

# モバイル環境下における赤外線を用いた 自律分散通信プロトコル

片桐 秀樹      河口 信夫      稲垣 康善

名古屋大学大学院工学研究科計算理工学専攻

E-mail:{katagiri,kawaguti,inagaki}@inagaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

会議などの複数の携帯情報端末が集まるモバイル環境においては、各端末間で直接情報を交換・共有したいという要求がある。本稿では、多くの携帯端末で利用可能な赤外線通信に注目し、1対1通信の繰り返しにより疑似的な多対多通信を可能にする自律分散通信プロトコルを提案する。各端末は局発見手続きを繰り返すことにより、未知の状態から自律的にネットワークを構築し、直接通信できない端末間では他の端末を中継して通信を行う。本プロトコルにより、端末を持ち寄るだけで手軽にネットワークを構築し、情報の交換・共有が行える。

## 1 はじめに

手軽に持ち運びできるノートブック型のパーソナルコンピュータやPDA等が普及するにつれて、これらの携帯端末が様々な移動先で、個人的な活動や仕事のために利用されることが多くなった。さらに最近のデジタル携帯電話・PHS等の普及によって、モバイル環境から固定ネットワークへ接続し、ネットワーク上の資源を利用する状況が現実となりつつある。[1][2]

さらに、外出先や会議等において、複数の携帯端末を持ち寄って、それらの端末間で直接情報交換・共有を行いたい状況が考えられる。そのような状況においては、いつでもどこでも手軽に通信ネットワークを構築し、任意の端末間で情報交換を行えるような通信システムが必要となる。携帯端末だけから構成される通信ネットワークに関する研究としては、赤外線拡散方式によるWireless DAN[3]が挙げられる。しかし、有線通信やWireless DANのような無線通信では、通信ネットワークを構築するために、特別なデバイスやケーブル、アンテナ等を必要とし、また通信を行うためのコストも高い。一方、赤外線データ通信[4]は、最近多くの携帯端末で採用され、高速通信も可能であり、手軽な通信手段として有望である。しかし、現在の赤外線データ通信は1対1通信しか規格化されていないため、複数の端末間で同報通信のような多対多通信を行うためには、何らかの通信プロトコルを必要とする。さらに、直接通

信できない端末間においては、中継の仕組みが必要である。

本稿では、赤外線データ通信の規格に基づいて、1対1通信の繰り返しと中継によって、通信可能な任意の端末間における疑似的な多対多通信を可能にする自律分散通信プロトコルを提案する。このプロトコルの特徴は、各通信局が局発見手続きを繰り返すことによって、未知の状態から一時的な通信ネットワークを自律的に構築する点である。ところでネットワークトポロジ把握のためのプロトコルとしては中村らの手法[6]もあるが、彼らは通信媒体として多対多通信が可能な無線通信を用いており、またネットワーク探索を開始する局が1局の場合しか考慮していない。これに対して我々の提案するプロトコルは、複数の端末から探索が開始されても正常にネットワークトポロジを把握出来ることを目標としている。本プロトコルにより、複数の端末を持ち寄るだけで手軽に通信ネットワークを構築することができる。

以下、2章では赤外線データ通信の特徴と問題点を述べる。3章では携帯端末による通信ネットワークのモデル化を行い、4章で我々が提案する自律分散通信プロトコルの概要を述べる。5章では提案したプロトコルの動作確認のために計算機上に作成したシミュレータの概要を示す。そして、6章でまとめを述べる。

## 2 赤外線データ通信

携帯情報端末に採用されている赤外線データ通信には、主流な規格としてIrDA方式[4][5]とASK方

Infrared Autonomous Distributed Communication Protocol for Mobile Computing, Hideki KATAGIRI, Nobuo KAWAGUCHI, Yasuyoshi INAGAKI, Nagoya University

式がある。IrDA方式は、直接通信可能な局間の通信規格であり、以下の特徴を持つ。

- ISOのHDLC(High-level Data Link Control)手順に基づく半二重通信である。
- 通信可能な範囲に存在する通信局が移動により変更されるため、リンク開設時に動的に通信局を発見する手続きを行う。
- 最初に接続要求データを送信した側を1次局とし、受信した側を2次局とする。2次局は、1次局からコマンドを受けた時だけ1次局に対してレスポンスを返すことができる。
- 隣接している通信局のいずれかが通信を行っている間は、通信を行うことはできない。

また通信距離や障害などによって通信リンクが遮断されたり、直接通信できない隠れ端末問題が生じうるといったような固有な問題がある。IrDA方式では、現在1対1通信の protocols しか規格化されていない。本稿では、IrDA方式を用いることにし、プロトコルの前提として上記の条件を用いる。

### 3 モバイル環境下の通信ネットワーク

本節では、本稿が対象とする状況のモデル化を行う。ユーザが携帯端末を持ち寄った状態は、例えば図1(a)のように表せる。各円は、携帯情報端末(以後、通信局と呼ぶ)を表し、各通信局は固有の識別子 $n_i$ を持つ。また赤外線データ通信により直接通信可能な通信路を点線で表す。実線は、各通信局が認識している通信路を表す。

