

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間： 2007 ～ 2009
 課題番号：19560257
 研究課題名（和文） 瓦礫上踏破ロボットの実現を目的とした
 水平分散アーキテクチャ応用に関する研究
 研究課題名（英文） On a flat distributed architecture application aiming
 to realize a rubble walker robot
 研究代表者
 徳田 献一（TOKUDA KENICHI）
 和歌山大学・システム工学部・助教
 研究者番号：60335411

研究成果の概要（和文）： 認知ロボティクスの知見から構成を行ったロボットソフトウェアシステム「水平分散アーキテクチャ」FDNet の拡張について、ロボットミドルウェアとしての基盤整備を行い、身体性の拡張を目指して空中飛翔体の自律移動を行い、それぞれが独立したシステムとして完成させることにより、本研究の成果システムの実現を目指した。

具体的な成果として、身体性の拡張を行うため、複数の独立した水平分散アーキテクチャのそれぞれが管理する機能要素を外部の水平分散アーキテクチャの一部として機能させる拡張型水平分散アーキテクチャ FDNet-CM を完成させた。また、空中飛翔体の自律システムとして、新たに開発した制御基板システムを用いた操縦支援システムを構築し、速度フィードバックに必要なパラメータを明確にすることにより、ラジコンヘリコプタの操縦支援システムの速度フィードバックを実現した。

研究成果の概要（英文）： We designed of a robot software system “ Flat Distributed Network architecture ” (FDNet) for the extension of infrastructure as a kind of robot middle ware by using knowledge of cognitive robotics. Then we contributed a flier movement in the body aims to extend the flight of the body. As a concrete result, for the expansion of the body extended flat distributed architecture work as part of the external FDNet, each element of the architecture features a distributed control of multiple independent flat completion FDNet-CM. The aerial flying system in the body, and control support system using a newly developed system control board to clarify the parameters for the necessary velocity feedback, the feedback control system of radio control helicopter support realized.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：人間機械システム，レスキューロボット

1. 研究開始当初の背景

近年のロボット技術の進歩により、ヒューマノイドロボットをはじめとする複数のセンサおよびアクチュエータを備えた複雑なロボットシステムの開発が広く行われるようになってきた。しかし、システムが高度かつ複雑になるにつれて、ロボットに搭載されたセンサやアクチュエータなどのデバイスをロボット設計者が把握することは困難になってきている。さらに、これはハードウェア設計時においてだけでなく、ロボットの動作設計、動作プログラム時における困難さは顕著となってきている。そのため、ロボットに対して、人間の動作を模倣することを試みる認知ロボティクスの知見にもとづくロボット設計の取り組みがなされている。本研究の対象としている水平分散アーキテクチャ (FDNet) は、人間の動作を模倣することを目的としたロボット基盤ソフトウェアシステムである。この水平分散アーキテクチャは、人間の動作を模倣する仕組みとして、脳神経回路を仮想的なソフトウェアとして実現したものである。具体的には瓦礫上歩行する脚型ロボットによる足探り動作の実現をしてきた。

一方、ロボット設計において、いったん設計されたハードウェアを運用者がシステム構成を運用環境にあわせて再構成することを目的とするロボットミドルウェアの開発がされている。日本の RT ミドルウェアに代表されるロボットミドルウェアは、既存のロボットデバイスを広く相互接続するための通信システムとユーザインタフェースを備え、規模の大きいロボットシステムの動作の可能性を拡大しつつある。このようなロボットミドルウェアと比べた時、水平分散アーキテクチャ FDNet は、動作設計のユーザインタフェースを備え、デバイス間の通信プロトコルも共通化されていることから、ロボットミドルウェアの一種として見なすことができる。

以上のことから、水平分散アーキテクチャ FDNet をロボットミドルウェアとしてのソフトウェア基盤を整備することは有意義であると考えた。また、応用対象として、レスキューロボットのセンサシステムの拡張を目指した。これは、ロボット単体に搭載されるセンサ資源が貧弱なロボットにおいて、他のロボットと協調し、センサ情報やセンサシステムそのものを共有することは、レスキューロボットシステム構築の上で急務であったからである。

2. 研究の目的

研究開始当初の背景から、本研究の目的を次のように整理した。

(1) ミドルウェアとしてのソフトウェア基盤の整備

(2) ロボットの身体性の拡張

ミドルウェアとしてのソフトウェア基盤の整備として、最初の応用例である瓦礫踏破動作におけるライブラリの充実を行うこと、および、水平分散アーキテクチャのライブラリ依存性を解消し、一般的な計算機システム上で動作可能なプログラム群として整備することを目的とした。

ロボットの身体性の拡張については、地上の足探りを行う地上ロボットに対して、空中飛翔ロボットとのソフトウェア共有を目指して、小型ヘリコプタの自動操縦システムの実現を目的とした。

