

4M-7

無線により通信する自律移動ロボットの動的な中継局選択法\*

秋庭 朋宏 矢向 高弘 安西 祐一郎†  
 慶應義塾大学‡

1 はじめに

複数の自律移動ロボットが存在しているシステムでは、ロボット間の通信手段として無線通信を用いるのが良いと考えられる。無線通信では、通信しようとする相手が無線の到達範囲外に出ることがある。その場合の対処法として、固定の中継局は設けずにロボット自身にその機能を持たせ、動的に中継局となるロボットを選びだし、それを介して通信を行う方法が考えられる。本研究では無線の到達範囲外の相手と通信する際に必要とされる中継局選択のアルゴリズムについて提案し、評価する。

2 自律移動ロボットにおける通信

複数の自律移動ロボット及び計算機が存在するシステムでは、ロボット相互もしくはロボット-計算機間の通信はパケット無線通信を使う方法が普及している。通信の際に、相手が無線の到達範囲外にいる場合が生じ、その場合中継局をどのロボットにするかが問題になってくる。通常、広域の無線通信においては中継局を固定するが、自律移動ロボットを含むシステムでは固定局がないので、それぞれのロボットに中継する機能を持たせるのが良いと考えた。本論文では中継局となるロボットの選択アルゴリズムを4つ提案し、それぞれについて比較・評価する。

3 モデル 及び 中継局選択法

3.1 ロボットの環境仮定

自律移動ロボットは、お互いにあるいは計算機との間で通信を行ないながらフィールドの中を動いていて、数台から数十台あるものとする。フィールドは無線が届かない地域存在する程度の広さを持つ。通信は頻繁に行なわれるものではなく、チャネルトラフィックの増加により回線が確立できないことはないとして仮定する。

ロボットの配置は図1のようなものを想定する。○Xは送信元ロボット、○Zは送信先ロボットでXの交信範囲外にいる。●はその他のロボットを表し、WはZと交信不可能でYは交信可能であるとする。

ロボットの通信は以下のような条件で相互に行なわれる。

- 通常は通信しようとするロボット間で回線を確立してから交信を行なう。
- 回線は2ホップ以内で結ばれるものとし、1通信毎に回線を切断する。
- 無線による通信はTNCにより管理されており、0.5-persistent CSMA方式で通信される。
- 1つの周波数のみを用いて通信されるので、すべての通信はその周波数を共有して行なわれる。

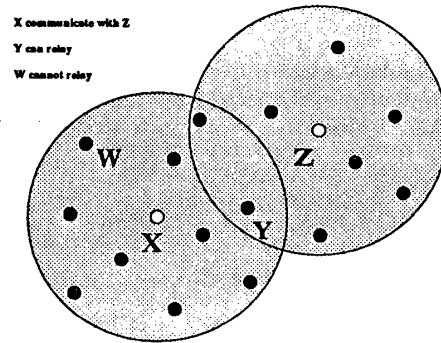


図1: 中継局探索のロボットの配置

- 各ロボットはルーティングテーブルを持ち、他のロボットへの通信経路と、そのロボットが起動しているかどうかのデータが入っている。ただし、このテーブルは自分への通信が行なわれた際に更新されるので、常に正しいとは限らない。

3.2 中継局選択法のアルゴリズム

簡単な中継局の選択法は、以下の3つが考えられる。

- 全探索 (A方式)  
 Xは自分の持つルーティングテーブルを参照し、近隣のロボット1台ずつに探索要求を出す。要求を受けたロボットはZとの回線の確立ができるかどうかを試み、その結果を報告する。
- ブロードキャスト (B方式)  
 Xは探索要求をブロードキャストで流す。その要求を受けたロボットも、ブロードキャストで探索要求を流す。これを受けたZは、1番最初に来たブロードキャストの送信元を中継局として選びXに報告する。
- ブロードキャスト&コネク (C方式)  
 Xは探索要求をブロードキャストで流す。その要求を受けたロボットはZとの回線を確立しようとする。成功した場合にはXに報告する。

しかし、これらにはトラフィックの増加にともなうスループットの低下が著しいとか、回線確立までの時間が非常に長くなるという欠点が見られる。そこで、本論文ではそれらを改善したアルゴリズムとして、以下のものを提案する。

- ブロードキャスト&全探索 (D方式)  
 ブロードキャストを受けた後に探索する際に一斉にパケットが飛ぶことによるトラフィックの増加を減らすために、ロボットXは自分の持つルーティングテーブルをメッセー

\*Dynamic Selection Algorithm for Relay Autonomous-Mobile-Robot with Radio Communication

†Tomohiro AKIBA, Takahiro YAKOH, and Yuichiro ANZAI

‡Keio Univ.