本稿で提案する通信プロトコルは、各通信局が他に何局存在するか、どの局と局の間に通信路が存在するかについての情報を持たない図1(a)の状態から、任意の局がネットワーク探索を開始し(同図(b))、全ての局が全ての通信路を把握すること(同図(c))を目標としている。

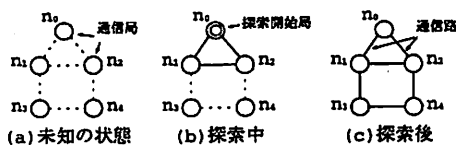


図1: 通信ネットワークの探索

提案する通信プロトコルを単純化するために以下の条件を仮定する。

1. ネットワークトポロジは、動的に変化しない。
2. 通信されるデータは、その通信リンク上で改変されたり損失することはない。

## 4 自律分散通信プロトコル

### 4.1 概要

本プロトコルでは、ネットワーク探索のために分散アルゴリズムの拡散型計算[7]を応用する。すなわち、ネットワークを探索開始局を根とする木構造と見なし、各通信局が自律的に1対1通信を繰り返すことによって幅優先の探索を行う。その結果、全ての通信局がネットワークトポロジを把握できる。

また、ネットワークの探索が複数の通信局から開始された場合(図2(a))、ネットワーク上に異なる通信局から探索される局が存在する(図2(b))。この場合に、この通信局を新たな探索開始局と見なし、それまでの探索開始局を中継局へと変更する(図2(c))。これにより、全ての通信局がネットワークトポロジについての情報をより早く獲得できる。

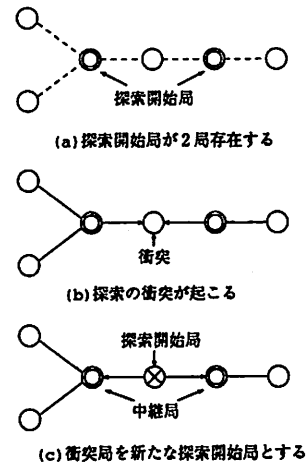


図2: 探索手続きの衝突に対する処理

### 4.2 準備

探索によって発見された各通信局間の通信路の有無、及びネットワークトポロジを表すために、隣接行列を用いる。隣接行列を $A$ とすると、 $A$ は $m \times m$ 行列( $m$ は通信局数)である。また $A$ の $p$ 行 $q$ 列に位置する要素を $a_{pq}$ とする( $a_{pq} = a_{qp}$ )と、 $a_{pq}$

= 1 のとき通信局  $n_p$  と  $n_q$  の間に通信路が存在し、また  $a_{pq} = 0$  のときには通信路が存在しないものとする。

#### 4.2.1 通信局が保持する内部変数・情報テーブル

探索手続きを実現するために、各通信局  $n_i$  は、次のような内部変数・情報テーブルを保持する。

- 親変数 ( $P_i$ )  
ネットワークトポロジを探索開始局が根となるような木構造に見なした時、直接の親に該当する通信局の識別子を保持する。
- 探索開始局変数 ( $S_i$ )  
ネットワークトポロジを探索開始局が根となるような木構造に見なした時、木の根に該当する通信局の識別子を保持する。
- モード変数 ( $M_i$ )  
通信局が現在、‘探索開始局’か‘中継局’もしくは‘一般局’のいずれかのモードであるかを保持する。
- 情報テーブル ( $T_i$ )  
直接通信可能な通信局に関する情報を保持する。情報テーブルの例を表 1 に示し、各列の説明を以下に述べる。

ID 該当する通信局の識別子

in 隣接行列を受信した場合に印 (✓) を付ける。

out 隣接行列を送信した場合に印 (✓) を付ける。

情報 通信を行って取得した隣接行列を記入する

探索開始局 該当する通信局の通信探索開始局変数の値

‘in’, ‘out’ の列により、既に通信を行ったことが分かるため、探索の手続きがループしない。また異なる探索開始局からの探索手続きの衝突は、‘探索開始局’の列が同一でない場合に判断できる。

表 1: 情報テーブルの例 ( $T_i$ )

ID	in	out	情報	開始局
$n_j$	✓		{ {0,1,...}, {1,0,...} }	$n_s$

#### ● 隣接行列 ( $A_i$ )

情報テーブルの‘情報’に含まれる隣接行列を合成して得られる隣接行列を保持する。

#### 4.2.2 通信メッセージ

各通信局は、つぎのようなメッセージを送受信する。各メッセージ中の  $n_i, n_j, n_s$  は、それぞれメッセージの送信局、宛先局、メッセージ送信局の探索開始局の識別子である。

