

群れるロボットの開発

北陸職業能力開発大学校

浜田 真
植平 一郎
高田 実

Development of Gathering Robots like Animals

Makoto HAMADA and Ichiro UEHIRA and Minoru TAKATA

要約 応用課程の開発課題で実施された、生物的な「群れる」という行動をロボットで表現する「鬼ごっこロボット」の開発について報告する。ゲームのルールは複数の子を鬼が追いかけて、交代するという一般的なものである。各ロボットの動きはフィールド上空に設置されたカメラでとらえられ、その座標はパソコンが算出した後に無線LANを使用して各ロボットに送信される。各ロボットがそのデータを基に自らの行動を決定し、鬼ごっこを成立させる方式とした。この開発の結果、2台のロボットの追いかけ合いまでを実現することができた。

I はじめに

職業能力開発大学校の応用課程2年次には、一般の大学の卒業研究に相当する開発課題が実施される。本報告では、年度当初に「群れるロボットの開発」をテーマとして与えられた学生が独自の解釈の結果、「群れるを鬼ごっこによって表現する」という結論に達し、1年間取り組んだ成果を紹介したい。

群れとは、特定の範囲内で複数の個体が広がりを持って集まることである。群れの具体的な例として、魚のように全体がほぼ同じ方向を向いて移動する群れや、越冬する昆虫のように全体としては動かずに集合するだけの群れ、鬼ごっこのように決められた範囲内で自由に個体が移動する群れがある。このように極めて生物的な群れの状態を機械的なロボットを用い、鬼ごっこによって表現することを試みた。

II システム概要

群れるロボットの理想形態は、自ら周囲環境を観察し、取得した情報を元に行動を決定し、搭載された走行装置を駆動して動作する自律的なロボットである。しかし、このようにするには、カメラや画像処理装置を各ロボットに搭載しなければならず、ロボットのコストや重量、サイズの非現実的である。そこで、ゲー

ム全体の制御とフィールド内での座標取得のみをパソコン(PC)で行い、そのデータを受信したロボットが、内蔵されたマイコンで判断して動作するという手段を採った。またその個体数は、群れを表すために不足はなく、制御するために過剰でない6台とした。

鬼ごっこは以下のようにして行われる。

- ① 2×3mのフィールドの上部1.7mにカメラを設置する
- ② フィールド内に適当に鬼・子区別のない6台のロボットを配置する
- ③ PCから6台のうち1台を鬼に指定して開始
- ④ 子は鬼から逃げ、鬼は最も近い子を追う
- ⑤ 鬼が子にぶつかったら鬼を交代する
- ⑥ 鬼は5秒待ち、子は逃げる
- ⑦ ④～⑥を繰り返す
- ⑧ 鬼ごっこは一定時間経過したとき終了し、時間は開始時に指定できるものとする

また、上記のように自動的に鬼ごっこをするモードのほかに、観客が操作できるロボットを1台用意し、ゲームに参加することの可能なモードを持たせている。

III 仕様と構成

システムの仕様を表1に示す。

システムは、図1のように3つに分けられる。①各

ロボットを構成する「ロボット機構部」、②それを制御する「ロボット制御部」、③鬼ごっこの全体の流れを制御する「ゲーム制御部」である。

表1 システムの仕様

フィールドサイズ	2000×3000×1700 mm
ロボットの数	6 台
ロボットサイズ	φ216×H165 mm
質量	4.2 kg
最高/最低速度	250 / 200 mm/s
最高加速度	500 mm/s ²
連続稼働時間	16.5 min
画像処理間隔	100 ms

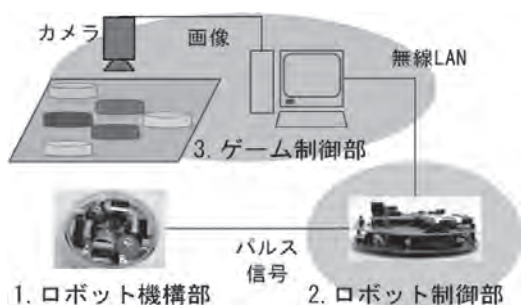


図1 群れるロボットの構成

IV ロボット機構部

1. 駆動部

鬼ごっこをする子供の動きは急激な運動方向の変化を伴う。この動作をロボットに実現させるには通常の車輪駆動方式を用いることはできない。駆動メカニズムとして、オムニホイールも選択肢として挙げられるが、自由に回転するローラがついているため、モータの回転を止めても慣性の影響で横滑りしてしまうことが考えられる。そこで、今回は球駆動方式を採用することにした。この機構は、1つの球に対し2つのモータを用いて摩擦駆動することで球の回転方向と速度を制御するものである。ロボットにはこれを2セット搭載することで、進行方向と速度を制御している。

