

群ロボットにおける接触コミュニケーションシステムの設計

平田 隆幸* 川地 秀幸*

Design of Communication System of Swarm Robots during a Real Contact

Takayuki HIRATA* and Hideyuki KAWACHI*

(Received January 31, 2007)

We designed the communication system during a real contact for swarm robots. The simple electric circuit and micro-computer enable the robots to communicate, when the robots contact with each other. We don't aim to make the perfect communication system free from a miss in data transmission, because the system is designed for the bio-inspired swarm robots, e.g., ant robots. We tested the performance of our communication system and discussed the application of it to the research of swarm robots.

Key Words : Communication system, real contact, swarm robots, bio-inspired robot

1. はじめに

群知能(Swarm Intelligence)の研究が注目をあつめている^[1]. 群知能の研究は, 要素間の相互作用によって創発(emergence)現象が発生し, より高度な知的システムが現われることに注目したものである. コンピュータ・シミュレーションによる研究が多い群知能の研究の中で, 実機をもちいた群ロボットの研究がなされるようになってきた^[2].

群ロボットの研究では, 相互作用する多数の小型ロボットがもちいられる. 群ロボットの研究にもちいられる個々の小型ロボットの性能は一般的に高くないが, 相互作用し協調行動をとることにより, 単独のロボットではできないような仕事を達成させるというのが特徴である. 個々の小型ロボットに高度な能力を要求しない群ロボットには, 次のような特徴がある. 1) 個々のロボットを安価に製作できる. 2) 安価ゆえに, 多数のロボットを製作できる. 3) 多数のロボットが協調行動をおこない仕事を達成することから, たとえ数台のロボットが故障しても群ロボット全体の仕事は影響を受けない(robustness). 4)

用途を限定し特殊化したロボットをもちいていないので, プログラムを変えるだけで, さまざまな作業(task)をこなせるという柔軟性がある(flexibility).

さて, 大きな可能性をもった群ロボットであるが, どのように設計すればよいのだろうか? 例えば, 小型のロボットにどれだけの機能を持たせればよいのだろうか? 個々のロボットを高機能化すればするほどさまざまなことができるようになるが, 同時に前述の群ロボットとしての長所が失われていく. 一般的に, 群ロボットの設計には大きな自由度がある. そこで, 蟻や蜂などの社会性昆虫(social insect)の行動をヒントにして, 群ロボットの設計をおこなうという研究がなされている^[3].

生物現象は, 創発現象の宝庫である. 特に社会性昆虫の群れとしての行動は, 創発現象の典型例であり, 最適化問題にも応用されている. さて, 群ロボットにおける創発のキーポイントは, 個体間の相互作用による協調行動である. 個体間の相互作用のためには, 個々のロボット間でどのように情報交換をするかが重要になってくる. 例えば, 社会性昆虫である蟻コロニーによる餌場探索では, フェロモンを介しての情報伝達がおこなわれている. 蟻のフェロモンを介してのコミュニケーションによる巣と餌場間の運搬路形成は, AOL(Ant Colony Optimization)と

* 知能システム工学専攻

* Dept. of Human and Artificial Intelligent Systems

して、最適化問題へと応用されている^{[4],[5]}。

さて、蟻コロニーにおける情報伝達を考えると、フェロモンによる情報伝達だけではなく、各個体が直接に出会ったときに、触覚などによって情報を伝達していることが知られている^[6]。ここでは、群ロボットにおける情報伝達手段の一つとして、ロボットが実際に接触したときにデータの交換をおこなえる通信システム的设计・製作をおこなう。

2. 接触通信システム的设计

2.1 複数ロボット間での通信

通信ラインが実際に接触したときのみに通信をおこなう接触通信システムを设计する。群ロボットに接触通信システムを搭載し、接触したときにロボット間で情報交換をおこなえるようにするのが目的である。通信ラインが接触したときに、通信が成立するシステムを设计する場合にどのような問題点が生じるかを考える。ロボットが2台の場合は、接触通信システム的设计は、容易である。一つの通信ラインをもった2台のロボットをロボットA、ロボットBとすると、一方のロボットの通信ラインを送信、もう一方のロボットの通信ラインを受信に設定しておくことができる(図1を参照)。なお、双方向の通信は、一方からのデータ送信が終了した後に、送信・受信を切り替えることによって実現できる。

