

平成 30 年 6 月 30 日現在

機関番号：32619
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2015～2017
 課題番号：15K00105
 研究課題名(和文) ビックデータ時代のロボットプラットフォーム

研究課題名(英文) Robot platform in the big data area

研究代表者

島崎 みどり (菅谷みどり) (Sugaya, Midori)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：50434288

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：超高齢化社会では、介護、医療現場の支援のためのロボット活用が必須である。しかし、ロボット活用に伴い収集されるビッグデータ処理の基盤となるプラットフォーム提案はなされていない。本研究では、複数台のロボットから得られる大量のデータに着目し、そのデータ処理の高速化、リアルタイム化、緊急時間帯域保証のための基盤の研究開発、また、複数台ロボットを用いた具体的なアプリケーション研究開発を目的とした。3年間を通じ新たなミドルウェアやその要素技術の研究開発の成果は雑誌論文2件、国際学会を含む学会発表51件、講演8件、受賞6件とIT技術を応用した新たなロボットの開発、発展的な研究成果の成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In an aging society, it is essential to utilize robots for nursing care and support of medical institutions. However, not sufficient platform proposal has been made as the foundation of the big data processing gathered with the use of the robot. In this research, focusing on to a large amount of data generated when multiple robots interact with people, research and development of the foundation for good performance, real-time processing, emergency band guarantee, and multiple units. Moreover, we consider the concrete application research and development using multiple robots. Throughout the three years, the results of R & D of new middleware and its elemental technologies were 2 journal articles, 51 conferences including international conferences, 8 lectures and 6 awards, development of new robots applying IT technology, these results of the developmental research results were obtained.

研究分野：オペレーティングシステム

キーワード：ロボットミドルウェア IXM Dyas 見守りロボット 声がけロボット リハビリロボット ロボットプラットフォーム IoR

1 研究開始当初の背景

65歳以上の高齢者が人口の1/4を占める超高齢化において、人とコミュニケーションを取りながら、人の一部の仕事をこなすロボットの登場が待ち望まれている。具体的には、介護、医療などの現場での支援、人間の知的活動、コミュニケーションの支援、知的な労働力の一部を担うことが含まれる。特に屋内で、コミュニケーションを主としたロボットを実現させるためには、情報交換を行う知的情報基盤の発展が不可欠である[1]。病院や家庭で利用されるロボットのサービスを提供する場合、大量のデータを複数台で利用するためのプラットフォームが必要である。既に、データベースやシステムソフトウェアプラットフォームの分野では、ビッグデータ時代に向けたプラットフォーム開発がそれぞれ進んでいるが、ロボット利用における情報のビッグデータ処理の基盤となるプラットフォーム提案はなされていない[2]。

既存のロボットのためのプラットフォームとしてRTミドルウェア(RTM)[3]では具体的な実現は、利用者の実装に依存しており、アプリケーションごとに検討しなければならない。さらに、データを利用することを前提とした適用への言及がないため、この部分は自ら設計する必要がある。様々なハードウェアを動かす際のコンポーネントのインターフェイスとしては優れているが、他の情報システムとの連携や、統合、それらを含めた全体の性能向上は考慮されていない。一方、OSSミドルウェアとしてROS(Robot Operating System)[4]が提供されている。しかし汎用性が前提となっていることから、処理性能を必要とする場合には、独自にチューニングしなくてはならないという問題がある。また、RTミドルウェアと同様に、大規模データの利用やリアルタイム性能の議論は十分ではない。

2. 研究の目的

今後、増大が予測されるロボット向けのビッグデータ処理については、ロボットの要求を満たす実用可能なミドルウェアが必要となる。高度な知的処理をするサービスロボットにおいて、それらを複数台つなげ、データ処理を行う際の課題を明確にし、それに対応することを本研究の目的とした。本研究では、

- 1)ロボットのリアルタイム性能
 - 2)緊急時の帯域保証
 - 3)複数台からデータを集め解析するアプリケーション
- の3つを研究の柱とした。

3. 研究の方法

本研究では3つの課題に対応する複数台ロボットにおける3つの研究を実施した。

(1) リアルタイム性能を実現する IXM ミドルウェア

リアルタイム制約を満たすためには、デー

タ共有支援機構となるミドルウェアにおいて、できるだけ処理のオーバーヘッドが少なく、高性能な支援が求められる。また、様々なロボットのアーキテクチャへ対応するために、多様なハードウェアアーキテクチャへの対応が要求されている。すでに、ART-Linux 等が提案されているが継続的なソフトウェア提供は十分行われておらず、最新のドライバの提供、汎用CPU、汎用OS上で、既存のソフトウェア資産を利用しつつ新しいロボットを開発する目的には、先に述べたように十分に対応できていない。我々は本研究開発の最初の目的を次の要件を満たすこととした。

