

1つの通信ラインを使った接触通信システム

平田 隆幸* 大場 公隆*

The Communication System using One Communication Line during a Physical Contact

Takayuki HIRATA* and Masataka OHBA*

(Received February 6, 2009)

The communication system during a physical contact for swarm robots was modified. An algorithm for the contact communication system using one communication line was proposed. Although we don't aim to make the perfect communication system free from a miss in data transmission, the success rate of communication is an important factor for the design of communication system. We tested the performance of our modified communication system. The success rate of communication was considerably improved.

Key Words : Communication system, physical contact, swarm robots, serial communication, bio-inspired robot.

1. はじめに

自律分散システムとしての群知能 (Swarm Intelligence) の研究が注目をあつめている^[1]. 群知能の研究とは, 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おいてはさまざまな相互作用を試すことができるので, 群知能の研究ではコンピュータ・シミュレーションによるものが多い. しかし, 現実の系を理想化および単純化したコンピュータ・シミュレーションによる研究だけでは不完全といえる. そこで, 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].

群ロボットとしては, 相互作用する小型ロボットがもちいられる. 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群ロボットの特徴である. 個々

の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) 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複雑な仕事を達成する. 4) 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). 5) 用途を限定し特殊化したロボットではないので, プログラム変更で, さまざまな作業 (task) をこなせるといった柔軟性がある (flexibility).

さて, 群ロボットの設計は, どのようにすればよいのだろうか? 例えば, 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しまう. 一般的に, 群ロボットを含めた群知能の設計には大きな自由度がある. それゆえ, かえって設計が難しい. 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, 群知能の設計をおこなうという研究がなされている^[3].

生物界は, 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, 創発現象の典型例と言える. 創発現象のキーポイントは, 相互作用による

* 知能システム工学専攻

* Dept. of Human and Artificial Intelligent Systems

協調行動である。例えば、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、ACO(Ant Colony Optimization)として、最適化問題へと応用されている^{[4][5]}。ところで、蟻の情報伝達を考えると、フェロモン場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]。

我々は、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接触通信システム的设计・製作をおこなってきた^[7]。そして、接触通信をもちいることにより群ロボットの可能性が広がることを示してきた^[8]。しかし、接触通信システムの通信成功率はあまり高いものではなかった。ここでは、通信アルゴリズムの改良により、通信成功率を高める試みをおこなったので報告する。

2. 通信ラインが2つの接触通信システム

2.1 複数ロボット間での通信

最初に、接触通信システムの概要を説明しよう。接触通信システムは、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。さて、2台のロボット(ロボットA、ロボットB)の場合、一方のロボットを送信、もう一方のロボット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。

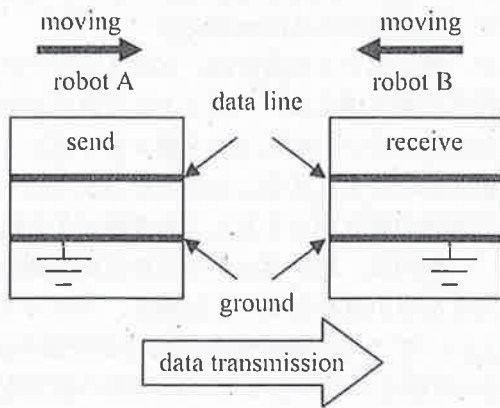


図1 2台のロボットが接触したときにデータ通信するシステムの模式図 ([7]からの引用)。

しかし、3台以上のロボットの場合、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)という設定はできない。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、通信が成立する。しかし、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)。このように3台以上のロボット間では、ロボットの通信状態を、最初から送信あるいは受信と決めておくことはできない。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。

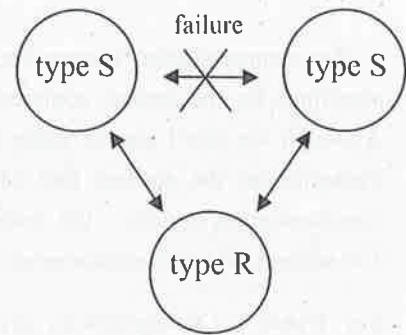


図2 3台のロボット間での通信 ([7]からの引用)。

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は、電気回路とマイコンをもちいて実現ができる。図3に、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接触通信システムのハードウェアを示す。

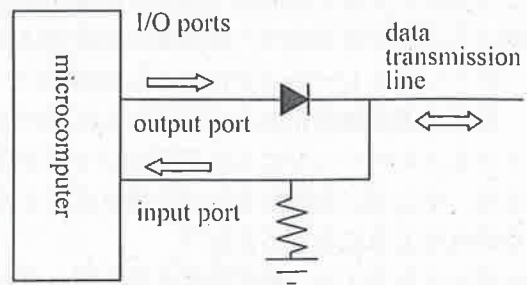


図3 マイコンと保護回路をもちいた通信システム ([7]からの引用)。

2.2 2つの通信ラインを使った双方向通信

通信ラインが2つある場合の接触通信を考える(図4参照)。この場合は、ロボットが接触すると2台のロボット間で送受信が同時に行える^[7]。通信ラ

インは、マイコンにより、一定の周期で送信・受信が切り替わっているのに、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、一方の通信ラインが送信、もう一方の通信ラインが受信となる。図5に、2台のロボットの一つ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。