3. 研究の方法

瓦礫踏破ロボットのための水平分散アーキテクチャの応用システムを実現するために、研究目的別にサブゴールと課題を分割し研究を実施した。

(1) ミドルウェアとしてのソフトウェア基盤の整備

水平分散アーキテクチャ FDNet および、足探りロボット実験装置 (図1) を用いて、足探り動作ライブラリの充実を図る。具体的には、ロボットのアクチュエータ固有の動作プログラムを、その動作ごとに文飾化を図り、1つのアクチュエータと1つのセンサの組み合わせを単位とする動作プログラムを構築する。水平分散アーキテクチャ FDNet の当初の実装は、VineLinux 2.4 上での Java VM 上で行われた。しかし、ライブラリ Glib 依存部分が多く、最新 Linux カーネルを持つ計算機システムへの移植が困難であった。そのことから、FDNet 実装プログラムのライブラリ依存部分の解消をはかるためクラスの再

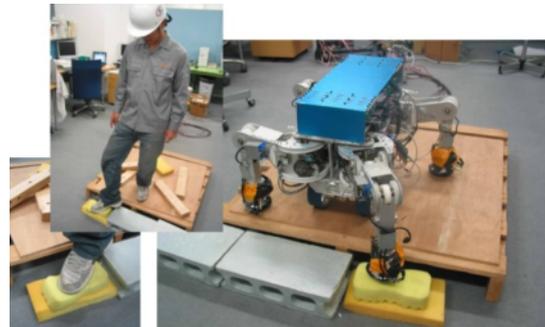


図1 足探り動作実験システム

構築をはかる． 複数システムに導入された水平分散アーキテクチャシステムがある場合，このシステム同士が相互に接続する場合，お互いが対等に接続し，お互いが持つハードウェア資源へのアクセスを許可するシステムを導入する．具体的には，システム間の通信接続時に，お互いが持つハードウェア資源を持つデータベースアクセスのための参照を交換するプロトコルを導入する．

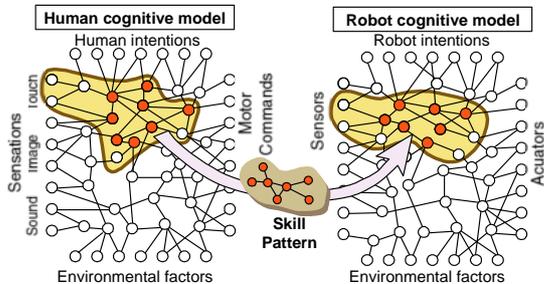


図2 FNet を介した動作模倣

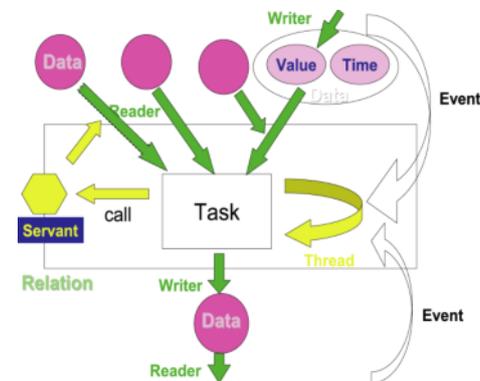


図3 FNet の実装

(2) ロボットの身体性の拡張

センサ統合システムとして，センサからの出力を，FNet システム内のデータベースに格納し，その参照を利用することで実現する． 空中飛翔体の実現について，ホビー用小型ヘリコプタのための操縦支援システムの構築を行う．具体的には，小型ヘリコプタに搭載する制御基板を新たに開発し，人間操縦者が操縦するヘリコプタ搭載カメラの姿勢制御を目的とした制御システムを構築する． 空中飛翔体についての，位置制御のために必要なパラメータを明らかにし，地上ロボットシステムからのパラメータ調整を受け付ける身体性拡張システムとしての基盤整備を行う．

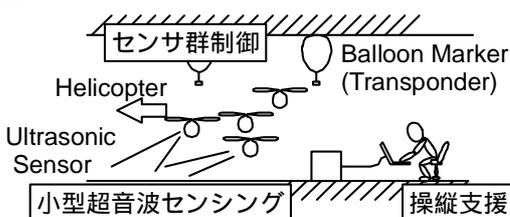


図4 空中飛翔体の実現

4. 研究成果

前章の研究方法に掲げた課題ごとの研究方法にもとづき次の成果を上げた．

(1) ミドルウェアとしてのソフトウェア基盤の整備

FNet 上でのロボットデバイスの取り扱いとして，モータ・ポテンショメータを単位とするモジュールロボットを構成し，ロボット動作プログラムをFNet 上のインタフェースから実現する環境を整えた(図5)．

