

メカトロ教育用マイコンボードの遠隔操作型車両ロボットへの応用

Application to Remote Controlled Robot Vehicle with Microprocessor Board for Mechatronics Education

淡路 健人 (長岡高専専攻科) 安達 人志 (長岡高専) 正 佐藤 拓史 (長岡高専)
正 川谷 亮治 (福井大学) 高田 直人 (長野県飯田工業高校)

Kento AWAJI, Nagaoka National College of Technology, ac23803l@st.nagaoka-ct.ac.jp
Hitoshi ADACHI, Nagaoka National College of Technology
Hiroshi SATOH Nagaoka National College of Technology
Ryoji KAWATANI, University of Fukui
Naoto TAKADA, Iida Technical Senior Highschool

This paper deals with an application example to the remote controlled robot vehicle with the microprocessor board "TK400A" for mechatronics education. Recently, the microcomputer has been used in various applications, the skill which can use these microcomputers are required to the engineer. Therefore, mechatronics education has been executed in the educational institutions, such as National College of Technology, University, etc. The microcomputer board is needed for mechatronics education or the embedded system. When the marketed microcomputer board is used, a user needs to design even a sensor input circuit and a motor driver circuit. Therefore, there is a problem that a systems configuration becomes a long time. In order to solve this problem, many examples which develop an original mechatronics board and are executing mechatronics education have been reported. These have been reported about the mechatronics education which used the autonomous robot. In this paper, we report an application example to the remote controlled robot vehicle with the microprocessor board "TK400A".

Key Words: Mechatronics, Microcomputer System, Remote Control, Vehicle Robot

1 はじめに

近年様々な用途でマイコンが用いられ、現代の技術者にとってマイコンを自由に使いこなす技術を習得することは必要不可欠である。初心者や学生を対象にマイコンの教育を行う際の題材として、車両ロボットは最適なものの一つだと言える。車両ロボットは自律移動型ロボットやライトレースロボットなど学生が興味を持ちやすい題材が多くあるというだけではなく、マイコンに加えてセンサやアクチュエータなどのメカトロ系の基本要素を一貫して学習できる題材である。実際に多くの高専や大学で自律移動型ロボットやライトレースロボットなどを題材としたメカトロニクス教育が行われている [1]~[3]。

メカトロ教育や組み込みシステムの学習を行う際にはマイコンボードが必要となる。市販のマイコンボードを用いた場合には、センサの入力回路やモータドライバ等を個々に設計しなければならず、システムの構築作業に大幅に時間がかかってしまう。電気・電子系の学生であれば、回路設計を主眼においた実習内容にすることもできるが、機械・情報系では本格的な回路設計よりは、むしろ機構やプログラミングに主眼をおいた実習内容の方が学科の特徴を出しやすい。そこで、機械系などの学科では独自に周辺回路までを組み込んだメカトロボードを開発してメカトロ教育を行っている事例が数多く報告されている [4]~[6]。これらのメカトロボードは基本的に自律型の車両ロボットの制作に用いられているのがほとんどである。自律系の開発は確かにメカトロ教育としては効果的であるが、車両本体や動作プログラム、センサのどれか1つでも不備があると車両の動作が不安定となり、デバッグ作業が困難となる可能性がある。

そこで、もっと初歩のメカトロ教育に着目して、移動車両の遠隔操作システムの構築を通じてメカトロの基礎が学べるのではないかと考えた。本稿では、文献 [5] で用いられているマイコ

ンボード TK400A を遠隔操作型車両ロボットに応用した事例を紹介する。

2 マイコンボード TK400A の概要

TK400A は著者の一人が所属する福井大学機械工学科の創成教育の一環である機械創造演習で、初心者のメカトロ教育を行うことを目的に開発されたメカトロボードである。メカトロシステムの構築を容易にすることを念頭において開発しているため、メカトロ系の基本要素であるセンサ、アクチュエータの利用を想定した、センサ入力ポート (8ポート) やモータドライバ (2ch) を組み込んでいる。さらにラジコンサーボの利用を想定したポート (2ch) を搭載している点が特徴的である。TK400A の外観を Fig. 1 に示す。