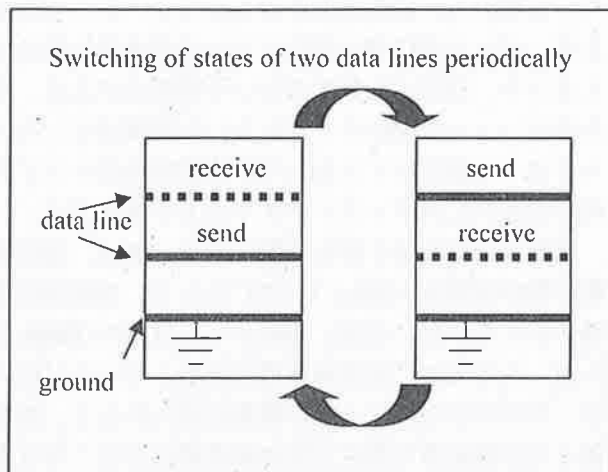


図4 2つの通信ラインがある場合、一方の通信ラインが送信のとき他方のラインは受信となる。そして、送信・受信の状態は一定周期で入れ替わる。

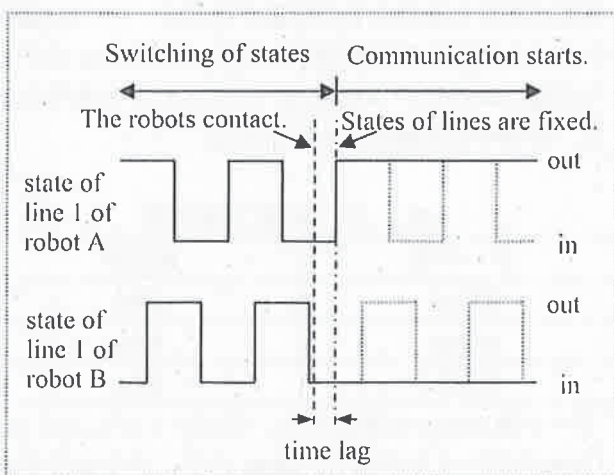


図5 通信ラインの状態の変化のタイムチャート。

通信ラインの一つに注目すると、ロボットが接触したとき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出力、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

信をはじめると、図5に示されているようにtime lagが生じる。

3. 一つの通信ラインによる接触通信システム

3.1 通信ラインが一つのときの困難さ

通信ラインが2つの場合、ロボット間で接触通信がおこなえることはすでに示すことができた^[7]。しかし、2つの通信ラインを使った接触通信システムは、グラウンドラインを含めて3つのラインが同時に接触しないと、通信が成功しない。それゆえ、通信の成功確率が低くなってしまふ可能性がある。ここでは、通信ラインを1つにした接触通信システムを考える。

1つの通信ラインのみを使用した場合と2つの通信ラインを使用した時の接触通信システムの大きな違いは何であろうか？ 1つの通信ラインの場合、受信状態にあるロボットは、送信状態にあるロボットとの接触を感知することは容易である。しかし、送信状態にあるロボットが、受信状態にあるロボットと接触したことを認識するためには、アルゴリズムの改良が必要となる。なお、2つの通信ラインを使った場合は、1つの通信ラインが送信状態の場合、もう一方の通信ラインは受信状態となっているので、このような問題は生じない(図4参照)。

3.2 改良したアルゴリズム

受信状態のロボットは、送信状態のロボットとの接触を感知できるという点に注目する。最初に接触を感知したロボットは、相手の送信状態の継続時間を計測する(なお、計測した送信状態の継続時間を t_{span} とする)。接触通信システムでは、通信ラインの状態を一定の周期 T で送信・受信を切り替えている。それゆえ、計測した送信状態の継続時間 t_{span} が周期 T よりも短い場合($t_{span} < T$)は、相手のロボットは、こちらのロボットの接触を感知していないことが分かる。その直後に、通信ラインを送信状態へとスイッチし、送信状態を $2T$ 時間以上保持することにする。そのときの相手のロボットの通信ラインの状態は、受信状態であるので、接触を感知しており、送信状態の継続時間を計測している。そして、計測した相手のロボットの送信状態の継続時間 t_{span} が T より長いことから、相手のロボットはすでに接触を感知していると判断できる。フローチャートを図6に示す。このようなアルゴリズムにすることによって、お互いの接触を感知し、どちらが送信側あるいは受信側になるかを定めることができるようになる。