モータにはプーリが取り付けられ、プーリにはOリングが嵌め込まれている。駆動球は、Oリングとの摩擦力によって回転させられるが、その押し付け力（予圧）が適切でなければ空転するか、もしくはステッピングモータは過負荷により脱調してしまう。ステッピングモータへの負荷テストによれば予圧は20Nが適当であることが分かった。この予圧を定位置予圧で与えるため、Oリングの荷重-変位特性から0.64mmをOリングと球の干渉量とした。荷重-変位特性は図2の

ようにOリング付のプーリをスライダに取り付け、ばねばかりで引っ張ったときのスライダ変位をダイヤルゲージで読み取ることで測定した。

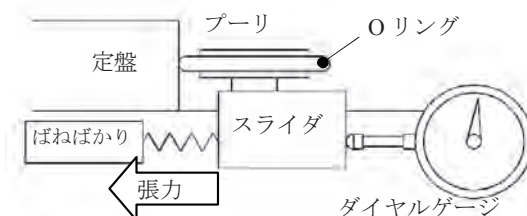


図2 Oリングの荷重-変位特性測定実験

図3に球とモータの配置を示す。モータフランジとローラ取り付け板を1枚にして位置決めピンで固定することで全ての駆動ユニットの予圧量を一定にすることが可能となった。

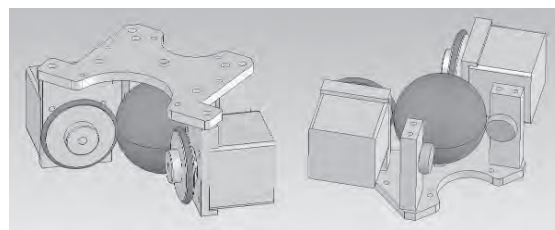


図3 球とモータの配置

2. 衝突検知部

鬼ごっこは鬼に衝突された場合に、捕えられたと判定する。

そこで、衝突を検知するため機体外周にテープスイッチを貼り付けることとした。構造は、二重の亚克力パイプの間にテープスイッチが挟み込まれた形になっている。さらに、このテープスイッチには等間隔に薄板を貼り付けてある。これにより、テープスイッチを剥き出しにすることなく、衝撃を狭い部位に集中させ確実に衝突を検知することが可能となった。

バンパーへの負荷実験において5.39NでテープスイッチがONとなることがわかった。これは停止時間を0.1sとすれば相対速度が128mm/sで衝突を検知できることを示しており、この構造の有効性を確認できた。

図4にモータ、駆動球、バンパースイッチの配置を示す。駆動球にはビリヤードのボールを使用した。

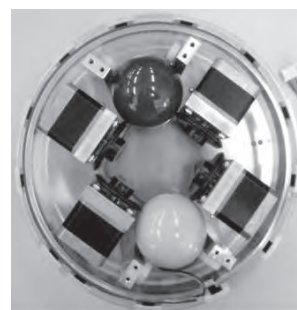


図4 駆動部とバンパースイッチ

3. 機体の塗装色

ロボット6台の識別は天板の色を判断することで行なう。そのため、フィールドとは輝度が大きく異なり、RGB値に特徴のある黒、赤、黄、緑、青、紫の6色を採用した。また、その姿勢は天板上に配置された白い小円形のマークによって計算される。図5にロボットの外観を示す。

