

ロボットモーションプランニングの自動化に向けての ロボットモーション実行基盤の開発

Development of Robot Motion Performance Platform for Automatic Generation of Robot Motion Planning

加藤央昌^{1*} 石原裕平¹ 清水優¹ 橋本学¹

Hiroaki Kato¹ Yuhei Ishihara¹ Masaru Shimizu¹ Manabu Hashimoto¹

¹ 中京大学大学院情報科学研究科

¹ Graduate School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University

Abstract: In this study, Robot Motion Performance Platform was developed for the automation of Robot Motion Planning using memory-based techniques. This can be used for robots with various arm and leg forms. The developed Robot Motion Performance Platform is used for the motion performance by name-base to a motion command. In this paper, the realization of motion in a robot with two or more different types of control systems is described. In addition, the way in which motion mixing uses low motion data to realize more motions is also discussed.

1 はじめに

近年、ロボットの認識技術が向上したため、ロボットの動作計画による動作指令作成 [1]-[5] が詳細に設定されるようになった。しかし、現状はユーザからの要求に対して、コーディングによって設定されている。動作計画の研究は古くから行われており、マニピュレータの障害物回避や、ロボットモーションの生成などがあり、様々な手法で動作指令が算出されている [6]-[25]。このような動作計画が将来的に自動化され、自律ロボットが主流になることを踏まえると、動作計画によって作成された動作指令に対して、命令を解釈し実行するロボット制御基盤技術が必要である。また、ロボットの制御基盤は、様々な脚や腕を持つロボットにおいてモーションが実行可能であり、さらにより多くのモーションが実行可能である必要がある。

そこで、今回筆者らは、様々な脚や腕を持つロボットのモーション実行基盤を開発した。ロボットモーション実行基盤を開発することによって、様々なロボットにおいてモーションの実行が可能であり、さらにより多くのモーションが実行可能である。

前述したが、マニピュレータの障害物回避や、ロボットモーションの生成などにおいて、様々な手法で動作指令が算出されている [6]-[25]。そのため、動作指令の算出方法の数だけロボットの制御方法が存在することになる。この場合、提案された一つのロボットに対し

て一つの制御方法でのみロボットを制御することが可能になる。そのため、制御方法が多数存在することになり、制御方法が煩雑になるという問題がある。そこで、本研究では、動作指令の算出結果の形式を角度情報としたロボットの制御基盤開発に着目した。

ここで、本研究の最終目的について述べる。本研究の最終目的は、ロボットモーションプランニングの自動化に向けて、モーションネーミングルール策定による（作業内容に応じた）機能、特にモーションの発現を可能とするロボットモーション実行基盤の開発である。モーションネーミングルールとは、基本モーションに名前を付け、名前によってモーションを管理する方法である。モーションネーミングルールでは、名前の組み合わせによってモーションの実行やモーションの合成、モーションの検索、名前付けによるモーションの記録等を行うことが可能になる。モーションを名前で管理することによって、ロボットは人間の要求に対して柔軟に対応することが可能になる。例えば、ロボットの知らないモーションの実行が必要な場合、ロボット自身が知っているモーションのうち、近いモーションを検索し実行することで対応する。もしくは、近いモーション同士を合成し、要求されたモーションを作り出すことで対応することが可能になる。例をもう一つ挙げる。ロボットに何か道具を持たせ作業をさせたい場合を考える。道具を使って作業を行いたい場合、道具にあったモーションが必要になる。ロボット自身が実行できるモーションを把握していれば、どの道具が使えるかロボット側から人間に伝えることが出来る。

*連絡先： 中京大学大学院情報科学研究科
470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101
E-mail: hiro1125univ@gmail.com

また、ロボット自身が使える道具を選択し作業を実行することが出来る。モーションネーミングルールによるロボットモーション実行基盤が実現された場合、ロボットの危険地域での自律作業が期待できる。なぜならば、ロボット作業におけるロボットの行動選択や、必要な道具の選択などにおいて、人間が介入する必要性が低くなるからである。また、ロボット開発は単純化されると考えられる。なぜなら、ロボットモーションの生成は、ゼロからではなく近いモーションから生成することが可能になるからである。