上記のようなアルゴリズムが必要な理由を補足し

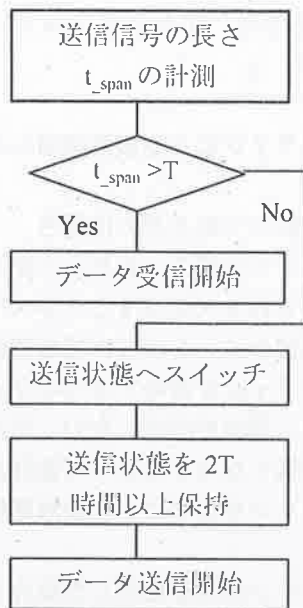


図6 受信状態で送信信号を感知した時のフローチャート。

ておく。上記のようなアルゴリズムをもちいなくても、送信状態にあるロボットが、受信状態にあるロボットと接触したことを認識するは簡単に思えるだろう。というのは、接触通信では、送信・受信状態を切り替えるので、時間が経てば、送信状態にあるロボットは受信状態に、受信状態にあるロボットは送信状態になるので、相手のロボットを認識できるようになる。しかし、認識はできるが、どちらのロボットが最初にデータを送信してよいかはわからない。言い換えると、図6に示したアルゴリズムは、最初にデータを送信するロボットとデータを受信するロボットを決めるためのものであると言える。この場合は、先に相手のロボットを見つけたロボットが最初にデータの送信をおこなうというアルゴリズムである。

3.3 通信実験

1つの通信ラインをもちいた接触通信システムの通信実験をおこなった。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 H8/3069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(文献[7]と同じ回路である)。保護回路は、H8/3069のI/Oポートに接続されている。

2つの通信ラインをもちいた接触通信システムと比べたときの1つの通信ラインをもちいた接触通信システムの特徴は、1) 物理的な接触の維持が容易である、2) 相互に同じ量のデータを送る場合、通信時間が倍になる。1)については、2つの通信ラインを

もつ接触通信システムでは、グラウンドを含めた3本の通信ラインが通信中に接触を維持していないと、通信がおこなえないのに対して、2本の通信ラインが接触を維持しているだけで通信が成立するという利点がある。2)については、通信ラインが安定に接触している時間が倍必要になるという欠点となる。

接触通信システムは、ロボットが衝突しているときのみデータ通信がおこなえる。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、データ通信中に通信ラインが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。それゆえ、1つの通信ラインをもちいた接触通信システムと2つの通信ラインをもちいた接触通信システムは、お互いにメリット・デメリットが存在する。

送信・受信の切り替え時間を $T=300\mu\text{s}$ 、送信状態の保持時間を $1500\mu\text{s} (> 2T)$ として、接触通信実験をおこなった。なお、通信レートは $1/f=300\mu\text{s}$ とした。ここでは、双方向の通信をおこなっているため、決められたビット数の情報が送られると、送信側と受信側を切り替えて引き続き通信をおこなうようにしている。

データ量を変えて、通信ラインが1つの接触通信システムをもちいた実験をおこなった。データ量が32bitsのときは143回、データ量が64bitsのときは146回、データ量が151bitsのときは178回の実験をおこない、通信の成功率を求めた。データ量と通信の成功率をまとめたものを表1に示す。二つの通信ラインを使用した接触通信システムの32bitsのデータの通信成功率が30%程度^[7]であったことを考えると、成功率の大幅な向上と言える。

表1 データ量*と成功率

データ量	成功率
32 bits	69%
64 bits	85%
151 bits	85%

*データ量32bitsの通信とは、ロボットからみると、32bitsのデータを送信し、32bitsのデータを受信する通信を意味する。

4. まとめ

群ロボットに搭載する接触通信システムの改良をおこなった。1つの通信ラインを使った双方向通信のアルゴリズムを考案した。1つの通信ラインをつかった接触通信システムでは、通信中の通信ラインの維持が2つの通信ラインをつかった接触通信システムより容易であるという特徴をもっている。それ

ゆえ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という接触通信システムの欠点の改良につながる可能性がある。1つの通信ラインをもった接触通信システムをもちいて実験をおこなった結果、通信成功率の大幅な改善が達成できた。

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。群ロボットの車輪をグラウンドラインにし、かつ走行するフィールドをグラウンドとしてもちいるなどすると、1つの通信ラインによる接触通信システムでは、1点での接触のみで、接触通信が可能となる。この場合は、通信の成功率が非常に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、今後のさらなる改良によって、通信成功率の改善がきたいできる。

また、接触通信システムを搭載した小型ロボット^[8]をもちいた群ロボットの研究をおこなっており、接触通信の可能性を示すことができた。今後、接触通信システムの改良とともに、天敵の導入など接触通信システムを搭載した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専攻非線形科学研究室のメンバーとの議論は、有益でした。皆様に、感謝いたします。

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 Deneubourg, 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] 平田隆幸, 川地秀幸: 群ロボットにおける接触通信システムの設計, 福井大学工学研究科研究報告 55, 61-65 (2007).
- [8] 大場公隆: 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻修士論文(2009).