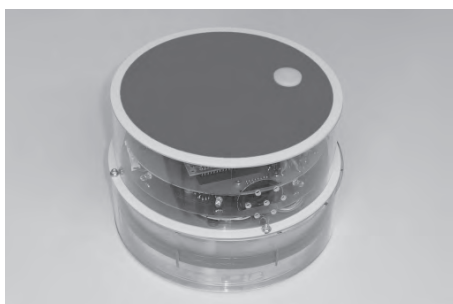


図5 ロボットの外観

V ロボット制御部

1. 制御部機能

ロボットに鬼ごっこを実現させるために必要な機能とその内容を表2に示す。モータ制御はドライバICを用いなくて、直接マイコンによりFETを駆動する方式としている。

表2 機能一覧

機能	内容
無線通信	PCから、ロボットの位置と鬼の情報を無線LANで受信する 衝突センサからの衝突信号をPCに送信する
モータ制御	PCからの情報で移動方向を決め、速度・パルス数の計算を行い、生成したパルス信号を必要なモータドライバに伝送してモータを駆動する
衝突センサ	ロボットが、衝突するとセンサで検知し、その信号をマイコンに送信する
LED	鬼のロボットは、マイコンから点灯パターンをLEDに伝送して点灯させる
MP3再生	マイコンで曲番号を指定して、MP3データを再生し、スピーカで音を出力する
リモコン (遠隔操作)	専用の無線コントローラで、移動方向や加速、減速、旋回、MP3再生などのロボットの動作を人が操作する

MP3を利用したのは、パソコンで録音することにより、任意の言葉や効果音を容易に再生できるからである。

制御部の概要を図6に示す。メインとなるマイコンはLAN機能搭載のH8/3069F（ルネサステクノロジ）であり、無線LANはモバイルルータSkyLink（ロジック）を使用している。

また、リモコンは鬼または子を手動で操作可能とするためのもので、1台のみに搭載される機能である。

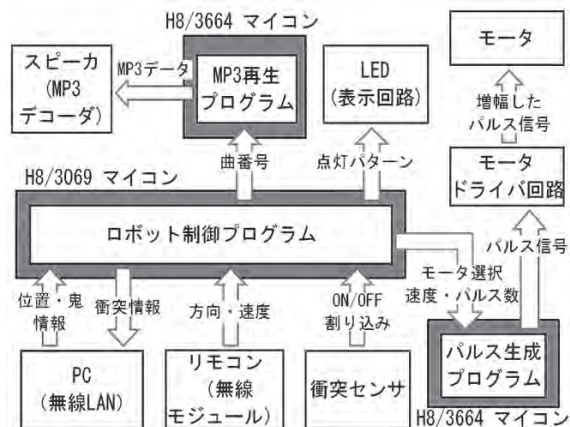


図6 制御部の構成とデータの流れ

2. 制御回路基板

ロボットの制御回路は、直径200mmという機体上部に収める必要がある。そのため、主にマイコンとMP3再生回路を搭載した上段基板と、モータドライバ回路を搭載した下段基板の2枚に分けている。また、スペースを有効に活用するため、基板を円形に加工し、2枚の基板の接続には、電池交換をスムーズに行うため基板接続コネクタを使用する。それぞれの基板を図7に示す。

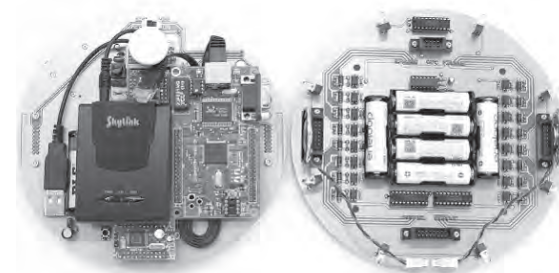


図7 上段制御基板（左）と下段制御基板（右）

3. MP3再生部

MP3再生はこれまで開発課題で頻繁に活用されてはいるが、本システムでは記録メディアとして、MMCまたはSDカードを使用するという点でより活用範囲を広げることが可能となった。MP3再生は3.3V駆動のデコーダIC VS1011b(VLSI)を用いる。また、MMCまたはSDカードも3.3V駆動であるので、データ転送用マイコンH8/3664Fを3.3Vで使用する。