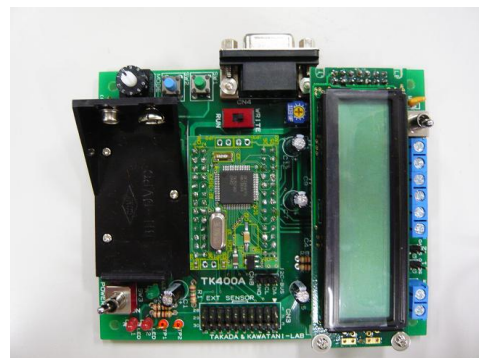


Fig. 1 Overview of "TK400A"

この TK400A は完成品ではなく、ハンダ付けにより部品実装を行うことで完成するキット形式となっている。初心者が自主的に製作に取り組みめるように、部品実装の手順に加え、部品実装を通じて、抵抗のカラーコードの読解や部品の名称、実装方法な

どを体験的に学べるように意図した製作マニュアルが用意されている。

3 操作型車両ロボットへの応用

3.1 自律型ロボットによるメカトロ教育

メカトロ教育の基本要素であるセンサ、マイコン、アクチュエータを学習するためには、自律型ロボットは最適な題材の一つである。学習する上で、興味を持ちやすいこともその理由の一つであり、自律型ロボットを題材にしたメカトロ教育が数多く行われている。例えば、ラインレースロボットは、センサによりラインを認識し、ラインと車両のずれをマイコン上で処理し、ずれに対応してアクチュエータを動かすことでラインをトレースすることができる。しかし、センサ・プログラム・アクチュエータのうち、どれか一つでも不備があると思通りの動作にならず、デバック作業が必要となる。この際、センサやアクチュエータ自体が悪いのか動作プログラムに問題があるのかの判断が初心者には難しく、デバック作業に時間を要することになる。このデバック作業はメカトロ教育において重要な事項でもあるが、初心者にとってこの作業が大きな壁となる。問題点をすぐに発見でき、それを改善できれば良いが、問題点がなかなか発見できなければ、メカトロ教育に対する興味自体が薄れ、教育効果も期待できなくなる。

3.2 操作型ロボットの導入

初心者にとって、デバック作業は大変な負担となってしまうので、もっと初歩的なシステムであれば、問題点の発見も容易になり、デバック作業自体が容易になるのではないかと考えた。自律型ロボットのデバック作業では、センサがちゃんと認識できているのか、動作プログラムがちゃんと動いているのか、アクチュエータがちゃんと指令通り動作しているのかを判断しなければならず、場合によってはこれらの組み合わせを判断する大変な作業となる。

そこで、自律型とは違い、直接動作指令を与える操作型ロボットを題材にすれば、センサ自体に対するデバックが不要となり、アクチュエータの動作の保証ができれば、アクチュエータのデバック作業も不要となり、デバック作業が容易になると考えた。このような操作型では、操作した際に意図通りに動作しない場合は基本的に動作プログラム上に問題があることになり、デバック作業を軽減できる。操作型のロボットを題材にしても、ロボットを操作した場合の指令値をどのように取り込んで、それをどのような処理をさせ、アクチュエータを動かすというメカトロ系の基本要素の学習は十分に行える。

3.3 車両モデルの選定

TK400A にはラジコンサーボ用端子が搭載されていることを利用して市販の RC カーをベースに車両モデルを構成する。RC カーを利用することで車両の設計に要する時間が不要となり、車両構築の作業が大幅に短縮できる。

RC カーの選定の際には、TK400A が搭載可能な大きさで、さらにセンサ等を追加してシステムの拡張が可能なモデルを選定する。走行場所を限定しなくて済むよう、ある程度の悪路でも走行可能なモデルである、TAMIYA 製品の「1/10 電動 RC カーシリーズ No.414 メルセデス・ベンツ ウニモグ 406」[7] を選定した。選定した RC カーの外観を Fig. 2 に、大まかな仕様を Table 1 に示す。

TK400A にはモータドライバが搭載されているが、このモータドライバは最大出力が 3.5[A] しかなく、RC カーに搭載されている RS540 タイプのモータの駆動には能力不足である。そこ