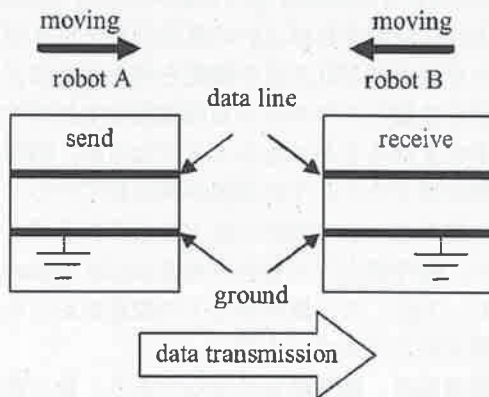


図1 2台のロボットが接触したときにデータ通信するシステムの模式図。

しかし、3台のロボット間でのデータ通信を考えた場合、2台のロボットのときのように、送信するロボット(type Sとする)、受信するロボット(type Rとする)という設定では問題が生じる。例えば、type Sのロボットが2台、type Rのロボットが1台、計3台のロボット間の通信を考える。Type Sとtype Rの

ロボットが出くわした場合には、うまく通信が成立するが、2台のtype Sのロボット同士が出くわした場合は、通信は成立しないという問題が生じる(図2を参照)。3台以上のロボット間での接触通信システムを考えた場合、最初から通信ラインを送信あるいは受信と決めておくことはできない。

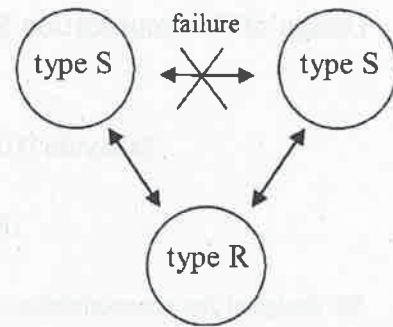


図2 3台のロボット間での通信。

3台以上のロボットで構成された群ロボットにおいて、任意のロボット間で通信が成立するようにするためには、通信ラインを送信あるいは受信というように決めておくことができない。つまり、type S(最初にデータを送信するロボット)あるいはtype R(最初にデータを受信するロボット)というような2種類のロボットではなく、2台のロボットが接触したときに、データを送信するロボットと受信するロボットを動的に決める必要がある。

2.2 マイコンをもちいた通信回路

接触したときに動的に送信側と受信側が決まる通信システムを簡単な電気回路とマイコンをもちいて実現することにする。ここでは、マイコンの2つのI/Oポート(input portとoutput port)に保護回路の役割を果たす電気回路を接続した通信システムを考える。図3に、接触通信システムを示す。

