移動分散協調作業用汎用小型ロボットプラットフォームの開発

木村　哲也*

Development of a Small Robot Platform for Moving Distributed Cooperative Operations

KIMURA　Tetsuya

抄　録

生産分野から非生産分野へと応用が拡大しつつあるロボットは、２０２５年には現在の１０倍以上の８兆円市場が見込まれている。特に分散協調作業を行う移動ロボットは、様々な分野に応用可能であり、一層の研究開発が求められている。しかし、移動ロボットの研究開発をゼロからはじめる場合、その技術的、価格的ハードルが高いため、良いアイデアがあってもそれを実用化することは困難である。本研究では、開発者のアイデアを容易に具体化できる、安価で手軽な移動ロボットのプラットフォームの開発を目的とする。本研究ではシステム全体を見直し、拡張性に優れた低価格なプラットフォームを開発する。

１．緒言

生産分野から非生産分野へと応用が拡大しつつあるロボットは、２０２５年には現在の１０倍以上の８兆円市場が見込まれている。特に分散協調作業を行う移動ロボットは、様々な分野に応用可能であり、一層の研究開発が求められている。移動分散協調作業ロボットの基礎的研究は着実にシーズを蓄積しており、その実用化がいよいよ視野に入ってきた。特にサッカーを題材にした移動分散協調作業ロボットの研究は「ロボカップ」と呼ばれるコンテスト形式で世界規模で盛んに行われており、関連製品も発売されている。しかし、移動分散協調作業ロボットの開発では、ロボットの移動機構のみならず、各種技術が有機的に結合する必要がありその技術的、価格的ハードルが高いため、良いアイデアがあってもそれを実用化することは現状では困難である。

本研究では、汎用性の高い移動ロボットプラットフォームを安価に開発し、開発手法のガイドラインと共に社会に供給することを目的とする。本プラットフォームを用いることで、大学等での基礎研究のシーズと市場のニーズの結合が促進され、移動分散協調作業ロボットの研究開発が加速されると期待される。

ここでは、ロボカップサッカー小型機リーグを題材としてロボットの開発を行う。これまで個別に製品化されていたものをシステム全体で見直し、合理的な設計を行うことで、安価なシステムとする。ユーザーの興味、技術力に応じた拡張モジュールを用意して、コンピュータの DOS/V マシンのようにロボットを容易に拡張できるようにする。必要とする前提知識を極力減らし、幅広い層が本プラットフォームを用いた研究開発に取り組めるようにする。なお、本開発はエフテック（株）との共同開発である。

＊長岡技術科学大学　機械系

２．開発目標

本研究は平成１３年度に行われた長岡技術科学大学受託研究「ビジュアルフィードバックを用いたロボットの開発」（出資：新潟県）を先行基礎研究としており、そこで得られた知見を元に、開発を進める。ここでは、ユーザーに技術的負担をなるべくかけずに、移動分散協調作業ロボットの応用研究開発に手軽に取り組める、以下の特徴をもつロボットプラットフォーム（図１．基本ロボット）の開発を目指す。

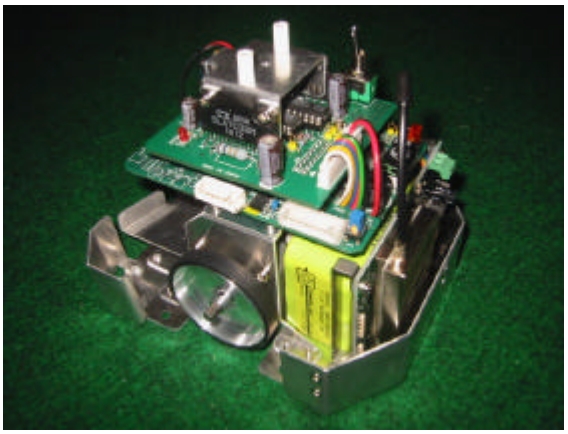

図１．基本ロボット

・低価格化：既存の製品の１／２～１／３の価格を目標とする。
・高い拡張性：モジュール化を推進し、ユーザーの目的に合わせて適切なモジュールを容易に交換できるようにする。各機能に対し、性能の異なる交換モジュールを用意し、ユーザーの要求に沿ったシステム構成とできるようにする。また、移動ロボットにはユーザー独自の拡張が容易に行えるようにする。
・ユーザーの技術的負担の低減：オールインワンのシステムとして提供するため、ユーザーのレベルにあわせて研究開発が進められるようにする。必要最小限の知識で開発に取り組めるシステムとし、Visual Basic を用いた Windows プログラミングに近い感覚（GUI 中心の開発環境。様々なテンプレート、ライブラリが用意されておりユーザーは必要最小限のプログラムのみ行う）で開発できることを目指す。職業的コンピュータプログラミングの基礎を学習している若い年代（工業高校の学生を想定）が、適当な指導のもと自分のアイデアを実装できる程度の技術的負担とする。