Fig. 2 Overview of base vehicle model

Table 1 Specifications of base vehicle model

全長 [mm]	435
全幅 [mm]	265
全高 [mm]	280
重量 [g]	約 2325
ホイールベース [mm]	288
タイヤ幅/径 [mm]	前後共に 57/125
駆動方式	縦置きモータシャフトドライブ 4WD
ギヤ比	1:40.5
モータ	RS540 タイプ
RC サーボ	S3001

でモータ駆動には、TAMIYA 製品の RC カー用スピードコントローラ「エレクトロニクススピードコントローラ (ESC)」を用いることにした。この ESC の最大電流は前進で 120[A]、後退で 60[A] と十分な能力を備えている。使用した ESC の外観を Fig. 3 に示す。



Fig. 3 Overview of ESC(TEU-320BK)

3.4 遠隔操作型ロボットの構成

遠隔操作システムを構築するにあたり、操作デバイスに何をを用いるかを検討し、今回は直感的にロボットを操作できるジョイスティックを用いることにした。ジョイスティックは前後、左右の指令値を同時に与えることができるので、指令値に対応して車両ロボットの前後進のスピードコントロールとステアリング操作が同時に行える。TK400A には A/D ポートが用意されているので、ジョイスティックの出力値を取得可能である。しかし、車両に搭載する TK400A に直接ジョイスティックを接続したのでは、実際に車両を操作する場合に、コントローラからのケーブルが走行時の妨げとなってしまう。そこで、今回はコントローラ側と車両側は無線通信を行わせることで、この問題を解決する。無線通信を行うための機器にはラジオやトランシーバ、赤外線

リモコン等が存在するが、ラジオやトランシーバは使用する電波の周波数帯域が定まっており、電波を発するためには免許が必要である [8]。また赤外線通信は受光範囲が狭く、中・遠距離でのデータの相互通信にはあまり適していない。また、可視光の影響を受けやすいので、使用場所が限定されるという問題がある。そこで免許申請や使用登録の不要な 2.4GHz 帯の電波を使用する無線通信規格を用いることにする。2.4GHz 帯の無線通信の規格には、Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee などがあり、それぞれの特徴は Table 2 の通りである。

Table 2 Characteristics of wireless communication equipments

名称	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
通信規格	IEEE.802.11	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
バッテリー寿命 [日]	~ 5	~ 7(充電式)	~ 1000
通信可能距離 [m]	~ 100	~ 100	~ 1500
ネットワーク数	32	7	65536
コスト [円]	35000	15000 ~	3000 ~
転送速度 [bps]	2M ~ 54M	432.6k ~ 24M	250k

今回は、通信距離が広く、省電力でコストも低く、ネットワークの形成を広げることが可能であることから、無線通信機器に ZigBee 規格の XBee を用いる。今回使用した XBee の外観を Fig. 4 に、仕様を Table 3 に示す。



Fig. 4 XBee starter kits

Table 3 Specifications of "XBee"

名称	XBeePRO
屋内 最大通信可能距離 [m]	60
屋外 最大通信可能距離 [m]	750
転送速度 [bps]	1 ~ 250k
送信出力 [mW]	60
受信感度 [dBm]	-100
電源電圧 [V]	2.8 ~ 3.4
送信電流 [mA]	215
受信電流 [mA]	55

XBee には、設定により A/D ポートとしての役割を持たせることができる [9]。しかし、XBee から直接アナログデータを送信することがうまく実現できなかったことと、車両の拡張性を考えた場合、送信してきたデータを車両側のマイコンで全て処理するには負荷がかかってしまい、処理時間の制約を受けてしまうと

考え、コントローラ側にも TK400A を用いることで対応した。今回は無線機器に XBee を用いるので、ネットワーク形成に Mesh 方式を構成できる特徴を活かし、Fig. 5 に示すようなコントローラ側の情報と車両側の情報をモニタ PC に送信するシステムを構築する。このような構成とすれば、複数台の車両を動かした際の個々の情報をモニタ PC で一括収集できるような拡張性を持たすことができると考えたためである。

