシステムに基づき制御系を構築し、その有効性を検証することを目標として、以下を実施した。

1. 運動学モデルの導出とシミュレータの開発
2. 運動学モデルに基づいた制御則の構築
3. シミュレーションによる有効性の検証

(c)受動車輪をもつヘビ型ロボットの木登り制御

生物の蛇は体幹を木に巻きつけて、環境と体幹の接触点を適応的に変化させ木登りを実現している。この木登りタスクを想定して、受動車輪をもつヘビ型ロボットが円柱表面を運動することを考える。ヘビ型ロボットには受動車輪が横滑りしないという速度拘束条件が課される。また、ロボットの体幹が円柱表面に拘束されるという幾何学的拘束条件を満足させるような制御系を構築しなければならない。動力学レベルのハイブリッドシステムに基づき制御系を構築し、その有効性を検証することを目標として、以下を実施した。

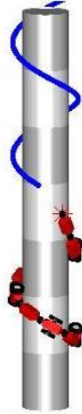


図1 木登り

1. 動力学モデルの導出とシミュレータの開発
2. 幾何学的拘束条件に対応する仮想システムを導入した木登り制御則の構築
3. シミュレーションによる有効性の検証 (図1参照)

(d)ねじ推進機構をもつヘビ型ロボットの先頭追従制御

ねじ推進機構はブレード部に配置された受動車輪の横滑りをしないという1階の非ホロミックな速度拘束を満足している。ねじ推進機構を直列に結合したねじ推進ヘビ型ロボットの運動学モデルを導出し、その特徴を活かした先頭追従制御則を導出し、その有効性を検証することを目標として、以下を実施した。

1. 運動学モデルの導出とシミュレータの開発
 2. 先頭追従制御則の構築
 3. シミュレーションによる有効性の検証
- ### (2) 可変拘束・可変構造システムのダイナミクススペース制御・インテリジェンス

有限オートマトンを用いて構築した群行動アルゴリズムを実装し、群行動シミュレータを開発した。蟻の機能を模したロボットを用いた協調運搬タスクを実現させるために、群ロボットの改良を行い、実験により協調運搬タスクが創発されることを確認し、提案するアルゴリズムの妥当性を検証した (図2参照)。

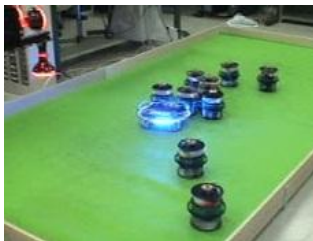


図2 蟻ロボットの協調運搬

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30件)

- ① Hiroaki Fukushima, Satoru Shinmura and Fumitoshi Matsuno, "Transformation Control to an Inverted Pendulum Mode of a Mobile Robot with Wheel-Arms Using Partial Linearization", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1683-1688, 2011. 査読有
- ② Tae Hyon Kim, Kiyohiro Goto, Hiroki Igarashi, Kazuyuki Kon, Noritaka Sato and Fumitoshi Matsuno, Path planning of an autonomous mobile robot considering region with velocity constraint in real environment, Proc. of The Sixteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2011 (AROB 16th'11), pp. 842-845, Beppu, Jan, Japan. 査読有
- ③ Kiyohiro Goto, Kazukuki Kon, Fumitoshi Matsuno, "Motion Planning of an Autonomous Mobile Robot Considering Regions with Velocity Constraint", Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), Taipei, pp. 3269-3274, 2010. 査読有
- ④ Keiichi Hoshino, Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno, Optimal Shape of a Snake Robot for Jumping, Proc. IEEE Int. Conf on, Robotics and Automation pp. 697-702, May, 2010. 査読有
- ⑤ 後藤清宏, 根和幸, 松野文俊, 速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画, 日本ロボット学会誌, 査読有, vol.28, no.8, pp.930-937, 2010
- ⑥ Amitava Chatterjee and Fumitoshi Matsuno, A Geese PSO tuned Fuzzy Supervisor for EKF based Solutions of Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Problems in Mobile robots, Expert Systems With Applications, Vol. 37, pp. 5542-5548, 2010. 査読有
- ⑦ 福島宏明, 田中基康, 亀川哲志, 松野文俊, "ねじ推進ヘビ型ロボットの先頭追従制御", 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol. 28, No. 6, pp. 707-714, 2010
- ⑧ 亀川哲志, 鈴木隆司, 大谷浩一, 松野文俊, "脆弱環境下での移動を実現するための4脚移動ロボットの足探り動作による足場認識と歩行の実現", 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol. 28, No. 2, pp. 215-222, 2010
- ⑨ 根和幸, 福島宏明, 松野文俊, 予測時刻