本稿では、モーションネーミングルール策定の前段階として開発した、ロボットモーション実行基盤について述べる。これは、動作計画によって作成された動作指令（角度情報）に対して、様々な腕や脚を持つロボットにおいてモーションの実行を可能にするものである。開発したロボットモーション実行基盤は、複数種類の制御系の異なるロボットにおいてモーションの実行が可能である。さらに、少ないモーションデータでより多くのモーションを実行可能にするモーションの合成が可能である。

以下、第2章では関連研究と題して、基盤技術として類似しているRTミドルウェアについて紹介し、また本研究との相違点について述べる。続く第3章ではモーションネーミングルール策定の前段階として開発した、様々な脚や腕を持つロボットのモーション実行基盤について述べる。第4章では、開発したロボットモーション実行基盤による複数種類の制御系の異なるロボットにおいてのモーション実行の実験結果、および、少ないモーションデータでより多くのモーションを実行可能にするモーションの合成についての実験結果について述べる。第5章では本論文のまとめを述べる。

2 関連研究

本章では、基盤技術として類似しているRTミドルウェアについて紹介する。RTミドルウェアは、技術の共有と再利用を目的としたロボットシステム開発用のソフトウェア基盤技術のことである。RTミドルウェアは、ロボットの機能部品（センサ、サーボ、モータ等）をモジュール化し、そのモジュール化された機能部品を組み合わせることにより、ユーザの幅広いニーズに合わせた新しいロボットシステムを、設計者が容易に効率よく構築することを可能にするものである[26]-[29]。この技術を用いて実現されたシステムの事例として、移動ロボットシステム、コミュニケーションシステム、マニピュレーションシステム等がある[30]-[32]。また、RTミドルウェアによる技術の共有と再利用を目的としたプロジェクトは、RTミドルウェアプロジェクトと呼ばれており、様々な成果が上げられている[33]-[36]。

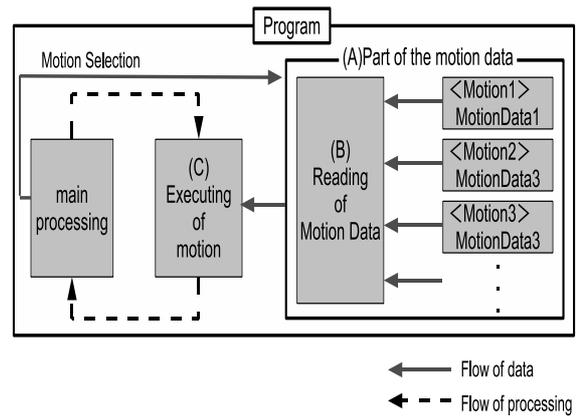


図 1: 開発したロボットモーション実行基盤の構造

本研究は、ロボットモーションプランニングの自動化に向けて、モーションネーミングルールという新しい概念をロボット工学に取り入れ、ネームベースによるモーションの発現を目指したものであるため、RTミドルウェアとは技術的に異なるものである。

3 ロボットモーション実行基盤

本研究で開発したロボットモーションの実行基盤は、メモリ・ベースト手法[37]を用いており、図1に示すように、モーションデータ部分とモーションを実行する部分が分離した構造を持つサーボモータ制御プラットフォームである。メモリ・ベースト手法とは、予め用意したモーションデータを場合によって選定し、モーションを実行する方法であり、本研究では、基本的なモーションパターンを複数保持し、それらを合成することによって、より多くのモーションを実現する。また、モーションデータ部分とモーションを実行する部分をつなぐインターフェース部分で、角度情報の通信方式が異なるサーボモータを用いたロボットにおいてもモーション実行が可能となるように、通信方式の情報を追加（コーディング）することによって対応可能としている。これにより、複数種類の制御系の異なるロボットにおいてのロボットモーションの実行が可能である。さらに、開発したロボットモーション実行基盤は、モーションデータ部分とモーション実行部分が分離した構造をしている。そのため、どのモーションデータに対しても一つのモーション実行部分のみでモーションの実行が可能であるため、メモリ効率の良いシステムである。