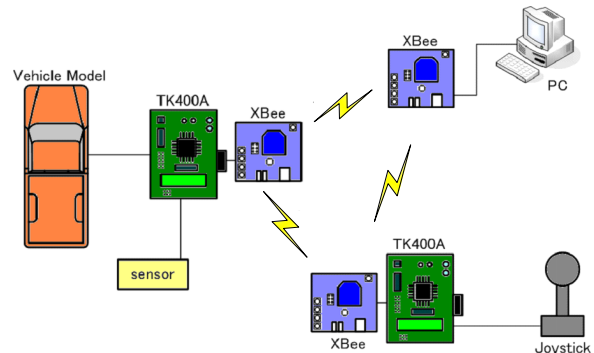


Fig. 5 Remote control system of robot vehicle

3.5 操作プログラムの作成

車両の動作は、前後進は ESC を駆動することで、ステアリングはラジコンサーボを駆動することで行える。ESC はラジコンサーボと同様に扱うことができるので、ラジコンサーボの駆動プログラムを作成することになる。TK400A には初心者でも容易にプログラム開発に取り組みできるように、サポートライブラリ関数、サンプルプログラム、使用マニュアルが用意されている。ラジコンサーボの利用を想定したラジコンサーボ制御ライブラリも用意されており、これを利用することで容易に実現できる。

用意されているライブラリでは、サーボ信号の周期を 20[ms] 一定とし、パルスの立ち上がり時間を 0.8[ms] ~ 2.0[ms] の範囲で変更することでラジコンサーボの駆動を行っている。パルスの立ち上がり時間は 0.1[ms] 単位で変更するように設定されている。しかし、用意されているライブラリではラジコンサーボの動作分解能が 10° 程度であり、これでは滑らかな動作とはならず、車両の操作には適さないと思えた。そこで、ラジコンサーボの分解能を上げることにした。

ラジコンサーボの駆動はパルス幅変調 (PWM) 信号を用いて、パルス時間を変更することでサーボ角を制御する。サンプルプログラムではパルス時間を 0.1[ms] 毎に指定するように設定されているので、その定義を 0.02[ms] に変更することで分解能を 2° にまで向上させた。この変更によりラジコンサーボの動作は滑らかに動かすことが可能となる。今回は車両ポットのステアリング角度の範囲が ± 20°, 前後進速度が最大 2.16[km/h](0.6[m/s]) となるようにそれぞれを設定している。

前節で示したように、コントローラ側にも TK400A を用いて、ジョイスティックからの操作指令値を取得する。ここでは、センサ入力ライブラリを利用することで容易に取得可能で、前後進とステアリング動作をそれぞれ別のポートに割り当て、入力データから駆動用データに変換させ車両側の TK400A に送信するプログラムを作成する。コントローラ側の TK400A のプログラムのフローチャートを Fig. 6 に示す。今回は、操作入力値を 5 分割して送信するように作成する。

車両側では、送信されてきた前後進データとステアリング操作

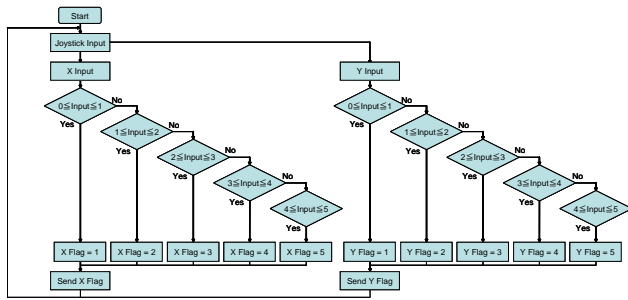


Fig. 6 Flow chart of operator side

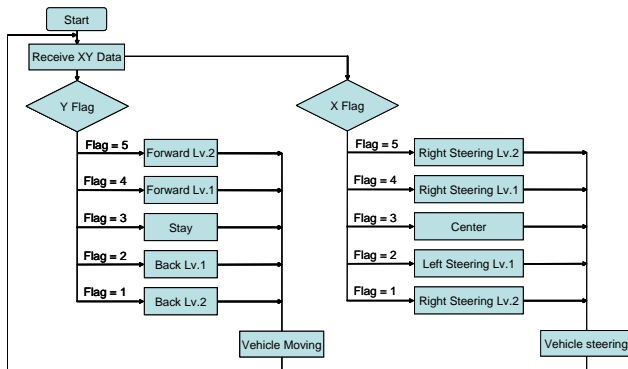


Fig. 7 Flow chart of vehicle side

データに対する処理を行わせることで、車両駆動のみのプログラムとなっている。車両側のプログラムのフローチャートを Fig. 7 に示す。

車両側はラジコンサーボと ESC を動作させるためのシンプルなプログラムだけであるので、処理能力的には余裕がある。車両側の TK400A にも A/D ポートが備わっているので、障害物センサなどを追加することで、障害物を感知した場合に別の動作をさせるなどの拡張が行える。このように車両側にセンサを追加して、その信号に基づいた動作は従来のメカトロ教育で用いられる自律系ロボットであり、操作型から自律型へのステップアップも学習者のレベルに合わせて可能となる。