要件(1):単一コンピュータ内でのデータ共有通信をサポートすること。

要件(2):通信におけるオーバーヘッドを抑えること。性能が限られる組み込みシステムにおいては、オーバーヘッドを最小限とすることが求められる。

要件(3):送信側と受信側の独立性を維持すること。片方のプロセスの停止や、バグなどによって、両方が停止し、システムの安全性に影響を及ぼさないようにすること。

これらの課題を解決し、汎用性を実現するために、本研究では汎用CPU、OS上で、既存のソフトウェア資産を利用しつつ、新しいロボットを開発するミドルウェアとして共有メモリで高速化するIXMを提案した。共有メモリは、複数のプロセスが同時並行的にアクセス可能で、かつRAM上の領域を明示的にデータ共有として静的に確保することで高速にデータ共有を実現する。本研究で想定するようなロボットは、ロボット内部処理としてプロセスの並行実行の際の性能の安定性とリアルタイム性能の支援が重要であり、外部のコンポーネントと分散して通信する必要性は低い。本提案は、こうした要求に対応するものであると考えた。IXMモジュールを開発しロボット内部処理向けのミドルウェアとして開発した。基本設計図を図1に示す。

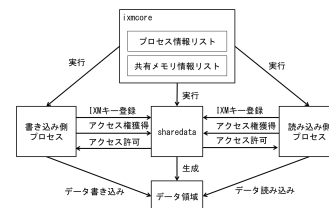


図1 IXM ミドルウェアの設計

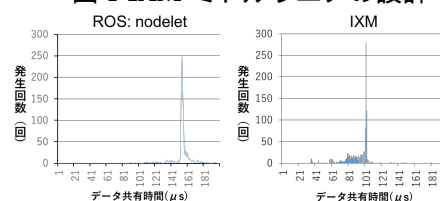


図2 IXMとROSのデータ共有時間比較

研究開発により、提案システムを実装し、

ROS:nodelet, IXM の性能を比較したところ、既存のミドルウェアよりも平均値、最悪値ともに 50%-30%改善した。また、図 2 のヒストグラムより、IXM の方がより精度が高い結果が得られた。

(2) 複数台ロボットからの情報収集における緊急時の帯域保証

次に我々は、OS・ミドルウェアの技術を用いたネットワークの技術の改善を行なった。複数台のロボットを利用したサービスにおいては、ロボットを利用したサービス提供者とロボット自身の間で密な通信が不可欠である(図 3)。



図 3 緊急時のデータ保証の必要性

例えば、介護施設に適用する高齢者支援システムでは[3]、高齢者支援システムは複数台の移動体ロボットとサーバにより構成されることが想定され、ロボットは見守りやリハビリ支援の機能を持つことを想定した。本研究では、ネットワーク負荷によらず、緊急データの送信に対して、アプリケーションごとの帯域確保を行うことを目的とし、目的の実現にあたり、ネットワーク負荷に応じたアプリケーションごとの資源量計算と、OS レベルでプロセスごとの送信バッファ制御を動的に行うミドルウェアを研究開発した。

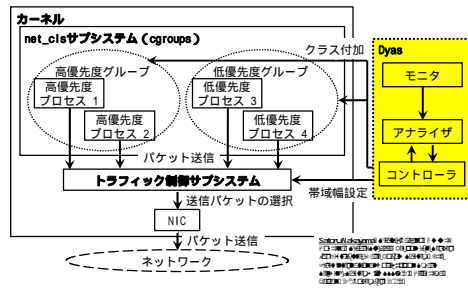


図 4 ネットワーク帯域保証ミドルウェア

本システムは、モニター、アナライザ、コントローラの 3 つのモジュールからなる(図 4)。本研究では、プロセスから情報を収集するモニターと、帯域幅分析および制御値決定アルゴリズムにより値を決定するアナライザ、決定した値をもとに OS 機能を通じて、CPU 時間やメモリなどの単一のリソースを指すサブシステムに接続することで、プロセスごとの資源制御を行う仕組みの設計、実装を行った(図 5)。各クライアントの 100 回のデータ送信のレスポンスタイムの平均値を図 X に示した。

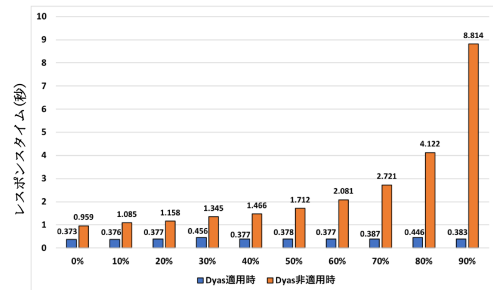


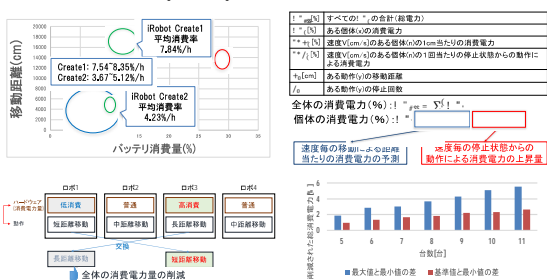
図 5 負荷率の増大時の Dyas 有無性能比較

図 5 より提案システム(Dyas)適用時にはネットワーク負荷を増大させた場合でも安定してレスポンスタイムが低い結果となった。しかし Dyas 非適用時には、ネットワークの増大に伴って、レスポンスタイムも増大した。この結果から有線環境下、複数台クライアント時の有効性が確認できた。また、高負荷環境下の場合、無線通信でのデータ処理が遅れる課題も、図のようにカーネルメモリをトレースし、負荷に応じてメモリ量を増加する仕組みや、ユーザ設定ツールを開発した。

(3) 複数台の移動ロボットのバッテリー残量を考慮した総電力削減手法

最後に、本研究では実際のビッグデータを扱うようなアプリケーションとして今後、複数台ロボットがどのような役割を担ってゆくのかが、その課題は何かを明らかにするために実際に複数台のサービスを検討した。

具体的には複数台のロボットでの災害ロボットにおけるサービス全体の省電力化手法を提案し、シミュレータによって効果を確認した。提案によりロボットの台数増加につれ、全体の電力の削減量も増加すること。全体の電力を最大 3%削減できることが確認できた。また、改良した手法も最大 2.2%の削減が確認できた。この時、両手法も、台数の増加につれて、削減割合が増加しており、ロボットの増加につれて今回の手法は効果が増すことが確認できた(図 6)。



[1] 幸竹 俊之, 中野 英由紀, 豊田 浩二. 複数台の移動ロボットのバッテリー残量を考慮した総電力削減手法. 組立システムシンポジウム 2017. 8月25日, 下田 2017年. 情報処理学会. 最優秀論文賞

図 6 予測式, アルゴリズム, シミュレーション

4. 研究成果

2015 年度(初年度)は、国際学会 2 本、国内(査読あり)3 件、国内(査読なし, 口頭発表)2 本の成果となった。計画に示したように、ロボットの見守りシステムを開発し、その要

件や課題を明確にする中でプラットフォームの基礎的な設計、実装を行った。ロボットサービスにおけるリアルタイム化に取り組み(業績,)、2017年度の論文誌成果につながる研究開発を行なった(業績)。

2016年度(2年目)は、共著にて論文誌1本、国際学会3本、国内(査読あり)9本、国内(査読なし、口頭発表)16本(受賞2件)、招待講演4件の成果を得た。複数台ロボットのデータ収集対象を増やし、また、性能を考慮する対象をサーバにまで拡大した。ロボットは人とのインタラクションや、人命確保を最優先する必要があることからOSレベルでの緊急帯域保証が必要であるという認識により有効性のある手法を提案した(業績,)。また、同時に本研究の狙いを一般化した言葉で表現する目的でIoR(Internet of Robot)という用語で研究開発内容を発表した。多くの研究の講演の機会を頂いた。

2017年度(最終年度)は、論文誌1本、国際学会2本、国内(査読/審査あり)5本(受賞1件)、国内(査読なし、口頭発表)19本(受賞3件)、招待講演4件の成果となった。3年目は、開発したプラットフォームを生かす目的で複数台ロボットのサービスの具体化として省電力を実現するシステムにC/Sの仕組みを利用した提案を行った。うち、複数台の移動ロボットのバッテリー残量を考慮した総電力削減手法は、情報処理学会、国内シンポジウム(組込みシステムシンポジウム、8月25日、下呂、2017年)にて最優秀論文賞を受賞した(業績)。2017年度はIT技術をロボットに適用する研究を実施した結果、受賞数4件と多くの受賞につながった。