ロボットモーション実行基盤は、図1に示すように、(A)モーションデータ部分、(B)モーション読み込み部分、(C)モーション実行部分によって構成されている。ロボットモーション実行基盤は、各関節において

モーションのキーとなる点の角度情報を保持している。キーとなる点が始点角度と終点角度の二点の場合、図 2 (a) と図 2 (b) の角度情報を保持していることになる。モーションの実現方法は、点と点の角度の差分を移動時間のサイクル数によって細分化し、細分化された角度 (図 2 (c)) を順次実行することでモーションを実現する。また、モーションの合成は、複数のモーションデータが保持する各関節の角度情報を足し合わせ、その角度情報を用いてモーションを実行する。この際、使用する関節に対してのモーションデータの数にカウントし、足し合わせた角度をカウント数で割ったものを角度情報として使用する。

図 1 の (A), (B), (C) の機能について説明する。(A) はモーションデータ部であり、基本的なモーションパターンのキーとなる始点角度情報や終点角度情報、移動時間のサイクル数を保持する。(B) はモーションデータの読み込み部分であり、(C) はモーション実行部である。モーションデータの読み込み部分 (B) は、モーションデータをモーション実行部 (C) に受け渡すために、最終的なモーションデータへと加工する。モーション実行部 (C) は、モーションデータを図 2 (c) のようにサイクル数分に細分化し、分割された角度情報をもとに滑らかなモーションを実行する。また、モーション実行部 (C) は、通信方式の異なるサーボモータが混在している場合においてもモーションの実行を可能とする拡張可能なインターフェース部分を持つ。モーション実行部 (C) は、図 3 に示すように、角度演算部分と角度演算結果をアクチュエータに出力するインターフェース部分によって構成される。このインターフェース部分は角度制御情報の出力方法について情報を追加 (コーディング) することで拡張することが可能である。現状は、現在主流である PWM 方式のサーボモータとシリアルサーボモータに対応している。最後に、開発したロボットモーション実行基盤は、図 1 に示すように、モーションデータ部 (A) とモーション実行部 (C) が分離した構造になっているため、どのモーションデータに対しても、モーション実行部 (C) のみでモーション実行を行うことが可能である。

4 実験

開発したロボットモーション実行基盤が、以下の機能を実現できることを確認する。

1. 複数種類のロボットを制御できること
2. モーションの合成が可能であること

実験に用いたロボットは、2 脚ロボットとアームロボットである。2 脚ロボットは、PWM 方式のサーボモータ 12 個によって構成されている。2 脚ロボットの構成

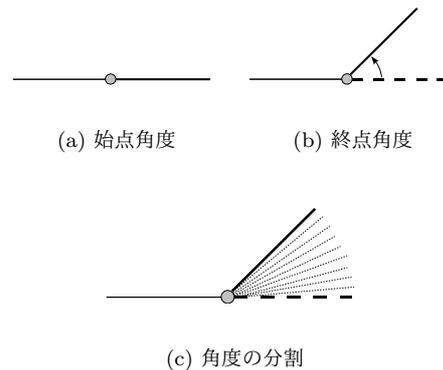


図 2: モーションの実行

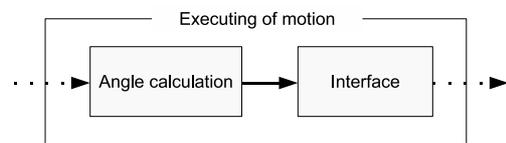


図 3: モーション実行部分の構造

を図 4 に示す。アームロボットは、アーム部分とハンド部分で通信方式の異なるサーボモータを使用している。アーム部分は PWM 方式のサーボモータ 4 個で構成されており、ハンド部分はシリアルサーボモータ 2 個で構成されている。アームロボットの構成を図 5 に示す。制御 CPU はいずれも株式会社ルネサステクノロジ製の SH7145F である。