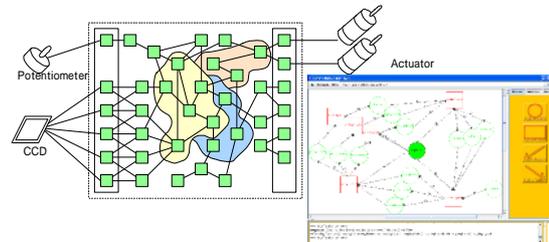


図5 モジュール単位でのロボットシステム実現

FNet の新たな実装として，ライブラリ依存部分をハードウェア固有のコードと FNet システム部分とに分離を行い，FNet 部分を新たに実装し，Ubuntu Linux 9.04 や，Vine Linux 5.0 などの上での動作を確認した．その上で，ハードウェア固有コードとのインタフェースを作成し，ハードウェアデバイスとの接続を容易にした．

複数の水平分散アーキテクチャシステム同士が相互に接続するプロトコルを備えた FNet-CM を新たに開発し，モータおよびポテンショメータを持つ複数システムでの接続により動作および実装を確認した．

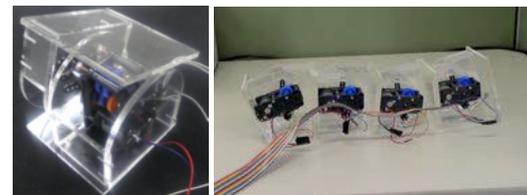


図6 モータ・ポテンショメータ1対のモジュールを組み合わせた実装

(2) ロボットの身体性の拡張

センサ統合システムとして，センサからの出力を，FNet システム内のデータベースに格納し，その参照を利用することで実現する．

ホビー用小型ラジコンヘリコプタ(以下RCヘリ)のための操縦支援システムの構築を行った．構築システムは，地上を撮影するためのカメラを搭載し，GPS による速度フィードバックによりカメラ姿勢を安定化することのできるシステムである．具体的には，T-Rex ジャパン製の T-ReX 600CF を使用し，操縦用の送信機および，受信機には双葉電子

製 T12FH ヘリ用セットを使用した。



図7 操縦支援システムを組み込んだ小型ラジコンヘリコプタ

制御基盤には、マイコン H8/3069F および CPLD (アルテラ MAX2) を使用したものであり、マイコンは制御プログラムの実行、CPLD は受信機からの PWM 信号の読み取りおよびサーボモータへの PWM 信号の出力を行わせるよう設計した。このシステムの特徴として、送信機の 9ch の信号を読み取り、マニュアル操作を行うマニュアルモードと操縦支援を行うサポートシステムの切り替えを行うデュアルシステムにある。このシステムにより、マイコンに不具合が起きたとしてもマニュアルモードにより安全な操作が行うことができる。また、サポートモードの姿勢制御動作時にもマニュアル操作を優先する。

空中飛翔体についての、位置制御のために必要なパラメータを明らかにするため、ブレード翼素理論に基づく制御系構成を行った。このシステムにおいては、誤差が 15m 程度と大きい GPS 位置情報を用いているが、速度フィードバックにより機体の傾斜や外乱によって生じた速度を打ち消すことができる (図 8)。

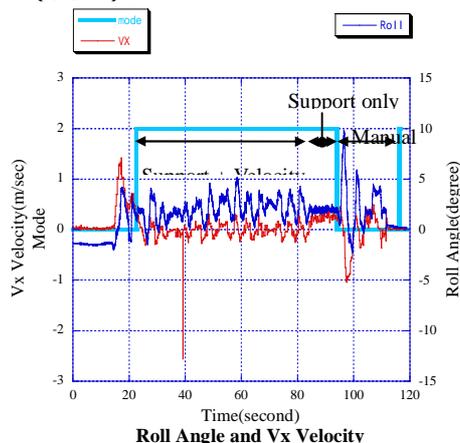


図8 速度フィードバック実験結果

以上の研究成果を次のように総括する。水平分散アーキテクチャ FNet のロボットモデルウェアとしての基盤整備については、一般

的な計算機システムおよびオペレーティングシステム上での動作可能なシステムとして再構築することができ、また、複数システムに導入された FNet 間の協調システムを実現できたことから本研究の主目的の一つである水平分散アーキテクチャ応用の基盤が整ったと言える。また、ロボット身体性拡張のための空中飛翔体への展開については、小型 RC ヘリコプタの操縦支援システムを構築し、その速度フィードバックのためのパラメータを明らかにしたことにより地上ロボットシステムとの接続可能な空中飛翔体実現の1段階を達成したと考える。

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)

[学会発表](計 21 件)

