

機関番号：34406

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20700187

研究課題名（和文） 自律分散汎用多脚システム “Universal Unipods”

研究課題名（英文） Autonomous Multi-legged System “Universal Unipods”

研究代表者

小林 裕之 (KOBAYASHI HIROYUKI)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80338219

研究成果の概要（和文）：本研究では、単純な機構を有する多数の自律単脚ロボットが協調して単一の物体の運搬を行う新たな自律分散機械システムの提案を行った。このシステムは性能の低下を伴うことなく、必要に応じて自由に規模を拡大・縮小ができる非常に柔軟な性質を持つことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This study deals with a novel multi-robot system called “Universal Unipods” system, in which a lot of simple autonomous monopedal robots work cooperatively. The fact that the system is flexible in its scalability even with increasing number of robots is revealed through the 3 year research.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	400,000	120,000	520,000
2009 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010 年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：ロボット工学

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：自律分散系, 人間機械協調系

## 1. 研究開始当初の背景

多数のロボットが協調してタスクを実行する群ロボットというアイデアがある。その歴史は長く、1980 年代からさまざまな議論が行われてきたものの、未だに実用に供するようなものの提案は行われていない状況であった。そこで、現実の人間社会の中で有用な作業をできるだけ汎用的に行うロボットシステムの提案が必要であると考えた。

## 2. 研究の目的

現実の人間社会において有用かつ基本的なタスクとして、さまざまな物体の運搬が挙げられる。これを汎用的に実行可能な自律分

散汎用多脚システム “Universal Unipods” を提案し、制御系の実現手法を明らかにし、その有効性を示し、定量的に評価することが本研究の目的である。

その中で中心的な役割を持つ “Universal Unipods” について説明する。本システムでは一人の人間のオペレータが多数の単脚ロボット “Unipod” と協力して単一物体 (LOAD) を運搬する。Unipod は単純な単脚ロボットで多くの先行研究で考案されているような自立能力を持たず、単体では物体の搬送も自律移動の能力もない。そのため、人間あるいは他の Unipod との機械的な結合を伴う協調が不可欠となる。機械的な結合による協調作

業には複雑な事前の設定（相対的な位置関係やロボット総数、搬送物に関する情報等）が必要になるケースが多いが、本システムではこの点の単純化が大きな特徴になっている。すなわち、オペレータは十分な数の Unipod を搬送対象物に機械的に取り付けるだけで準備が完了する。もし力が足りなかったり、移動（歩行）が不安定であったら、必要なだけいくらかでも Unipod を追加すればよいという単純な考え方である。

このような発想で、誰もが簡単に使える自律分散ロボットシステムを目指す。このシステムは自律分散系に特徴的に備わる、耐故障性・拡張性といった性質のほかに、「取り付けるだけで」使える使いやすさ、そして「何でも」運べる汎用性・柔軟性をもつシステムである。

### 3. 研究の方法

研究は以下の(1)~(4)のフェイズで行った。ただし、これらは時間的には重なったり部分的に入れ替わったりするものもあるため、必ずしも時系列にはなっていない。

- (1) 物理エンジンを用いたシミュレータを開発し、提案するロボットシステムを計算機上に実現する。
- (2) このシミュレータを用い、制御系を検討し、設計する。
- (3) シミュレーションではわからない問題を明らかにするために、(2)と並行して実機を製作する。
- (4) シミュレーションもしくは実機を用いて提案手法の有効性を評価する。

### 4. 研究成果

システムの提案と基本的な有効性については、物理エンジンのひとつ、Open Dynamics Engine を用いた計算機シミュレータ（図1）を開発することで行った。

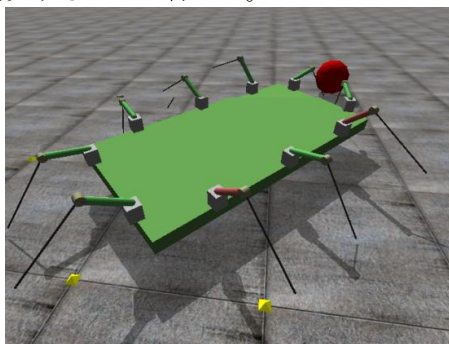


図1 開発したシミュレータ

このシミュレータを用いて、さまざまな制御系を設計し、検討した。図2は本研究で明らかにした2層2モード制御系の概念図である。ロボットは物体と自身の物理的な支持を優先する anti-tumbling 層とロボット間の協調

を優先する cooperation 層を、センサ情報などを元に適切に切り替えることで、システム全体としての円滑な動作を実現する。

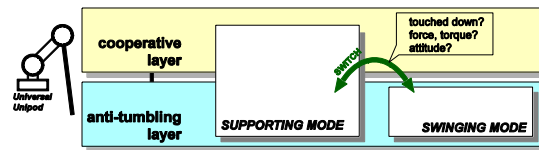


図2 提案した2層2モード制御系

この制御系を用いることで、自律分散系として本システムを見たときに、投入したエージェント（ロボット）数に応じて性能が向上することを定量的に示すことが確認できた。図3はその様子を示したシミュレーション結果である。図はエージェント数が8の場合と10の場合の移動距離の比較である。10の場合、まず自明な結果として移動の安定性は高まるが、協調が適切に行われないとシステム全体として移動速度の低下が起こる可能性がある。しかしながら提案手法を用いることで、この速度の低下が起こらず、目標通りの性能が得られていることが図からわかる。これは群ロボットシステムを使う上で非常に望ましい性質であると言える。

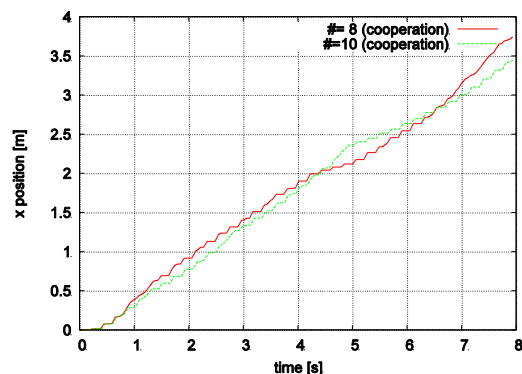


図3 ロボット数による性能の比較

次に当初想定あるいは計画していなかった成果として以下に3点を挙げる。

まずは、システム全体としての歩容動作の創発である。図4は4体のUnipodロボットによる物体の運搬時の各ロボットの接地状態を示した図である。陽に歩容パターンを組み込んでいない分散制御系においては、通常これらのロボットは不規則な「歩容」パターンを示すと考えられるが（そして本システムでも実際そうなるが）、この図で示した時間においては4足の動物にみられるトロットの歩容パターンが観察された。これは行動アルゴリズムに陽に組み込んだものではないため、自律分散系でしばしば議論される創発のようなものだと考えている。

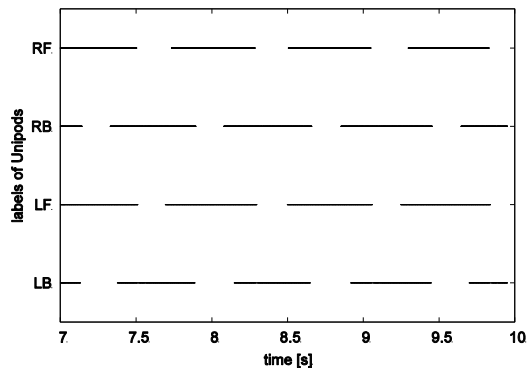


図 4 Unipod4 体による歩容パタンの創発

第 2 に、機械的振動を利用したロボット同士の相対位置推定の提案である。これは本研究のように単一の物体を把持する複数のロボット間で幅広く用いることが新たな相対位置推定法である。

そしてもう一つが、上記の位置推定手法を研究している際に着想を得た、機械的振動を用いた新しいロボット間通信“Mechanical Messaging”のアイデアである。力センサとアクチュエータを持つロボットが追加の装備なしに通信を行うための手法で、シミュレーションおよび実験で有効性を示した。

ロボットの実機については最終的にアクチュエータとセンサ類を統合した機構および動作の試験用の試作機(図 5)を完成させることができた。本試作機によりシミュレーションでは省略していた機構や運動学における詳細部分に関しての知見を得ることができた。



図 5 開発した機構試作機

試作機の開発を通じて、ロボットシステムとして実現する際に最適な設計を行うための指針を得ることができたため、次の段階と

してより小型・軽量で扱いやすいモデルの実現を目指して引き続き研究を行っている。本研究の基本的な発想に、誰もが簡単に使える自律分散ロボットシステムというものがあり、今後はこの目標に向けてさらに研究を進めていきたい。

## 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 0 件)

[学会発表] (計 13 件)

① 小林裕之「人間の活動支援のための汎用運搬補助ロボットにおけるロボット間力覚通信」平成 22 年電気学会産業応用部門大会, pp. II-213-218, 2010/8/24-26, 東京都

② H. Kobayashi, D. Miyauchi, H. Hashimoto, “Mechanical Communication in Multiple Robot System,” IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 1895-1900, 2010/7/4-7, パーリ(イタリア)

③ 青木智哉, 宮内大地, 小林裕之「自律分散汎用運搬システムにおけるロボットの開発」ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 2A2-B29(1)-(3), 2010/6/16, 北海道旭川市

④ 小林裕之, 宮内大地, 橋本洋志, 「高品質生活のための汎用運搬システム Universal Unipods」, 平成 21 年電気学会産業応用部門大会, pp II-15-20, 2009/8/31, 三重県津市

⑤ H. Kobayashi, D. Miyauchi, H. Hashimoto, “Cooperative Estimation of Geometrical Placement by Decentralized Autonomous Robots as in Inter-Robot Service,” ICCAS-SICE2009, pp. 2758-2762, 2009/8, 福岡県福岡市

⑥ H. Kobayashi, D. Miyauchi, H. Hashimoto, “A Multiple Monopedal Robots System for Universal Transportation,” 2009 IEEE Multi-conference on Systems and Control, pp. 1756-1760, 2009/7/10, サンクトペテルブルク(ロシア)

⑦ 宮内大地, 小林裕之「人間の運搬作業を補助する自律分散型多脚ロボットシステムに関する研究」ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 1A1-A18(1)-(3), 2009/5/25, 福岡県福岡市

⑧ 小林裕之, 橋本洋志 「自律分散型ロボットにおけるユニバーサルインタフェースの一提案「Universal Unipods」」第9回計測自動制御学会 SI 部門大会, pp. 651-652, 2008/12/6, 岐阜県岐阜市

⑨ 小林裕之, 橋本洋志 「人間の運搬作業を補助する汎用多脚システムに関する研究」平成20年電気学会産業応用部門大会, pp. II-241-246, 2008/8/29, 高知県高知市

⑩ H. Kobayashi, H. Hashimoto “Universal Unipods” --- A New Autonomous Decentralized Multi-pedal Robot System, SICE Annual Conference 2008, pp. 138-141, 2008/8/20, 東京都

⑪ 小林裕之, 橋本洋志 「ユニバーサルデザインを目指した分散型 Unipod のデザインコンセプト」第27回日本シミュレーション学会大会, pp. 421-424, 2008/6/20, 滋賀県草津市

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林 裕之 (KOBAYASHI HIROYUKI)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80338219