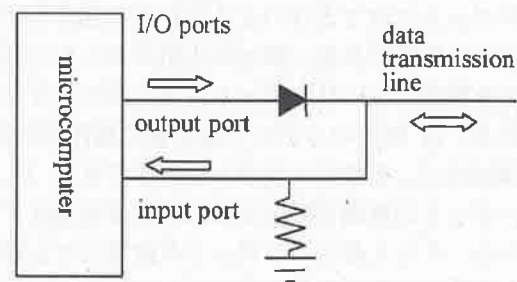


図3 マイコンと保護回路をもちいた通信システム。

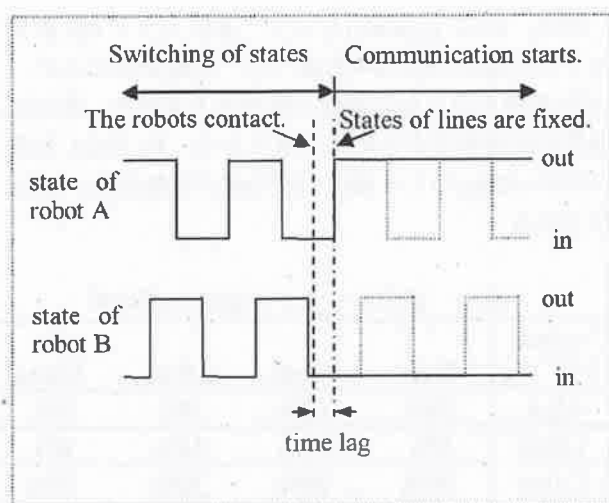


図4 通信ラインの状態の変化のタイムチャート。

1つの通信ラインがマイコンの output ポートと input ポートに接続されている(図3参照)。通信ラインは、マイコンにより一定の周期で送信・受信に切り替えられる。さて、2台のロボットが接触した場合を考えよう。通信ラインは、送信・受信が切り替わっているため、2台のロボットの送受信の切り替えタイミングが完全に一致している場合を除き、一方が送信、もう一方が受信となる。このときに、データを送信するロボット、受信するロボットが決まる。図4に、2台のロボットの通信ラインの送受信の状態が切り替わる様子をタイムチャートとして示す。

通信ラインが出力の状態(送信の状態)とは、マイコンの output ポートの出力を high(+5V)にしている状態を言う。この状態で、ロボットが他のロボットと接触していない場合は、output ポートの出力は保護回路の抵抗を通してグランドに流れる。なお、出力状態の2台のロボットが接触したとしても、保護回路のダイオードにより、output ポートに電流が流れ込むことはない。また、通信ラインが入力の状態(受信の状態)とは、output ポートを low(0V)にし、input ポートの入力値が high か low かをマイコンが監視している状態を言う。ロボットが他のロボットと接触していない場合、input ポートの入力値は low になる。

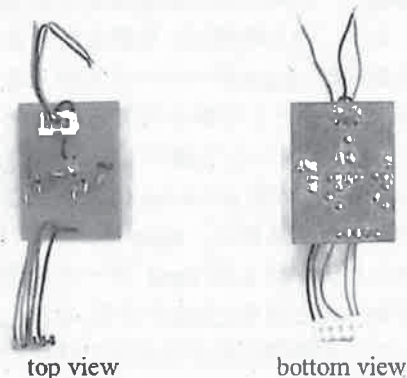
2台のロボットが接触したとき、2台のロボットの通信ラインの状態は、3つのパターンに分類される。1)一方のロボットの通信ラインが入力、もう一方のロボットの通信ラインが出力の場合。2)2台のロボットの通信ラインが両方とも出力の場合。3)2台のロボットの通信ラインが両方とも入力の場合である。1)の場合は、接触するとすぐに通信をはじめ

ることができる。2)あるいは3)の場合は、通信をはじめめるまでに、図4に示されているように time lag が生じる。

3. 接触通信システムの製作

3.1 製作した通信回路と通信アルゴリズム

図3に示した接触通信システムを製作し、ロボットに搭載して、通信が成功するかどうかを調べる実験をおこなった。マイコンには、Renesas Technology社のマイクロコンピュータ H8ファミリの 16bit CPU である H8/3052 をもちいた。なお、保護回路の抵抗には、10kΩのものをもちいた。実際に製作した接触通信システムの保護回路の部分を図5に示す。保護回路は、H8/3052の I/O ポートに接続されている。また、2台のロボットが接触したときに、同時に双方向のデータ通信がおこなえるように、図5に示した回路には2つの通信ラインが実装されている。なお、図5の回路には、通信システムの動作確認のた