- 間の衝突回避を考慮した複数移動体のモデル予測編隊制御, 計測自動制御学会論文集, 査読有 Vol. 46, No. 7, pp. 383-390, 2010
- ⑩ 藤澤隆介, 今村光, 橋本敬, 松野文俊, フェロモン場を用いて誘引を行うロボット群の開発, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 (TOM), 査読有 Vol. 2, No. 2, pp. 80-91, 2009
- ⑪ 根和幸, 福島宏明, 松野文俊, 予測時刻間の障害物回避を考慮したモデル予測制御に基づく軌道計画法, 計測自動制御学会論文集, 査読有 Vol. 45, No. 8, pp. 406-413, 2009
- ⑫ 大原伸介, 浦野裕樹, 松野文俊, むだ時間と拘束条件を考慮したRCヘリコプターの制御系設計と実験による検証, 査読有 Vol. 75, No. 760, pp. 3216-3222, 2009
- ⑬ Takahiro Endo, Fumitoshi Matsuno and Haruhisa Kawasaki, Simple Boundary Cooperative Control of Two One-Link Flexible Arms for Grasping, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 54, No. 10, pp. 2470-2476, 2009. 査読有
- ⑭ Kazuyuki Kon, Hiroaki Fukushima, Fumitoshi Matsuno, Trajectory Generation based on Model Predictive Control with Obstacle Avoidance between Prediction Time Steps, SYROCO September, 2009, 査読有
- ⑮ Hiroaki Tsukano, Motoyasu Tanaka, Fumitoshi Matsuno, Control of a Snake Robot on a Cylindrical Surface Based on a Kinematic Model, SYROCO September, 2009, 査読有
- ⑯ Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno, A study on sinus-lifting motion of a snake robot with switching constraints, Proc. IEEE Int. Conf on Robotics and Automation, pp. 2270-2275, May, 2009. 査読有
- ⑰ Hiroaki Fukushima, Motoyasu Tanaka, Tetsushi Kamegawa and Fumitoshi Matsuno, Path-Tracking Control of a Snake-like Robot using Screw Drive Mechanism, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1624-1629, Sep, 2008, 査読有
- ⑱ Yong Gao, Motoyasu Tanaka, Hiroaki Fukushima and Fumitoshi Matsuno, Singular Configuration Avoidance of a Snake-like Robot with Screw Drive Units, Proc. SICE Annual Conference 2008, pp. 3080-3085, Aug, 2008, 査読有
- ⑲ Shinsuke Oh-hara, Tomoya Itoh and Fumitoshi Matsuno, The Driving Control System for Articulated Mobile Robots, Proc. SICE Annual Conference 2008, pp. 2410-2413, August/2008, 査読有
- ⑳ Shinsuke Oh-hara and Fumitoshi Matsuno, Formation Control of Multiple Rescue Robots with Collision Avoidance, Proc. SICE Annual Conference 2008, pp. 1638-1641, August, 2008, 査読有
- 21 Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno, Modeling and Control of a Snake Robot with Switching Constraints, Proc. SICE Annual Conference 2008, pp. 3076-3079, Aug, 2008, 査読有
- 22 Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno, Control of 3-dimensional Snake Robots by Using Redundancy, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1156-1161, May, 2008, 査読有
- 23 Ryusuke Fujisawa, Shigeto Dobata, Daisuke Kubota, Hikaru Imamura, Fumitoshi Matsuno, Dependency by Concentration of Pheromone Trail for Multiple Robots, Proc. Sixth International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, pp. 283-290, 2008, 査読有
- 24 Ryusuke Fujisawa, Hikaru Imamura, Takashi Hashimoto, Fumitoshi Matsuno, Communication Using Pheromone Field for Multiple Robots, Proc. IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008 査読有
- 25 根和幸, 福島宏明, 松野文俊, 衝突回避問題に適合した分枝限定法に基づく複数移動体の編隊制御, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 44, No. 1, pp. 36-43, 2008
- 26 Amitava Chatterjee, Ranajit Chatterjee, Fumitoshi Matsuno, and Takahiro Endo, Augmented Stable Fuzzy Control for Flexible Robotic Arm Using LMI Approach and Neuro-Fuzzy State Space Modeling, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 査読有, Vol. 55, No. 3, pp. 1256-1270, 2008
- 27 Ryo Miyauchi, Naoji Shiroma and Fumitoshi Matsuno, Compact Image Stabilization System Using Camera Posture Information, Journal of Field Robotics, 査読有, Vol. 25, No. 4-5, pp. 268-283, 2008.
- 28 田中基康, 松野文俊, 平面を移動する3次元ヘビ型ロボットの協調制御, 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol. 26, No. 6, pp. 493-501, 2008.