4.1 複数種類のロボットの制御

2 脚ロボットおよびアームロボットを用いて制御系の異なるロボットにおいてモーションが実行可能であることを示す。図 6 は、2 脚ロボットを用いて片脚屈伸モーションを実行した結果である。(a) のスタート位置から (b) (c) (d) (e) へと脚を曲げていき、(e) から (f) (g) (h) (i) へと脚を伸ばしていく様子が見える。続いて、図 7 は、アームロボットを用いてモーションを実行した結果である。(a) のスタート位置から (b) (c) へとアームを持ち上げながらハンドを閉じている様子が見える。続く (d) (e) では、アームを下ろしながらハンドを閉じている様子が見える。さらに、続く (f) (g) では、アームを持ち上げながらハンドを開いていき、(h) (i) ではアームを下ろしながらハンドを開いている様子が見える。以上のことから、PWM 方式のサーボモータを使用した場合、シリアルサーボモータを使用した場合の両方においてロボットのモーションが実行可能であることを確認できた。そのため、PWM

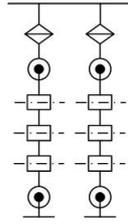


図 4: 2脚ロボットの構成

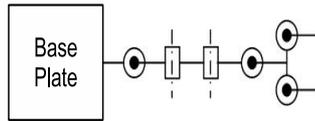


図 5: ロボットアームの構成

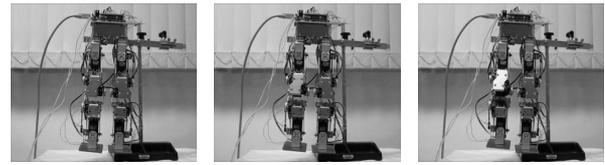
方式のサーボモータおよびシリアルサーボモータで構成された複数種類のロボットにおいてモーションの実行が可能であるといえる。

4.2 モーションの合成

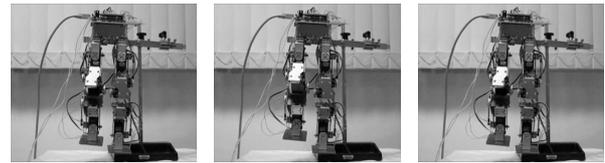
図 6 と図 8 のモーションを用いてモーションの合成が可能であることを示す。図 9 は、図 6 に示す右脚屈伸モーションと、図 8 に示す右脚股関節の開閉モーションを合成した結果である。(a) のスタート位置から (b) (c) (d) (e) へと右脚を外側へ広げながら右脚を曲げていき、(e) から (f) (g) (h) (i) へと右脚を内側に戻しながら右脚を伸ばしていることから、二つのモーションが合成され実行されていることがわかる。以上のことから、少ないモーションデータでより多くのモーションが実行可能となるモーションの合成が可能であることを確認した。

5 おわりに

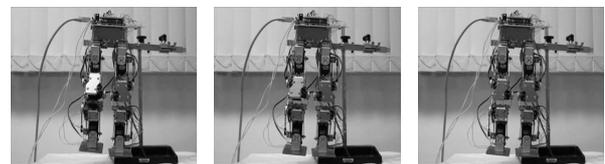
本稿では、モーションプランニングの自動化に向けて必要となるロボットモーション実行基盤の開発結果を述べた。開発したロボットモーションの実行基盤は、実機に搭載するアクチュエータの角度通信方式が異なる場合においてもモーションを実行することが可能である。具体的には、モーション実行部分のインターフェース部分において現在の主流である PWM 方式のサーボモータおよびシリアルサーボモータに対応しており、このインターフェース部分に角度情報の出力方法について情報を追加（コーディング）することで、他のサーボモータで構成されたロボットにおいてもモーションを実行することが可能である。そのため、複数種類の