めの LED が付け加えられている。

図5 接触通信システムの保護回路。

設計した接触通信システムは、通信ラインが物理的に接触しているときのみ、データ通信がおこなえる。移動するロボット同士が出くわしたとき、物理的に接触している時間は長くない。物理的に接触している間のみ情報交換をおこなうシステムであるため、データ通信中に物理的に離れてしまうと、通信に失敗するという問題点がある。しかし、数バイトの情報量のデータ通信を想定した場合、物理的に接触している間に、通信をおこなうことは可能である。また、社会性昆虫などの情報通信を模した群ロボットに搭載するという事を考えると、接触した場合 100%の確率でデータ通信が成功するという完全な通信システムである必要はない。

データ通信は、シリアル通信である。ここでは、もっとも通信の成功率の高い通信レート f を調べた。

また、物理的接触を考えたとき、接触した瞬間は、接触状態が不安定である確率が高い。それゆえ、接触感知から Δt 時間後に通信を開始することにし、最適な待ち時間 Δt を求めた。図6は、 Δt および通信レート f を分かりやすく示すための模式図である。

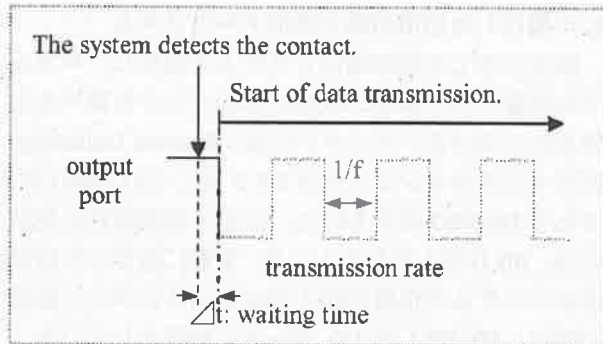


図6 待ち時間 Δt と通信レート f の説明図。

3.2 通信実験

図5に示す2つの通信ラインをもった回路をロボットに搭載し、同時に双方向通信をする実験をおこなった。まず、待ち時間 Δt を変えたときの通信の成功率を調べた。Inputポートへ入力があるかどうかは、inputポートとして割り当てられたマイコンのI/Oポートをモニターして調べている。I/Oポートの値の読み取りは、時間 $\omega=4.2\mu\text{s}$ 毎におこなうようにプログラムした。最初に、inputポートがhighの入力を感知した後、計 n 回inputポートの読み取り値がhighであったときを $\Delta t(n)$ とする。なお、 $\Delta t(n)$ は、 n によって一定時間に決まるわけではないことに注意しよう。通信レート $f=2.4\text{kHz}$ ($1/f=420\mu\text{s}$ に設定)として、各条件で10回実験をおこない、通信の成功率を決めた。なお、通信するデータ量は、8~32bitsとした。表1は、 $\Delta t(n)$ を変えたときの通信の成功率をまとめたものである。待ち時間 $\Delta t=0$ ($n=1$ に対応する)つまり待ち時間が無いときより、 $n=30$ ($\Delta t(30)\geq 29 \times 4.2=122\mu\text{s}$)のときの方が通信の成功率が高いことが分かる。

表1 $\Delta t(n)$ と通信の成功率

n \ data	8bits	16bits	24bits	32bits
1	30%	30%	20%	30%
10	50%	40%	40%	30%
30	60%	40%	40%	40%
50	50%	30%	20%	30%
80	40%	30%	20%	30%
100	50%	40%	20%	20%

なお、通信レートは $1/f=420\mu\text{s}$ である。

次に、 $n=30$ ($\Delta t(30)$)として、通信レート f を変えたときの通信の成功率を調べた。実験条件ごとに、10回実験をおこない通信の成功率を求めた。表2に、通信の成功率をまとめた。表2から、 $f=336\mu\text{s}$ あるいは $f=420\mu\text{s}$ のとき通信の成功率が比較的良好いことが分かる。

表2 通信レート f と通信の成功率

data \ 1/f	8bits	16bits	24bits	32bits
42 μs	20%	10%	0%	0%
126 μs	0%	20%	10%	0%
210 μs	50%	20%	30%	10%
336 μs	30%	50%	30%	10%
420 μs	40%	25%	25%	30%