- 29 Noritaka Sato and Fumitoshi Matsuno, Development of a High Mobility wheeled Rescue Robot with a 1-DOF Arm, Int. J. Advanced Mechatronic Systems, 査読有, Vol. 1, No. 1, pp. 10-23, 2008.
- 30 田中基康, 松野文俊, 3次元へび型ロボットの冗長性を利用した制御, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 44, No. 12, pp. 970-978, 2008

[学会発表] (計 19 件)

- ① Fumitoshi Matsuno, Rescue robot systems -From snake-like robots to human interface-, Plenary Talk, Proc. of The Sixteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2011 (AROB 16th '11), Beppu, Oita, Japan, January 27-29, 2011
- ② 金兌炫, “確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”, つくばチャレンジ2010 開催記念シンポジウム, 東京都, 1月8日, 2010
- ③ 金兌炫, “自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第20報 確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”, 第11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, 仙台市, 12月23日, 2010
- ④ 有泉亮, “速度履歴に基づくねじ推進へび型ロボットの先頭追従制御”, 第28回日本ロボット学会学術講演会, 名古屋市, 9月23日, 2010
- ⑤ Fumitoshi Matsuno, Constructive understanding of intelligent behavior of animals - From redundant system to swarm -, Invited Talk, Seventh Int. Symposium on Neural Networks (ISNN2010), Shanghai, China, June 8, 2010.
- ⑥ Fumitoshi Matsuno, Rescue robot systems - Development of high-functionality multiple robot system and robust/scalable information infrastructure ?, Plenary Talk, The 3rd SJTU-UEC Joint Workshop on Robotics and Artificial Intelligence, Shanghai, China, June 8, 2010.
- ⑦ 松野文俊, RTとITを基盤とした国際救助隊サンダーバードを目指して, 招待講演, 計測自動制御学会中国支部 特別講演会, 広島大学, 5月22日, 2010
- ⑧ 松野文俊, 生物の運動知能の構成論的理解 冗長系から群れへ, 第54回システム制御情報学会研究発表講演会, 招待講演, 京都リサーチパーク, 5月20日, 2010
- ⑨ 大原伸介, “方角指定操作による複数大移動ロボットの半自律制御システムの開発”, 第54回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都リサーチパーク, 5月20日, 2010
- ⑩ Fumitoshi Matsuno, Rescue Robot Systems From Snake-like Robots to Human Interface, Invited Talk, Int. Conf. on Intelligent Human Computer Interaction, (Proc. Int. Conf. on Intelligent Human Computer Interaction pp. 54-70, Springer), India, January 18, 2010
- ⑪ 後藤清宏, 自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第13報:速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの実機検証, 第10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, 芝浦工業大学, 12月24日, 2009
- ⑫ 清水裕亮, フェロモン・コミュニケーションによるロボット群の協調運搬, 第52回自動制御連合講演会, I4-4, 大阪大学豊中キャンパス, 11月21日, 2009
- ⑬ 後藤清宏, 自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第10報:速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 横浜国立大学, 9月17日, 2009
- ⑭ 星野恵一, “へび型ロボットの跳躍におけるベース部の形状評価”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 横浜国立大学, 9月15日, 2009
- ⑮ 松野文俊, 生物規範ロボットからレスキューロボットまで -究極のヒューマンサポートシステムを目指して-, 招待講演, 計測自動制御学会インテリジェント・システム研究会, 箱根, 12月12日, 2008
- ⑯ 根 和幸, 自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第4報:編隊制御モジュール群, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 神戸, 9月9日, 2008
- ⑰ Fumitoshi Matsuno: “Rescue Robot Systems - From Snake-like Robots to Human Interface -”, Invited Speech, SICE Annual Conference 2008, Chofu Japan, August 21, 2008
- ⑱ 松野文俊, レスキューロボットシステム研究開発最前線, 基調講演, 情報処理学会全国大会特別セッション「最先端IT技術による防災・減災の現在と未来」, 立命館大学草津キャンパス, 3月10日, 2008
- ⑲ 藤澤隆介, フェロモン場を用いて誘引を行う群知能, 第20回 自律分散システム・シンポジウム, 長野, January 24-25 2008.

〔図書〕(計1件)

1. 著者名(編者): 松原、野田、松野、
稲見、大須賀
出版社: ナノオプトニクス・エナジー
署名: 「ロボット情報学ハンドブック」
発行年: 2010 総ページ数: 943

〔その他〕

(報道関連)

1. 平成23年1月22日
BS日テレ よい国のニュース
2. 平成22年1月15日
NHK 全国版 「おはよう日本」
3. 平成22年1月5日
読売新聞 「震災死神大院生の遺志継ぐ
長田に救助ロボ研究拠点」
4. 平成21年5月3日テレビ東京
ロボつく 空想科学バラエティ 第30回
「ロボットが人を助ける!?!」
5. 平成20年11月17日
日本経済新聞 「ロボット連携 被災者捜
索」
6. 平成20年1月24日
テレビ朝日 「いいはなシーサー」
7. 平成20年1月16, 17日
ニッポン放送 「小倉淳の早起き Good
Day!」レスキューロボットの紹介

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松野 文俊(MATSUNO FUMITOSHI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00190489

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号: