

分散ネットワーク構造を有する超高速認識行動システム Ultra-High-speed Sensory-Motor System Based on Distributed Network Architecture

石川 正俊 (ISIKAWA MASATOSHI)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授



研究の概要

階層型統合モデルに基づく高速センサフィードバックを、より大規模な分散ネットワーク構造に拡張するため、多数のセンサとアクチュエータをネットワーク上で結合した、実環境に高速かつ柔軟に対応する認識・行動システムを実現した。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード

工学／機械工学／知能機械学・機械システム

1. 研究開始当初の背景・動機

近年、自動化システムの大規模化に伴って、多数のセンサとアクチュエータを分散ネットワーク上で結合し、環境の変化に有機的かつ高速に応答する大規模な認識・行動システムの必要性が高まっている。しかし現状ではセンサ、アクチュエータなどの高速性に問題があり、また分散ネットワーク上の情報統合などの理論的な基盤とハードウェア技術の未整備という問題もあって、実現されていない。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者らがこれまでに構築してきた階層型統合モデルに基づく高速センサフィードバックを、より大規模な分散ネットワーク構造に拡張するため、新たな情報統合理論を打ち立て、システムアーキテクチャを拡張することを目的とする。具体的には基盤技術として i) 階層並列構造による感覚運動統合、ii) 認識と行動の超高速性、iii) 分散ネットワーク構造、の3つを明らかにしたうえで、最終的にこれらを統合し、多数のセンサとアクチュエータをネットワーク上で結合した、実環境に高速かつ柔軟に対応する認識・行動システムを実現する。

3. 研究の方法

本研究では、システム全体のアーキテクチャ設計、主にロボット制御を対象とする高速センサフィードバックの研究、高速ビジョンモジュールやそのアーキテクチャを対象とする階層並列型処理システムの研究、センサとロボットの分散ネットワーク設計の研究の4つの分担に分かれて研究を行った。

主な研究設備としては、分散センサネットワークの各ノードとなる高速ビジョンチップシス

テム、ロボット制御のための実時間並列処理システムを購入した。

4. 研究の主な成果

①高速ビジョンネットワークシステムの構築

高速で移動する複数の対象を、広い範囲で観測し、かつ、オクルージョンによる死角などが生じないように観測することをめざして、100BASE-TX イーサネットインタフェースを備えた高速ビジョンネットワークを構築した。UDP または TCP を用いて、カメラからネットワーク上の他のノード(他のカメラや PC 等を含む)にデータを一定の周期(最小 1ms)で送信し続けるモードを実装した。



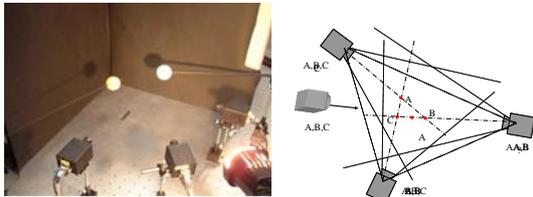
②分散センサネットワーク情報処理アルゴリズム

カルマンフィルタを利用したセンサフュージョン手法であるDTKF (Delay-Tolerant Kalman Filter)を提案した。DTKF では、各時刻に対応したバッファを許容したい最大遅延時間の時刻数だけ用意し、センサからの観測情報が到着するごとに、対応する時刻のバッファにこれを加算し、その総和値を観測更新に用いる。本手法は、センサ数の増大に対して優れたスケーラビリティを有しており、最適センサ選択に用いることもできる。

[4. 研究の主な成果 (続き)]

③多眼高速ビジュアルフィードバックシステム

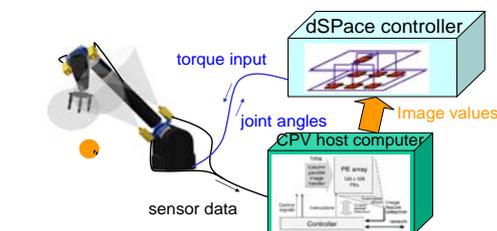
複数の高速ビジョンを用いた多眼高速ビジュアルフィードバックシステムを構築し、各ビジョン情報の相互補完による、オクルージョンにロバストな複数対象の 3 次元トラッキングを実現した。多数のビジョンを用いることで計測範囲、精度の向上、オクルージョン回避などが実現できると考えられる。その中でビジョンの配置に大きく依存するオクルージョン回避のための最適配置について考察した。まず、対象の大きさを無視した場合に、n 個の物体の3次元トラッキングを行う場合には、ビジョンは n+1 個必要であることを証明した。また、オクルージョン問題を解決するには、対象同士の距離が離れている必要がある。その距離をオクルージョン限界距離と定義し、その距離を最小化する配置を最適と定義した。最適配置に基づき、各ビジョンの視野間を移動する複数物体を行った。



④階層並列構造による感覚運動統合の実現

分散ネットワーク構造に対応して、多数のセンサシステムと多数のロボットシステムをリアルタイムで接続するために、複数のリアルタイム処理システムとロボットシステム、センサシステムを統合した並列分散処理システムを開発した。

この並列分散処理システムを用いて複数のタイプの実験を行った。(1)バッティング、(2)高速ビジョンをマスタとして用いたロボットハンドの遠隔操作、(3)アームに搭載したビジョンによる高速障害物回避、(4)ロボットハンドによる紐結び、などの様々なデモンストレーションを行った。



5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究はビジョンチップによる超高速視覚処理や超高速マニピュレーションなど、他の研究に類をみない基盤技術要素を含むものであり、これらを統合した大規模リアルタイム制御の研究は、国内外でほとんど研究されておらず、本研究が先駆的なものである。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1. 妹尾拓、並木明夫、**石川正俊**: 高速打撃動作における多関節マニピュレータのハイブリッド軌道生成、日本ロボット学会誌、Vol.24, No.4, pp.515-522 (2006)
2. 鏡慎吾、**石川正俊**: センサフュージョン — センサネットワークの情報処理構造 —、電子情報通信学会論文誌 A Vol.J88-A, No.121, 1404-1412 (2005)
3. 鏡慎吾、**石川正俊**: 通信遅延を考慮したセンサ選択手法、電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J88-A, No.5, pp. 577-587 (2005)
4. 小室孝、鏡慎吾、**石川正俊**: ビジョンチップのための動的再構成可能な SIMD プロセッサ、電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II No.11, pp.1575-1585 (2003)
5. Akio Namiki, Koichi Hashimoto, **Masatoshi Ishikawa**: Hierarchical Control Architecture for High-speed Visual Servoing, The International Journal of Robotics Research, vol.22, no.10, pp. 873-888 (2003)
6. Hiromasa Oku, **Masatoshi Ishikawa**, Theodorus, and Koichi Hashimoto: High-speed autofocusing of a cell using diffraction pattern, Optics Express, Vol.14, pp.3952-3960 (2006)
7. Takashi Komuro, Shingo Kagami, **Masatoshi Ishikawa**: A Dynamically Reconfigurable SIMD Processor for a Vision Chip, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 39, No. 1, pp. 265-268 (2004)
8. Takashi Komuro, Idaku Ishii, **Masatoshi Ishikawa** and Atsushi Yoshida : A Digital Vision Chip Specialized for High-speed Target Tracking, IEEE transaction on Electron Devices, Vol.50, No.1, pp.191-199 (2003.1)
9. 渡辺義浩、小室孝、鏡慎吾、**石川正俊**: ビジョンチップのためのマルチターゲットトラッキングとその応用、電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II No.10, pp.1411-1419 (2003)

ホームページ等

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/>