MP3再生用H8/3664F周辺回路を図8に、VS1011b、SDカードコネクタ周辺回路を図9に示す。

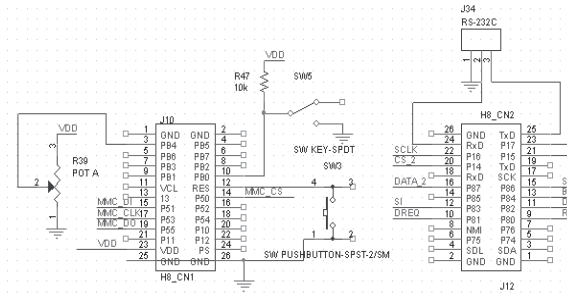


図8 MP3再生用H8/3664F周辺回路

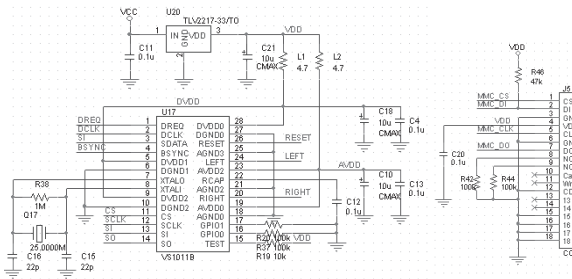


図9 VS1011bとSDカードコネクタ周辺回路

H8/3664FのプログラムをFAT16に対応させているので、記録メディアにはパソコンのカード・リーダーで保存可能である。なお、SDカードおよびVS1011bとH8/3664Fとの間はSPIシリアル通信である。このためのプログラムをC言語で記述すると、再生可能なビットレートは80kbps程度となってしまう。そこで、通信プログラムをインライン・アセンブラにより作成し、320Kbpsの最高音質での再生を可能とした。

4. リモコン操作部

リモコン部は図10に示すように送信側と受信側によって構成される。

送信側は、各SWを動作させることで移動方向や効果音などの信号をH8/3664Fマイコンに送りRS232C変換回路SP3232E7 (Sipex) を通して0/3.3V → -9/+9Vに変換し、無線ユニットAKU-67 (秋月電子通商) に送ることで信号を伝送する。

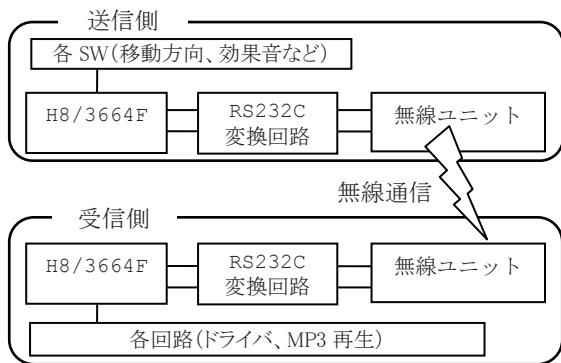


図10 リモコン部のシステム構成

受信側は、送信側から無線ユニットで信号を受け取りRS232C変換回路で-9/+9Vから0/3.3Vに戻しH8/3069Fマイコンに送る。受け取った信号をもとに各回路の動作を制御する。

5. モータ駆動部

モータ駆動はH8/3664Fを使用している。その回路図を図11に示す。ステッピングモータの専用ドライバはDC24Vを必要とするので、バッテリー駆動のロボットに搭載することは重量増を招くため、実用上搭載不可能である。このため、MOSFETを用い、マイコンの出力によって直接駆動する方式とした。ただし、コイルに誘導された逆起電力の影響でモータの定格電圧ではトルクが不足する。そこでモータ用バッテリーは逆起電力の1.5倍の電圧としている。

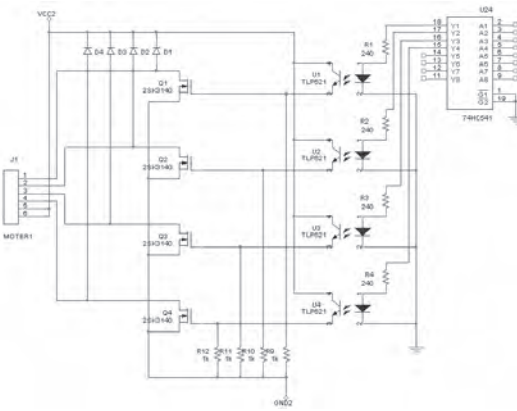


図11 モータドライバ回路

VI ロボット制御プログラム

1. プログラムの概要

マイコンでは無線LANで使用するTCP/IPの接続の確立を行い、受信データからコマンドを読み取り、コマンドに従いモータの制御を行っている。また、現在の状況を判別してLEDの点灯やMP3の再生を行う。衝突センサからの割り込みが入ると衝突したことをパソコンに無線LANを用いて通知する。