このようにシステムを構成し実際に動作させてみたところ、ジョイスティックの操作に追従して車両ロボットの前進、後退及びステアリング操作を行わせることができた。サポートライブラリ関数と使用マニュアルが用意されているため、ライブラリの改良や A/D ポートの使用法が容易に実現でき、システム構築がスムーズに行えた。製作した遠隔操作型車両ロボットの外観を Fig. 8 に示す。TK400A はボディの荷台部分に、XBee は車体内部に搭載している。

4 おわりに

本稿では、メカトロ教育用として開発された TK400A を、無線通信機器を用いた遠隔操作型車両ロボットへ応用した事例を紹介した。サポートライブラリ関数と使用マニュアルが用意されているため、ライブラリの改良や A/D ポートの使用法が容易に実現でき、システム構築がスムーズに行えた。遠隔操作型車両ロボットを実際に動かしてみて、操作指令に対応した動作が確認できた。自律型ではないので、指令値通りに動いていない場合のデバッグが容易になり、思い通りに動作した際の達成感



Fig. 8 Overview of remote controlled robot vehicle

が味わえた。今回のような市販製品を車両ベースに選んだ場合、プログラミングと車両ロボットの操作の両方が味わえるので、メカトロ教育の題材としても有効ではないかと思われる。

今後は遠隔操作システムをさらに発展させ、車両ロボットにセンサを搭載し、操作者の不意な操作に対して車両自ら回避する操作支援システムや複数の車両の協調制御などへの利用も検討したい。

文 献

- [1] 森尻真也, 鶴飼研, 一色博史, 加藤歳弘, 酒井大介, 鷹栖堯大, 藤田恒彦, 水野拓也, 安藤吉伸, 水川真, 吉見卓, 春日智恵, "ライトレースロボットを題材としたメカトロニクス教育の実施とその評価-2009 年度創成科目における実施報告-", ロボティクスメカトロニクス講演会 2010 講演会論文集, 1P1-G22, 2010
- [2] 川田和男, 山城友栄, 長松正康, 山本透, "小学校段階におけるレスキューロボット製作を題材としたものづくり教育", ロボティクスメカトロニクス講演会 2010 講演会論文集, 1P1-G27, 2010
- [3] 佐藤拓史, 外山茂浩, 小川伸夫, 梅田幹雄, 高橋章, 碓氷誠, 小柳久也, "ものづくり教育を意識した工学実験", ロボティクスメカトロニクス講演会 2010 講演会論文集, 1P1-G17, 2010
- [4] 金田忠裕, 北原達正, 蟬正敏, "e-Gadget を用いたメカトロニクス教材", 第 11 回システムインテグレーション部門講演会論文集, 1M3-4, 2010
- [5] 川谷亮治, 高田直人, "メカトロ教育マイコンボードの開発とその応用事例", ロボティクスメカトロニクス講演会 2010 講演会論文集, 1P1-G10, 2010
- [6] 佐藤拓史, 明田川正人, 木村哲也, 平田研二, 柳和久, 磯部浩己, 滑川徹, 船木陸議, 田村淳一, "競技用ロボットの設計製作を通じたメカトロ教育", ロボティクスメカトロニクス講演会 2008 講演会論文集, 2A1-I12, 2008
- [7] TAMIYA : 1/10RC カー シ リ ーズ No.414 メルセデス・ベンツ ウニモグ 406, <http://www.tamiya.com/japan/products/58414unimog/index.htm>
- [8] 堤坂秀樹, 大庭英雄, "テキストブック 無線通信機器", 日本理工出版会, 1991
- [9] XBee™/XBeePRO™ OEM RF Modules Product Manual