(a) 1st frame (b) 2nd frame (c) 3rd frame



(d) 4th frame (e) 5th frame (f) 6th frame

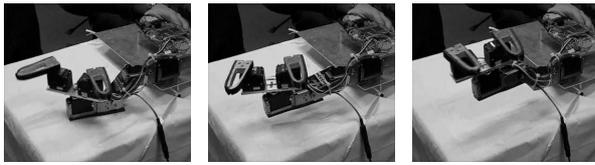


(g) 7th frame (h) 8th frame (i) 9th frame

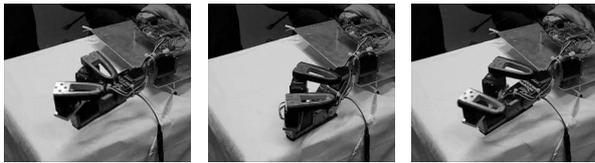
図 6: 屈伸モーションの実行結果

ロボットにおいてモーションの実行が可能である。また、少ないモーションデータで、より多くのモーションが実行可能となるモーションの合成が可能である。

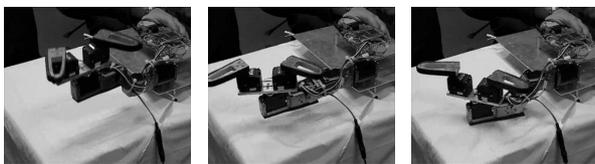
今後は、開発したロボットモーション実行基盤をもとに、モーションネーミングルール策定によるモーション発現の実現に向けて、ロボットモーション実行基盤の改良を行う。具体的には、現状のロボットモーション実行基盤は、センサフィードバックを考慮していない。そこで、センサフィードバックを効率よく行える仕組みを考案し実装する。そして、現在マイコン内で処理している本システムを、PC-マイコン間通信によるシステムへと拡張し、汎用性の高いシステムを実現する。また、本研究で目指しているロボットモーション実行基盤は、実世界のみではない。そのため、仮想世界でのロボットモーション実行基盤を実現する。さらに、実世界と仮想世界において、ロボットモーションプログラミングのコストを軽減した、シームレスなロボットモーション実行基盤を実現する。最終的には、モーションネーミングルールの策定を行い、本システムに適用することで、作業内容に応じた機能、特にモーションの発現を可能とするロボットモーション実行基盤を実現する。