３．開発成果

拡張モジュールとして以下のものを開発した。
(1)高速移動ドライバモジュール
(2)汎用ＣＰＵモジュール：教育機関などで広く用いられている市販のＣＰＵボードを利用して、より手軽に開発できるようにしたＣＰＵモジュール
(3)高性能ＣＰＵモジュール
(4)キックモジュール
また、下記の制御アルゴリズムの開発･改良を行った。
(5)移動予測アルゴリズム
(6)移動ロボットの車輪駆動アルゴリズム
これらを先行開発のロボット開発キットと組み合わせることで、ユーザーの負担が少なく、様々な分野に応用可能なロボットプラットフォームを構築することが可能になった（応用例：移動掃除ロボット、移動探査レスキューロボット）。
詳細を以下に示す。

３．１　高速移動ドライバモジュール

ＤＣモータを用いて高度な移動を可能とするための２軸デジタルサーボドライバモジュール(図２)。デジタルＰＩＤ制御を用いており、素早く高精度な応答を実現した。パルス列入力方式としており、基本キットのステッピングモータに近い感覚で制御を可能としている。

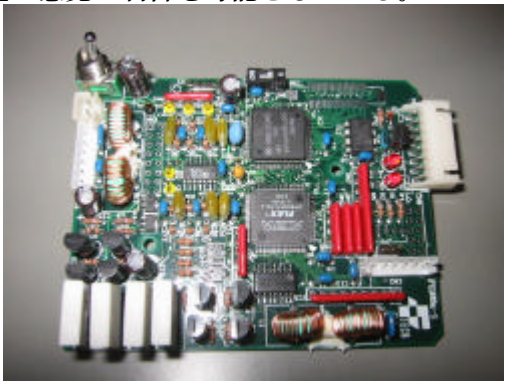

図２．高速移動ドライバモジュール

特徴：

・エンコーダ付ＤＣサーボモータをステッピングモータ感覚で制御可能
・16bitＣＰＵ＋ＦＰＧＡによるデジタルサーボ
・ＰＩＤパラメータは外部より変更可能
・ソフトウェアによるモータ電流制限機能付
・ＤＣモータ２軸同時駆動可能
・マイクロマウスや２足歩行ロボットなどに最適な小型サイズ
・エンコーダパルス逓倍設定可能

電気仕様：

・電源電圧範囲：DC6～12V
・出力電圧範囲：電源電圧と同一
・最大出力電流：1.5A
・最大出力電力：7.5W
・入力ﾊﾟﾙｽ周波数：1.2MHz(max)
・制御周期：1msec
・EEPROM ：25LC040
・FPGA ：EPF8282
・CPU ：H8S/2345
・CLOCK ：19.6608MHz
・COM.I/F ：RS232C 38400bps
・MOTOR CN ：B6B-EHA(日本圧着端子)

３．２　汎用ＣＰＵモジュール

教育機関などで広く用いられている市販のＣＰＵボードを利用して、より手軽に開発できるようにしたＣＰＵモジュール(図３)。本モジュールを利用することで、教育機関で利用している開発環境を変更することなく、本開発キットでの移動ロボットの制御に取り組むことが可能になった。