ジに含めたブロードキャストを流す。それを受けたロボットはそのメッセージ中の順番に応じた時間経過の後にZとの回線を確立しようとする。成功した場合には、Xに結果を返す。それを受けたXは探索終了のブロードキャストを出す。

## 4 評価

### 4.1 トラフィック

パケット通信におけるスループットはトラフィックの増加とともに向上し、衝突が多くなると低下していくので[Kleinrock 75]、トラフィックについて考えれば、回線の利用効率がわかる。ロボットの探索要求が出ていない場合には、通信はあまり頻繁には行なわれないのでトラフィックは小さく、スループットもそれに適しただけ得られている。

#### 探索要求後のトラフィックの増加

A・Dはさほどトラフィックは増加しないが、B・Cでは一斉に探索を始めるのでトラフィックが著しく増加する。Bは衝突してもその検知を行なわないので、比較的早くトラフィックが減少していくが、Cは衝突を検知するとリトライをするため、なかなか減少しない。

#### 台数とトラフィックの増加

DおよびA方式では台数の多少に関らずトラフィックは変化しない。しかし、B・C方式では飛ばそうとするパケットが増えるのでさらにパケットの衝突の確率が高くなり、Xの通信範囲内のロボットが10台を越すような環境では中継局が見つかるまでの時間がかかりすぎる。図2に探索要求がブロードキャストで出た後に、それを受けたロボットが回線確立のために出したパケットが時間とともにどれだけ成功するかをロボットの台数毎に示す。

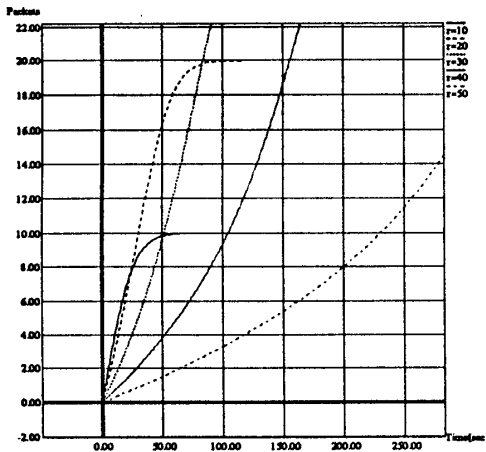


図 2: 成功パケット数の時間変化のロボットの台数による違い

以上からトラフィックに関してみれば、その大きさおよび減少の早さそして台数との関係においてA・D方式はB・C方式よりかなり優れていることが分かる。

### 4.2 回線確立時間

パケットの送信時間をつぎのように定める。回線確立及び切断要求(C)、データ(D)、ブロードキャスト(B)。また、

K方式でi個までパケットが正常に出される時間を $P_{Ki}$ 、D方式におけるパケット送信間隔をW、トライの回数をnとすると、それぞれの方式において以下のように回線確立時間が表せる。ただし $B, C, D \ll P_{Bi}, P_{Ci}$ である。

- A方式では  $(4C + 2D)n + 2C$
- B方式では  $2B + \sum_{k=1}^n P_{Bk} + 4C + 2D$
- C方式では  $B + \sum_{k=1}^n P_{Ck} + 4C + D$
- D方式では  $B + W(n-1) + 4C + D$

最短時間はまわりにYのみが存在する時で、 $\sum P_{Bk}, \sum P_{Ck} = 0, B, C, D = 1$ に相当する(表1の1番左)。しかし、台数が多くなると $\sum P_{Bk}, \sum P_{Ck}$ の値は大きくなり、台数に依存しないA・D方式との差が開き、10台で3秒の差が出る。

次に期待時間を考えると、何台目のロボットが中継局になれるかという期待値は、中継可能率だけに依るので、1回の探索にかかる時間で評価できる(表1の真中)。これより中継可能率が小さくなくてもDが優れていることがわかる。

方式	最短時間 [sec]	探索時間 [sec]
A	8	6
B	8	3
C	6	4
D	6	2

表 1: 回線確率の最短時間と探索時間

### 4.3 総合評価

トラフィックと回線確立時間について評価をとったが、双方においてD方式が優れていることがわかった。これは、トラフィックをあまり増やさないためにルーティングテーブルから1つずつ探索するようにしたこと、探索の管理をXがするのではなくメッセージに含まれた順序に従い各ロボットがタイミングをはかって探索するようにしたこと、以上の2点について留意したためである。

## 5 おわりに

自律移動ロボット間の無線通信において、相手が無線の到達範囲外に出てしまった場合の中継局選択法を提案し、評価した。評価結果からブロードキャスト&全探索のアルゴリズムが他のものよりトラフィック及び回線確立時間に関してともに優れていることがわかった。

## 参考文献

- [Kleinrock 75] L.Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels : Part-I Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.12 COM-23, no.12, pp.1400-1416, 1975
- [Kakaes 89] A.K.Kakaes and R.R.Boorstyn, "Placing Repeaters in Multi-hop Packet Radio Networks," *IEEE INFOCOM*, vol.2, pp.723-727, 1989