2. 子ロボットの移動

2-1 移動計算の流れ

子の移動には、鬼との衝突を回避する方向に移動することと壁との衝突を極力回避することが求められる。この2つの条件を満たすような動きができるプログラムを作成した。ここでは子の移動方向の計算の方法と流れについて記す。

子の移動計算の流れは大まかに以下ようになる。

- ① 移動方向を決定
- ② 移動方向を補正
- ③ 移動距離を計算

まず①で鬼との衝突を回避する方向を計算し、②で壁との衝突を起こさないために移動方向を補正する。これによって鬼と壁の両方に衝突しない方向に移動することができる。

2-2 移動方向計算のパターン

① 鬼の反対へ移動

鬼との衝突を回避する動作であり、子の基本動作である。自分から見て鬼のいる方向の180度反対方向へ移動する。

② 鬼に近づく

鬼のいる方向へ移動する。常に反対へ逃げているのでは見ていてつまらないと思い、鬼を挑発しにくくイメージでこの動作を作成した。鬼との距離が遠いときにのみこの動きをする。

③ 停止

その場で停止する。鬼が自分に近づいてきていないときにこの動作を行う。

④ ランダムに移動

鬼のいる方向を気にせず移動する。ただし、360度好きな方向に移動するのでは不自然な動きになるので、前回の移動方向±15度の範囲で移動する。鬼に近いときはこの動作は行わない。

⑤ 広いスペースに移動

フィールドの広く開いているスペースに移動する。鬼の反対へ移動し続けたのでは壁に沿って移動し続けてしまうことが予想されたのでこの動きを作成した。

2-3 移動補正プログラム

鬼との位置関係から移動方向を計算した後は、壁との衝突を回避するために移動方向に補正を加える。補正プログラムは3種類作成した。

① 鬼回避補正

鬼に近く、かつ移動方向が鬼に近づこうとしている場合に使用される補正プログラム。「広いスペースに移動」のパターンで計算した場合、鬼に近づいてしまう可能性があるためこの補正を作成した。この補正によって目的地まで一直線に移動するのではなく、鬼を迂回して移動できるようになる。

② 壁に沿って移動回避補正

鬼から逃げているとどうしても壁際に追い込まれてしまうことになる。その場合壁に沿って逃げることになるが、それを続けたのではフィールドの隅に追い詰められてしまうので不自然な動きである。この補正は壁側に移動しようとしていた場合にフィールド内側に移動方向をずらすことで壁に沿う動きを回避する。

③ 衝突回避補正

壁との衝突を回避するために移動方向を補正する。

3. 鬼の移動

鬼には、次に示す①～⑤の状態があり、各状態で処理が少し異なる。また、それぞれの状態遷移条件はa～gである。

[鬼の状態]

- ① 子を狙うのではなく、子をグループに分けてその集団を狙う。
- ② 逃げる子の方向に移動し、追っていた子よりも近い子がいたらターゲットを変更する。一定距離内に子がいる場合にこの状態になる。
- ③ ターゲットを固定する。ターゲット以外の子が近づいてきてもその子を追うことはしない。
- ④ 最高速度で移動する。ターゲットは固定したままになっている。
- ⑤ 最高速度から半分まで徐々に減速する。この状態でもターゲットは固定したままになっている。

[遷移条件]

- a ①の状態を7秒以上かつ、鬼からの距離800mm以内に子がいる場合に②に状態を移行する。ただし、15秒以上①の状態が続けば強制的に②に状態を移行する。
- b ②の状態を5秒以上かつ、鬼からの距離800mm以内に子がいない場合に①に移行する。
- c ②の状態を3秒以上かつターゲットが鬼からの距離500mm以内におり、かつターゲットとの移動方向の差が±30度以内であるとき状態を③に移行する。
- d ③の状態を3秒以上かつ、ターゲットとの距離が700mm以上のとき状態を②に移行する。
- e ③の状態を5秒以上続けた場合、状態を④に移行する。
- f ④の状態を5秒以上続けた場合、状態を⑤に移行する。
- g ⑤の状態を3秒以上続けた場合、状態を①に移行する。