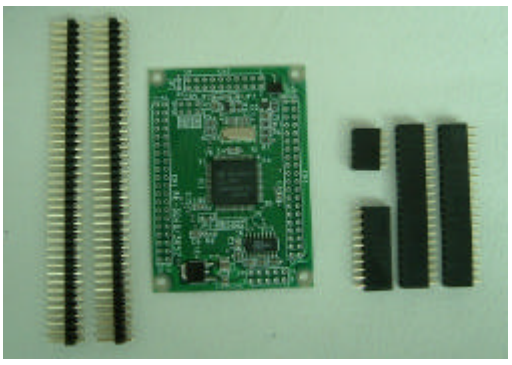

図３．汎用ＣＰＵモジュールに利用する市販ＣＰＵキット

３．３　高性能ＣＰＵモジュール

Linux 搭載や画像処理も可能とする高度な処理能力をもつＣＰＵモジュール。諸元を表１にまとめる。

表１　高性能ＣＰＵモジュール緒元

ＣＰＵ	ＳＨ7044Ｆ28（日立製）
動作周波数	最大24.576MHｚ　（6.144MHｚ水晶）
メモリ	ＲＯＭ　内蔵フラッシュＲＯＭ　256Ｋｂｙｔｅ
	ＲＡＭ　外部高速ＳＲＡＭ　256Ｋｂｙｔｅ実装済み
	内蔵メモリ４ＫバイトＲＡＭ
メモリバックアップ	リチウム電池によりバックアップ可能
シリアルＩ／Ｆ	非同期／同期Ｉ／Ｆ　２チャンネル
パラレルＩ／Ｆ	入出力７４本　入力８本（兼用端子含む）
タイマ／カウンタ	１６ビットタイマ／カウンタ５チャンネル
割り込み	割り込みコントロ－ラ内蔵
	外部　９本　　内部４３本
ＤＭＡ	ＤＭＡコントロ－ラ内蔵　４チャンネル
ＤＲＡＭ	ＤＲＡＭコントロ－ラ内蔵
	外部にＤＲＡＭチップを直接接続可能
リセット	リセットＳＷを搭載
ＲＳ232Ｃ	専用コネクタ
電源電圧 基板サイズ	５Ｖ±１０％ ７５×１０７（mm）、４層基板

＜ＳＨ7044Ｆ性能概要＞

・内部３２ビット構成
・２５６Ｋｂｙｔｅフラッシュメモリ内蔵（Ｆ－ＺＴＡＴ）
・大容量内蔵メモリ４ＫバイトＲＡＭ
・アドレス空間　４Ｇバイト（アーキテクチャ上）
・乗算器内蔵
・パイプライン　５段パイプライン
・命令キャッシュ１Ｋｂｙｔｅ
・高速ＤＭＡコントロ－ラ　４チャンネル
・シリアルインタ－フェ－ス　２チャンネル
・１６ビットタイマ　５チャンネル
・マルチファンクションタイマパルスユニット
・割り込み　外部　９本　内部要因４３本
・パラレルインターフェース　入出力７４本　入力８本（兼用端子含む）
・最高動作周波数　２８MHｚ（ＰＬＬ使用時）
・低消費電力モード

３．４　キックモジュール

キック動作を可能にするモジュール(図４．１、図４．２)。基本キットの拡張ポートに接続して利用するため、電子回路上の大幅な変更は必要とせず、手軽に利用することが可能になっている。