待ち時間は $\Delta t(30)$ としている。*420 μs のデータについては、20回実験をおこなったときの成功率。

双方向通信は、2つの通信ラインを使って同時におこなう方法以外に、1つの通信ラインの送受信を切り替えることによっておこなう方法がある。1つの通信ラインを使って送受信をおこなう場合は、通信時間が2倍かかるというデメリットがある。一方、2つの通信ラインを使って同時に双方向通信をおこなう場合、グランド・ラインを含め3つのラインが同時に接触していなければならない。3つのラインの1つでも接触不良になると、通信は成功しない。1つの通信ラインを使う方法は、同時に接触していなければならないラインは、グランド・ラインを含め2つのラインであるので、単位時間あたりの接触不良率は小さくなるというメリットがある。そこで、1つの通信ラインを使い、 $n=30$ 、 $1/f=336\mu\text{s}$ として、通信の成功率を調べた。表3に、実験結果をまとめたものを示す。

表3 1本の通信ラインをつかった場合の成功率

data	8bits	16bits	24bits	32bits
success	50%	60%	40%	60%

ここでは、待ち時間 $\Delta t(30)$ 、通信レート $1/f=336\mu\text{s}$ 。

4. まとめ

群ロボットに搭載する接触通信システムを設計・製作した。2つの通信ラインを使った同時双方向通信の実験をおこなった。接触通信システムでは、データ送信中に通信ラインの接触不良が生じると、通信が不完全になり、通信失敗となってしまう。そこで、通信レート f および待ち時間 Δt を系統的に変えながら、通信の成功率がもっともよくなる f および

$\angle l$ の値を求めた。また、1つの通信ラインを使い送受信を切り替えることにより、双方向通信をおこなう実験をおこない、もっとも通信の成功率が高くなる通信レート r を求めた。2つの通信ラインをもちい同時に双方向通信をおこなう方法と1つの通信ラインをもちい送受信を途中で切り替え双方向通信をおこなう方法を比較した場合、両方法にメリット・デメリットがあり、現段階では、どちらがよいかの結論は出せなかった。

接触通信システムでは、通信ラインの接触部分が通信の成功率の大きなファクターとなっている。接触部分を改良することによって、大きく通信の成功率が高くなる可能性がある。また、通信システムにもちいたプログラミングにも改良の余地がある。それゆえ、今回の実験は予備実験といえるかもしれない。しかし、簡単な保護回路とマイコンによって、接触通信システムの製作に成功したことは、今後の群ロボットへの搭載を含め、群ロボットの研究において新たな通信システムの可能性を増やしたと言える。例えば、電磁波ノイズが多く、電波を使った通信などが困難な極限状況で作業する群ロボットへの応用などが期待できる。

今後、接触通信システムの改良およびこのシステムを我々が開発している小型ロボット^[7]に搭載し、群ロボットの可能性を追求する研究をおこないたいと考えている。

謝 辞

田中ダン講師をはじめとする知能システム工学科非線形科学研究室のメンバーとの議論は研究をおこなう上で、非常に有益でした。また、本研究は、部分的に2006年度福井大学大学院生創成・企業化育成教育プロジェクトの補助をいただいております。ありがとうございます。

参考文献

- [1] E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz: *Swarm Intelligence*, Oxford Univ. Press, New York (1999).
- [2] F. Mondada, L. M. Gambardella, D. Floreano, S. Nolfi, J-L Dencubourg, M. Dorigo: *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 12-2, 21 (2005).
- [3] 川村：生命複雑系からの計算パラダイム，森北出版，pp.1-81(2003).
- [4] M. Dorigo and T. Stützle: *Ant Colony Optimization*, MIT Press, Cambridge (2004).
- [5] M. Dorigo: *Ant Colony Optimization*, <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/>

[6] 例えば, MSN エンカルタ総合大百科.

[7] T. Hirata, M. Yamazaki, N. Shuto : *Proceedings of SCIS&ISIS*, pp. 262-266 (2006).