また、教育の観点では複数台ロボットに関する基礎的な研究開発力の開発を目的とし、3年間を通じて100名の学生を対象とした20台のロボットの実証実験として、ロボットPBLを実施した。本教育成果は、公益社団法人、私立大学情報教育協会での論文採択(業績,)や学内での教育賞受賞となった。学生の教育については3年間を通じ、本研究に関わった学部生10-20名、修士6名(2015年度、2016年度、2017年度)であった。うち、3名(住谷拓馬君、中山悟君、保科篤志君)は芝浦工業大学大学院理工学研究科電気電子情報工学専攻にて、優秀な研究業績をおさめた修士に贈呈される(専攻で5名が受賞対象)の専攻賞に選ばれた。

本提案ミドルウェアは現在、芝浦工業大学ロボティクスコンソーシアムにおける、ロボットICT基盤として応用研究を推進しており、継続的に、ミドルウェアの研究開発に取り組んでいる。

また、本提案研究のテーマである複数台のロボットとビッグデータの研究は、次の予算に対する足がかりとなっている。現在申請中の予算などにおいても、本研究をさらに発展させ、エッジとクラウドを連携させる新しい高性能な仕組みの提案へ継続的な発展を行

なっている。

本研究の特異な点は、プラットフォーム技術のみならず、そこで利用されるロボットのアプリケーションを実際に開発し、プラットフォームへの課題を自ら抽出しながら研究を推進していることである。特に、介護、医療に重要となる、感情分析技術開発、実際にリハビリロボットや見守りロボットを開発し、これらをサーバの分散化技術、OS技術、ビッグデータ解析と合わせICTの適用をアプリケーションへ応用する研究を推進している。実際の現場でのアプリケーション要求を明確にすることで、ミドルウェアの要求を明確にしていることが、プラットフォーム研究として特筆すべき点である。

また、本研究中に研究開発した新しいコンセプトの情報技術を生かしたロボットは、見守りロボット、リハビリロボット、声かけロボットなど多種にわたる。これらは、その独自性、重要性から共同研究者が集まり予算獲得や受賞(2件)につながった。また、本研究の中で生まれた人の理解のための生体情報解析技術は、2018年度の科研費、基盤(C)の獲得につながり、アイデアはプラットフォームに止まらず研究分野を拡張している。ただし、本研究の核心となるプラットフォーム技術については、新しい大型予算への挑戦へと発展的につながっており、継続的で地道な研究も発展している。このように、本予算を取得し、新規研究分野に挑戦したことで、研究が大きく進み、また、本分野の発展に少なからず貢献でき、予算を頂いたことに深く感謝している。

<引用論文>

- [1] 内閣府、革新的研究開発推進プログラム運用方針、平成26年、総合科学技術会議
- [2] Wentzlaff, David and Gruenwald, III, Charles and Beckmann, Nathan and Modzelewski, Kevin and Belay, Adam and Youseff, Lamia and Miller, Jason and Agarwal, Anant, An Operating System for Multicore and Clouds: Mechanisms and Implementation, Proceedings of the 1st ACM Symposium on Cloud Computing, SoCC '10, 2010, pp.3-14.
- [3] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku, Woo-Keun Yoon, RT-middleware: distributed component middleware for RT (robot technology), In 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (2005), pp. 3933-3938.
- [4] Morgan Quigley, Brian Gerkey, Ken Conley, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Eric Berger, Rob Wheeler, Andrew Ng: ROS: an open-source Robot Operating System.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

菅谷みどり, 松原豊, 住谷拓馬, 中野美由紀, IXM:ロボット制御ソフトウェア向けプロセス間通信ミドルウェア, 情報処理学会論文誌, 査読有り, 58巻-10号, pp. 1578-1590, 2017年.

渡辺 晴美, 三輪 昌史, 元木 誠, 小倉 信

彦, 久保秋 真, 細合 晋太郎, 菅谷 みどり, 久住 憲嗣, 学会実施のコンテスト型 PBL による組み込みシステム教育, 工学教育, 査読有り, 64 巻-3 号, pp.41-46, 2016 年.

〔学会発表〕(計 51 件)

(1) 国際学会(計 7 件)

Junya Okazaki, Atsushi Hoshina, Midori Sugaya, Rehabilitation Robot for Elderly with Estimation of Stride, 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES-2017), Marseille, France, 6-8, Sep, Procedia Computer Science, Vol.112, pp. 2004-2013, Year 2017.

Amari Tomoya, Atsushi Hoshina, Midori Sugaya, A Mobile Robot for Following, Watching and Detecting Falls for Elderly Care, 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES-2017), Marseille, France, 6-8, Sep, Procedia Computer Science, Vol.112, pp.1994-2003, Year 2017.