4. ゲーム制御プログラム

ゲーム制御はPC上で実行される。この処理は、大きく3つのスレッドに分かれており、それぞれC#によって記述されている。

① 接続待ちスレッド

ロボットからの接続要求の受入とデータの受信を常に行うスレッド。ゲーム停止ボタン、ゲーム終了ボタンが押された時のロボットへの通知もこのスレッドで行う。

② 画像処理スレッド

フィールド内のロボット座標を求めるスレッド。起動時に保存された各ロボットの色情報を基準にフィールド内に散らばるロボットを特定する。その後、画像を二値化し、それぞれのロボット座標と向きの情報を更新する。このとき衝突センサの信号があれば、何に（鬼か壁、その他のロボット）衝突されたのかも判断する。

③ ゲームスレッド

ゲームが開始された時に起動するロボット制御スレッド。参加している各ロボットにゲーム開始のコマンドを送信し、画像処理情報の更新のたびに位置情報を送信する。この際、鬼との衝突があれば鬼と子の変更を行い、その情報を送信する。

5 ゲーム制御モニタ

ロボットに鬼ごっこさせている最中に正しく制御されていることを確認するため、図12に示す「ゲーム制御モニタ」を表示させるようにした。画面上には次の情報が表示される。

- ① ゲーム中はこの領域内に画像処理で得た情報を元に円を描画する
- ② タイマの役割、開始ボタンが押されてから0から1秒ずつ進む
- ③ ゲームの開始、停止、終了、交代情報の表示
- ④ ルール設定
- ⑤ 鬼の決定
- ⑥ その他、各ボタン

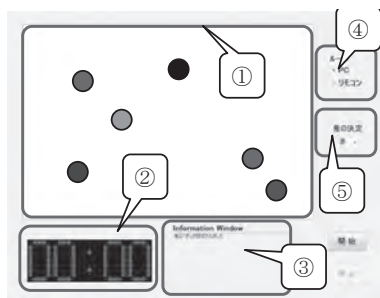


図12 ゲーム制御モニタ

Ⅶ 学生による評価

当初この開発には、「見ていて楽しいものを製作すること」、また「機械・電子・情報の分野に興味を持ってもらうこと」という2つの目的が学生によって設定された。これらに対する自己評価を次のように行っている。

ロボット2台で鬼と子の追いかけ合いの動作しかできず、その動きについてもスピード感に乏しいものであった。この点で、「見ていて楽しいものを製作する」という目的は達成できなかったと考える。

また、生産機械システム技術科は球体駆動、生産電子システム技術科はMP3 やリモコン、生産情報システム技術科は画像処理など私たちに興味を持ってもらえる工夫はしたが、ゲーム中の動作は、見ている人には分かりにくく、苦労した部分の特徴をしっかりと出せていなかったように感じた。やはり興味を持ってもらうには、見た瞬間に興味をそそるようなインパクトが必要だった。このことから「機械・電子・情報の分野に興味を持ってもらう」という目的も達成できなかったように思う。

Ⅷ おわりに

生物的な「群れ」を機械によって実現させることを目標に開発をはじめ、鬼ごっこによって「群れ」を表現するシステムや、それを実現させるロボットを製作することに取り組んだ。しかし、今回の開発では「群れ」を表現させることまで到達できたとはいえない。2台のロボットによる追いかけ合いに終わったのも、単体では安定していた無線通信が、複数台のロボットになった途端に不安定になったり、照明の状態が変化すると6台のロボットの識別が困難になったりと開発期間間に発覚した現象によるものである。このように、開発の経験がない学生にとっては予期せぬ事態が多々発生し、そのつど設計変更を余儀なくされることによる大幅な計画遅れが原因として存在する。指導側が仕様決定段階の重要性を理解し、確実に指導することが肝要であることを思い知らされた開発であった。