(a) 1st frame (b) 2nd frame (c) 3rd frame

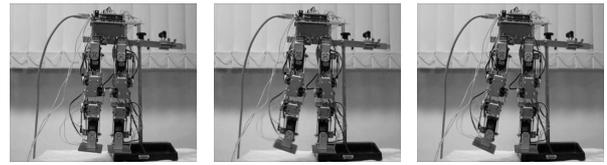


(d) 4th frame (e) 5th frame (f) 6th frame

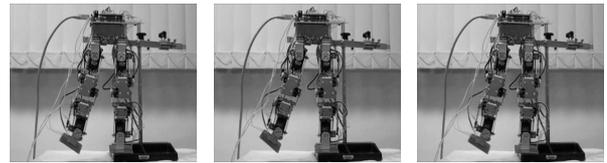


(g) 7th frame (h) 8th frame (i) 9th frame

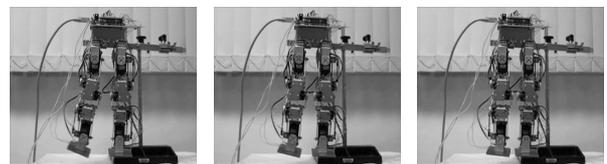
図 7: ロボットアームのモーション実行結果



(a) 1st frame (b) 2nd frame (c) 3rd frame



(d) 4th frame (e) 5th frame (f) 6th frame



(g) 7th frame (h) 8th frame (i) 9th frame

図 8: 股関節の開閉を行うモーションデータ

参考文献

- [1] 大須 賀公一: ロボットの制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 7, pp. 882-885 (1998)
- [2] 米田 完: 脚移動, 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 7, pp. 897-901 (1998)
- [3] 梶田 秀司: ゼロモーメントポイント (ZMP) と歩行制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 3, pp. 229-232 (2002)
- [4] 比留川 博久, 加賀美 聡: ヒューマノイドの知能-個としての知能-, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 5, pp.478-481 (2002)
- [5] 社会法人 日本機械学会: 生物型システムのダイナミクスと制御, 養賢堂 (2002)
- [6] 比留川 博之, 北村 新三: 安全第一アルゴリズムとポテンシャル関数に基づくマニピュレータの障害物回避法, 日本ロボット学会誌, Vol. 5, No. 3, pp. 171-179 (1987)
- [7] 比留川 博之, 井上 雄紀, 北村 新三, 榊原 聡, 人見 信, 角谷 和俊: 幾何形状のモデリングと処理に基づく自律的マニピュレーションシステム Kraft の開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 7, No.5, pp.464-474 (1989)
- [8] 寺崎 肇, 長谷川 勉, 高橋 裕信: 平行 2 指ハンドによる多面体物体の運搬作業のための把握動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol. 10, No.2, pp. 273-282 (1992)
- [9] 寺崎 肇, 長谷川 勉: 平行 2 指ハンドによる滑らし操作を利用した知的物体操作のための動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol. 12, No. 7, pp. 1056-1065 (1994)
- [10] 寺田 英嗣, 輻形 和幸: 風呂敷包み作業用マルチロボットシステムの運動計画法, 精密工学会誌, Vol. 76, No. 5, pp. 546-551 (2010)
- [11] 佐藤 圭祐: 極小点のないポテンシャル場を用いたロボットの動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol. 11, No. 5, pp. 702-709 (1993)
- [12] 池浦 良淳, 中里 央, 猪岡 光: 人間の舞踊動作に基づくダンシングロボットの動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 6, pp. 927-933 (1997)
- [13] 尾崎 弘明, 丘 華: 移動障害回避のためのマニピュレータ軌道の局所修正法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 29, No. 1, pp. 122-124 (1993)
- [14] 毛利 彰, 山本 元司, 田代龍次: 複数台マニピュレータの協調動作軌道計画, 計測自動制御学会論文集, Vol. 29, No. 7, pp. 819-825 (1993)
- [15] 佐竹 利文, 林 朗弘, 鬼塚 昭一, 鈴木裕: セル集団の自己組織化を適用したロボットアームの連続的な姿勢変化の生成, 精密工学会誌, Vol. 62, No. 10, pp. 1415-1419 (1996)
- [16] 田中 良幸, 辻 敏夫, 金子 真: 人間の上肢運動を模擬したロボットの軌道生成法, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 5, pp. 699-705 (2000)