Satoru Nakayama, Miyuki Nakano, Atsushi Hoshina, Midori Sugaya, Responsible Server for Distributed Care Robots System. The First International Workshop on Smart Sensing Systems (IWSSS '16), Nov 28, Hiroshima, Japan, Year 2016.

Okada Akiho, Midori Sugaya, Impression Evaluation for Active Behavior of Robot in Human Robot Interaction, Human Computer Interaction International 2016 (HCI 2016), Toronto, Canada, Jul 17-22, Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS), Universal Access in Human-Computer Interaction, Novel User Experiences, vol.9733, pp.83-95, Year 2016.

Kazuma Fujimoto, Takeshi Sasaki, Midori Sugaya, Takashi Yoshimi, Makoto Mizukawa, Nobuto Matsuhira: A Collaborative Task Experiment by Multiple Robots in a Human Environment Using the Kukanchi System. The 9th International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA 2016), Aug 22-24, Hachioji, Tokyo, Vol.2, pp.276-282, Year 2016.

Hiroyuki Yoshida, Atsushi Hoshina, Miyuki Nakano, Midori Sugaya: Collision detection for bicycle and pedestrian exchange GPS location in smartphone. UbiComp/ISWC Adjunct 2015, Sep 7-11, Osaka, Japan, p.1583-1586.

Takuma Sumiya, Yutaka Matsubara, Miyuki Nakano, Midori Sugaya, A Mobile Robot for Fall Detection for Elderly-Care, 19th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES-2015), Sep 7-8, Singapore, Procedia Computer Science, Vol.60, pp.870-880, Year 2015.

(2) 国内学会, 査読有り(計 17, うち主要なもののみ掲載)

中山 悟, 長島 聡志, 中野 美由紀, 寒竹 俊之, 菅谷 みどり, Dyas: データ転送の動的帯域制御を行うミドルウェアの提案, コンピュータシステム・シンポジウム 2017 論文集, pp.87-95 (2017-11-28), 2017 年, 12 月 5-7 日, 東京.

寒竹 俊之, 中野 美由紀, 菅谷 みどり, 複数台の移動ロボットのバッテリー残量を考慮した総電力削減手法, 組み込みシステムシンポジウム 2017, 8 月 25 日, 下呂, 2017 年. 情報処理学会, 最優秀論文賞
住谷拓馬, 中野美由紀, 小野建也, 浅沼亮平, 菅谷みどり, Active Sensing: 移動ロボットによる見守りシステムの実現, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOM02015) シンポジウム. 7 月 10 日, 2015 年.

菅谷みどり, 谷田川ルミ, 杉本徹, 中島毅, ICT ロボット活用 PBL 授業における学習効果の向上, 公益社団法人, 私立大学情報教育協会, 教育改善に向けた ICT 活用の構想・実践報告「教育改革 ICT 戦略大会」, 2016 年.

菅谷みどり, 杉本徹, 谷田川ルミ, 初年次プログラミング教育におけるロボット PBL の導入, 公益社団法人, 私立大学情報教育協会, 平成 27 年度, ICT 利用による教育改善研究発表会, 8 月, 2015 年.

(3) 国内学会, 査読無し(計 27, うち主要なもののみ掲載)

伊藤哲平, 菅谷みどり, Mihabilly: 感情を考慮したリハビリテーション時の声かけロボット, 情報処理学会, インタラクシオン 2018, 2018 年 3 月 5 日 (月) - 7 日 (水), 学術総合センター, 東京. インタラクシオン 2017, プレミアム発表賞
長島聡志, 寒竹俊之, 菅谷みどり, QoS ミドルウェア Dyas の送信パッパ改善による性能向上ツールの開発, 情報処理学会 第 80 回全国大会, 3 月 13-15 日, 東京, 西早稲田キャンパス.

伊藤哲平, 菅谷みどり, リハビリテーション促進のためのロボットによる声かけ支援, 情報処理学会 第 80 回全国大会, 3 月 13-15 日, 東京, 西早稲田キャンパス. 情報処理学会, 学生奨励賞.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.dlab.ise.shibaura-it.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅谷 みどり (MIDORI, Sugaya)

芝浦工業大学, 工学部, 教授

研究者番号: 50434288

(2) 研究分担者

中野 美由紀 (MIYUKI, Nakano)

産業技術大学院大学産業技術研究科, 教授

研究者番号: 30227863

松原 豊 (YUTAKA, Matsubara)

名古屋大学, 情報科学研究科, 助教

研究者番号: 30547500