- (1) 徳田 献一, 三輪 昌史, 瓦礫上踏破ロボットのための水平分散アーキテクチャによるセンサ統合, 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, 2009 年 12 月 24 日, 芝浦工業大学
- (2) 三輪 昌史, 谷林 宏紀, 木下 健太郎, 松島 誠, 南 潔, 松浦 良彦, リモートコントロールサポートシステムによる RC ヘリを用いた空撮作業支援, 第 52 回自動制御連合講演会 (SI2009), 2009 年 11 月 12 日, 大阪大学
- (3) 上原 章範, 徳田 献一, 自律分散ロボットのための CORBA 通信モジュールの開発, 第 14 回知能メカトロニクスワークショップ, 2009 年 9 月 26 日, 和歌山大学
- (4) 三輪 昌史, 谷林 宏紀, 木下 健太郎, 松島 誠, 南 潔, 松浦 良彦, リモートコントロールサポートシステムを搭載した無人ヘリによる映像配信, 第 14 回 知能メカトロニクスワークショップ, 2009 年 9 月 26 日, 和歌山大学
- (5) 徳田 献一, 三輪 昌史, 水平分散アーキテクチャを核としたロボットシステム - FNet 通信システムの設計とモニタシステムへの接続 -, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009 年 9 月 17 日, 横浜国立大学
- (6) 三輪 昌史, 谷林 宏紀, 木下 健太郎, 松島 誠, 南 潔, リモートコントロールサポートシステムを搭載した無人ヘリによる航空撮影, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009 年 9 月 15 日, 横浜国立大学
- (7) 三輪 昌史, ICT 技術とリモートコントロールサポートシステムの融合による地域情報収集システム, 平成 21 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2009 年 9 月 4 日, 徳島大学

- (8) 三輪 昌史, 無人ヘリを用いた空撮のためのリモートコントロールサポートシステム, 第79回パターン計測部会研究会, 2009年7月31日, 徳島大学
- (9) 三輪 昌史, 谷林 宏紀, 松島 誠, 南 潔, リモートコントロールサポートシステムによる無人ヘリの操縦支援 速度フィードバックによる位置制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009年5月25日, 福岡国際会議場
- (10) 徳田 献一, 脚型災害救助ロボットのための能動触角, 第9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(SI2008), 2008年12月6日, 長良川国際会議場(岐阜県)
- (11) 徳田 献一, 災害救助を目的としたユニット型多脚モジュール, 第9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(SI2008), 2008年12月6日, 長良川国際会議場(岐阜県)
- (12) 徳田 献一, Module Robot Structure Design by FDNet, International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2008), 2008年10月17日, COEX(韓国ソウル市)
- (13) 三輪 昌史, Remote Control Support System for R/C Helicopter, The 7th International Conference on Machine Automation(ICMA2008), 2008年9月25日, 淡路(兵庫県)
- (14) 徳田 献一, 連結機構を持つ多脚レスキューロボット RoQ-III の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2008), 2008年6月7日, ビッグハット(長野市)
- (15) 三輪 昌史, リモートコントロールサポートシステムによる小型無人ヘリの操縦支援の効果, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2008), 2008年6月7日, ビッグハット(長野県)
- (16) 三輪 昌史, リモートコントロールサポートシステムの開発 - 光学式傾斜角検出センサを用いた姿勢安定システムの構築 -, 日本機械学会関西支部第83期定時総会講演会, 2008年3月15日, 大阪大学
- (17) 三輪 昌史, Remote Control Support System for Aerial Photograph, International Symposium on Biomimetics, Micro Air Vehicles, Unmanned Aerial Vehicles and Unmanned Vehicles(MAV'08 Symposium in Chiba), 2008年1月23日, 千葉大学
- (18) 徳田 献一, 多脚步行レスキューロボットのための能動触角センサの提案, 第8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(SI2007), 2007年12月22日, 広島国際大学教育センター
- (19) 三輪 昌史, 模型ヘリコプタの空撮支援装置の開発, 第4回 NCP フォーラム, 2007年12月6日, 広島県廿日市市宮島町大元公園
- (20) 徳田 献一, 連結機構を持つ多脚レスキューロボット RoQ-III の開発, 第25回日本ロボット学会学術講演会, 2007年9月14日, 千葉工業大学
- (21) 徳田 献一, 脚型レスキューロボットの瓦礫上歩行 - 地面認識と転倒安定性を考慮した歩行戦略 -, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2007), 2007年5月12日, 秋田拠点センターALIVE

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳田 献一 (TOKUDA KENICHI)
和歌山大学・システム工学部・助教
研究者番号: 60335411

(2) 研究分担者

三輪 昌史 (MIWA MASAFUMI)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・講師
研究者番号: 40283957

村田 頼信 (MURATA YORINOBU)
和歌山大学・システム工学部・准教授
研究者番号: 50283958