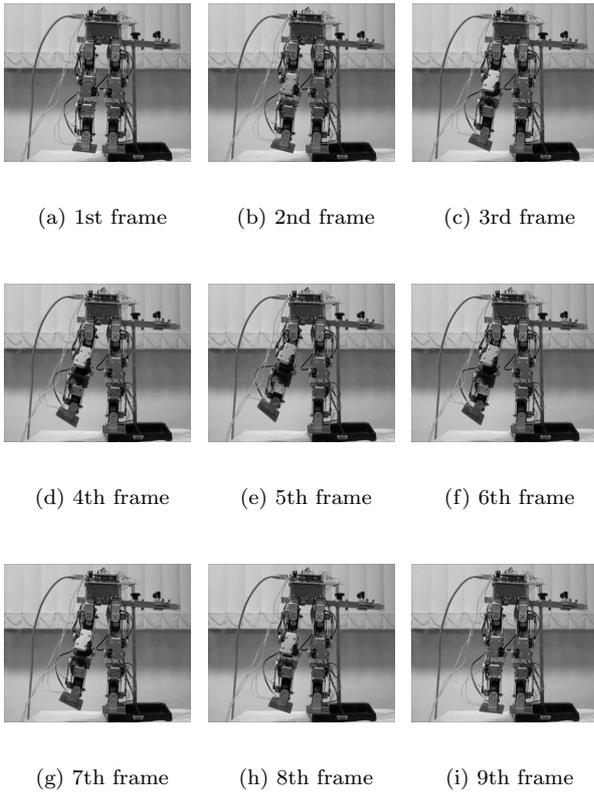


図 9: 図 6 と図 8 のモーションを合成した結果

- [17] 堀内 英一, 谷 和男: 動作計画における幾何学的不確かさに対する確率的アプローチ, 日本ロボット学会誌, Vol. 10, No. 4, pp. 475-480 (1992)
- [18] 新井 民夫, 太田 順: 仮想的なインピーダンスを用いた複数移動ロボット系の動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol. 11, No. 7, pp. 1039-1046 (1993)
- [19] 太田 順, 新井 民夫: 群秩序生成可能な追従戦略を用いた複数移動ロボット系の動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol. 12, No. 4, pp. 603-608 (1994)
- [20] 太田 順, 新井 民夫, 倉林 大輔: 作業の性質を考慮したロボット群の動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol. 13, No. 4, pp. 517-524 (1995)
- [21] 小方 博之, 新井 民夫, 太田 順: 時変環境でユーザ仕様を考慮した移動ロボットの軌道計画法, 日本ロボット学会誌, Vol. 12, No. 6, pp. 905-910 (1994)
- [22] 徳永 紘典, 田中 純一, 加藤 清敬: スプライン曲面を適用したロボットの動作計画, 精密工学会学会誌, Vol. 71, No. 8, pp. 985-989 (2005)
- [23] 内田 雅文, 井出 英人, 横山 修一: 動的環境における障害物領域予測法, 電気学会論文誌 C, Vol. 117-C, No. 2, pp. 198-204 (1997)
- [24] 安藤 昌和, 西 竜志, 小西 正躬, 今井 純: 複数大移動ロボットの搬送経路計画問題に対する自律分散型最適化法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 39, No. 8, pp. 759-766 (2003)
- [25] 登尾 啓史, 浪花 智英, 有本 卓: クワッドツリーを利用した移動ロボットの高速度動作生成アルゴリズム, 日本ロボット学会誌, Vol. 7, No. 5, pp. 414-425 (1989)
- [26] 北垣 高成, 末廣 尚士, 神徳 徹雄, 平井 成興, 谷江 和雄: RT ミドルウェア技術基盤の研究開発について-ロボット機能発現のために必要な要素技術開発-, 第 8 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 487-492 (2003)
- [27] 神徳 徹雄, 北垣 高成, 安藤 慶昭, 尹 祐根, 末廣 尚士: RT ミドルウェアのソフトウェア開発支援機能の検討, 第 9 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 282-287 (2004)
- [28] 安藤 慶昭, 末廣 尚士, 北垣 高成, 神徳 徹雄, 尹 祐根: RT 要素のモジュール化および RT コンポーネントの実装, 第 9 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 288-293 (2004)
- [29] 菅野 重樹: RT ビジネスの戦略, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 3, pp. 278-283 (2006)
- [30] 松本 吉央: RT ミドルウェアによるロボットアーキテクチャ 移動ロボットシステム, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 564-565 (2010)
- [31] 松坂 要佐: RT ミドルウェアによるロボットアーキテクチャ コミュニケーションシステム, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 566-567 (2010)
- [32] 末廣 尚士: RT ミドルウェアによるロボットアーキテクチャ マニピュレーションシステム, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 568-569 (2010)
- [33] 安藤 慶昭, 中岡 慎一郎, 神徳 徹雄: 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ・アーキテクチャ-RT コンポーネントを用いた実機と可換な制御ソフトウェア開発機能-, 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 407-410 (2008)
- [34] 佐藤 知正, 岡野 克弥: RT ミドルウェアと知能モジュール構築プロジェクト, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 546-549 (2010)
- [35] 原 功: RT ミドルウェアによるロボットシステム構築, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 562-563 (2010)
- [36] 金広 文男: RT ミドルウェアと OpneHRP3 によるロボットシミュレーション, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 556-561 (2010)
- [37] 宮腰 清一: メモリ・ベースト運動制御による 2 足歩行の制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 5, pp. 623-631 (2006)