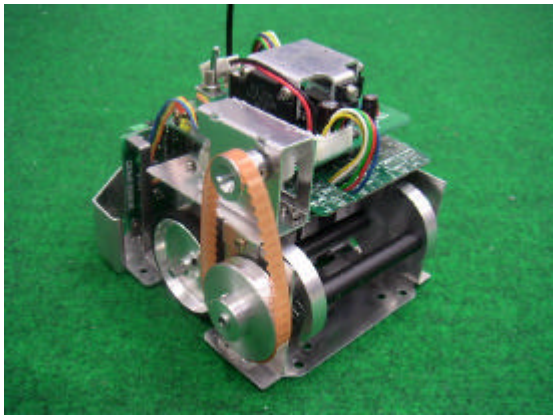

図４．１　キックモジュール＋基本キット

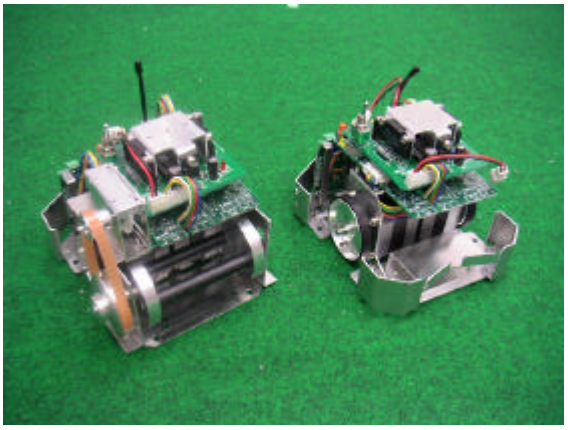

図４．２　基本キット（右）との比較

３．５　移動予測アルゴリズム

ある意図も持って移動する障害物の動特性を考慮した移動先予測アルゴリズムを開発した。

障害物を敵ゴールキーパーロボット（図５．１参照）とした場合の予測結果（線形予測との比較）を図５．２に示す。平均的に良好な予測ができている事がわかる。

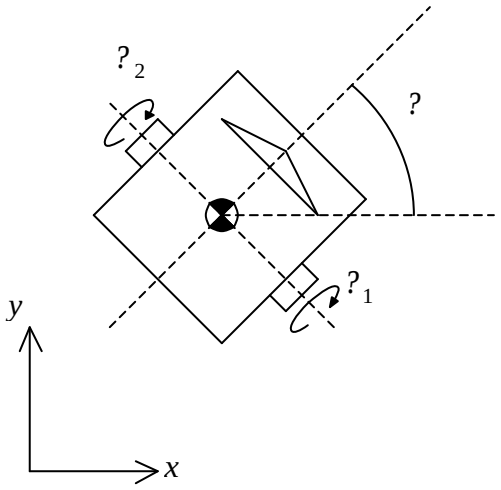

図５．１　障害物ロボットのモデル

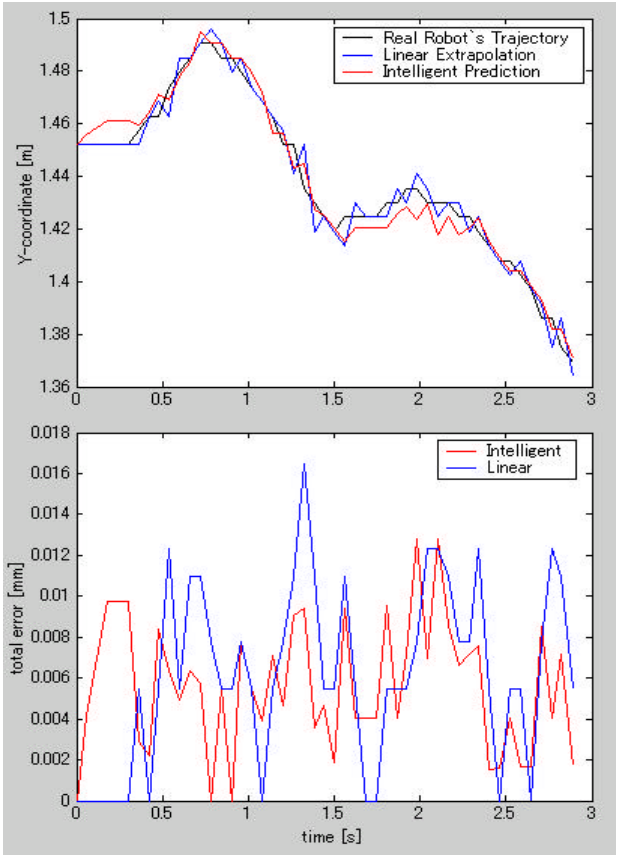

図５．２　予測結果

３．６　移動ロボットの車輪駆動アルゴリズム

従来は、直線移動を基本としており、目標値が進行方向と異なる場合は直線移動と旋回移動を組み合わせて目標値に到達していた。このアルゴリズムは単純であるが、直線と旋回の状態遷移時に加減速が必要になるため時間的ロスが大きかった。

ここでは、目標値に応じて自動的に車輪駆動指令値を変化させ、滑らかに目標値に到達できるようにアルゴリズムを改良した。図６.１、図６.２にそのイメージを示す。

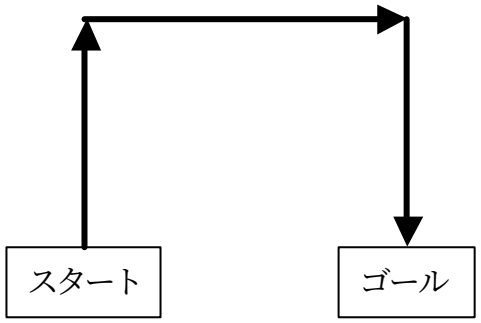

図６．１　従来アルゴリズム

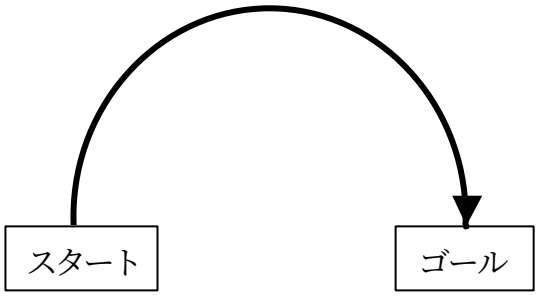

図６．２　改良アルゴリズム

４．結言

本研究では、高性能な移動分散協調作業用汎用小型ロボットを手軽に開発できるプラットフォームを開発した。本研究が新潟での次世代ロボット産業の礎の一角になることを願っている。なお、ここで得られた成果の一部は、２００３年５月の朱鷺メッセで開かれる朱鷺メッセ開幕イベントで利用される予定である。