- Query( $n_i, n_s$ )  
1 次局  $n_i$  が直接通信可能な局を発見するために送信する。
- QAck( $n_i, n_j, n_s$ )  
通信局  $n_i$  が Query を受信したとき、Query を送信した 1 次局  $n_j$  へ送られる。IrDA 方式に従い、このメッセージだけは隣接する通信局が通信中でも送信することができる。
- Info( $n_i, n_j, n_s, A_i$ )  
実際に隣接行列  $A_i$  を送信するときに 1 次局  $n_i$  から 2 次局  $n_j$  へ送信される。
- Signal( $n_i, n_j, n_s, A_i$ )  
ネットワークを  $n_s$  が根となる木構造に見なし、 $n_i$  からの子孫に相当するネットワークの探索の終了と、そのネットワークのトポロジを表す隣接行列  $A_i$  を親  $P_i(=n_j)$  へ送信する。
- Change( $n_i, n_j, n_s, A_i$ )  
隣接行列  $A_i$  及び親変数と探索開始局変数の変更を指示するために送信される。また  $n_j$  が探索開始局の場合、‘中継局’へとモードを変更するように指示するために送信する。
- LAck( $n_i, n_j, n_s$ )  
2 次局  $n_i$  が Info・Signal・Change を受信したときの確認のために 1 次局  $n_j$  へ送信する。

#### 4.3 ネットワーク探索手続き

本節では、ネットワーク探索手続きを概観する。より詳細な通信局の状態遷移は図 3～図 5 を参照されたい。初期状態は、探索開始局以外は、全局 2 次局 (1)(図 6) である。

1. 探索を開始する通信局  $n_s$  が 1 次局となる。  
( $i = s$ )
2. 1 次局  $n_i$  がメッセージ Query を送信する。  
(図 3 状態 1)

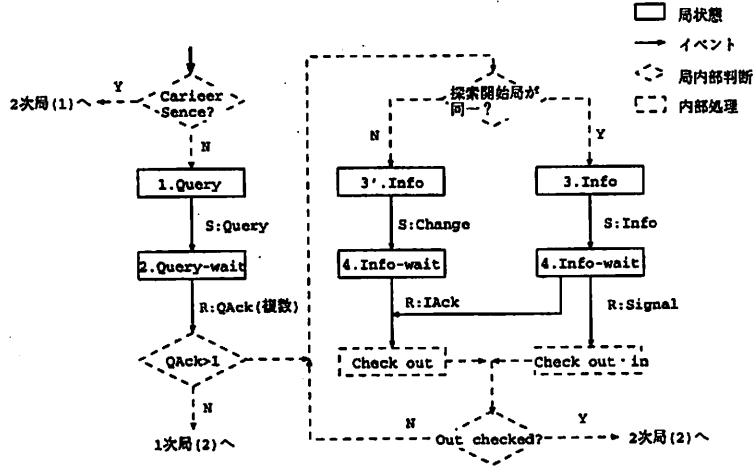


図 3: 状態遷移図 (1 次局 (1))

3. Query を受信した通信局  $n_j$  は、2 次局となりメッセージ QAck を  $n_i$  に送信する。(図 6 状態 12)
4. QAck を受信した 1 次局  $n_i$  は、応答のあった全ての各局に対して情報テーブル  $T_i$  に列を追加し、隣接行列を作成する。そして、 $P_i$  以外の各 2 次局に対してメッセージ Info を 1 対 1 通信を繰り返しながら送信する。(図 3 状態 3)
  - (a) 4. を開始する時点で、QAck が親  $P_i$  からのみであった場合、親  $P_i$  に対して Signal を送信し、'out' に印をつける。(図 5 状態 5)
  - (b) もし 4. を開始する時点で、情報テーブル  $T_i$  の '探索開始局' が全て同一でなければ、自局で探索の手続きの衝突があるため、隣接する通信局に Change を送信する。(図 3 状態 7)
5. Info を受信した 2 次局は、情報テーブルに 1 次局の識別子及び受信した隣接行列を追加し、1 次局に IAck を送信し、'in' の項目に印をつける。(図 6 状態 14)
 

もし 1 次局の探索開始局と自局の探索開始局変数が異なれば、Signal を送信し、'in'、'out' の項目に印をつける。(図 6 状態 17)
6. 2 次局で IAck または Signal を送信した通信局  $n_k$  は、1 次局となり 2. ~ 5. の動作を行う。(  $i =$

$k$ )

7. Signal を受信した通信局  $n_k$  は、情報テーブルの送信局に該当する通信局の 'in' に印をつける。(図 4 状態 16)
 

親  $P_k$  以外の通信局で 'in' の列が全て印付けされていれば、親に対して Signal を送信し、親の 'out' に印をつける。(図 5 状態 5) そうでなければ待機する。
8. Change を受信した通信局  $n_u$  は、親変数  $P_u$ 、探索開始局変数  $S_u$  を変更する。(図 4 状態 18)
  - (a) 局モード変数  $M_u$  が '探索開始局' であれば、モードを '中継局' へと変更する。
  - (b) それ以外は、情報テーブル  $T_u$  の 'in' に印付けし、'out' の印を消す。Change を親に対して送信し、'out' に印付けする。(図 5 状態 7)
9. 探索開始局の情報テーブルの 'in' の列が全て印付けされた時点で全ての隣接情報を取得したので、全通信局に対して 1 対 1 通信を繰り返してブロードキャストを行う。

以上の手順によって、全ての通信局はネットワークポロジを把握することができる。

## 5 プロトコルシミュレータ

本稿で提案した通信プロトコルの動作確認のためのシミュレータを計算機上に作成した。このシミュ

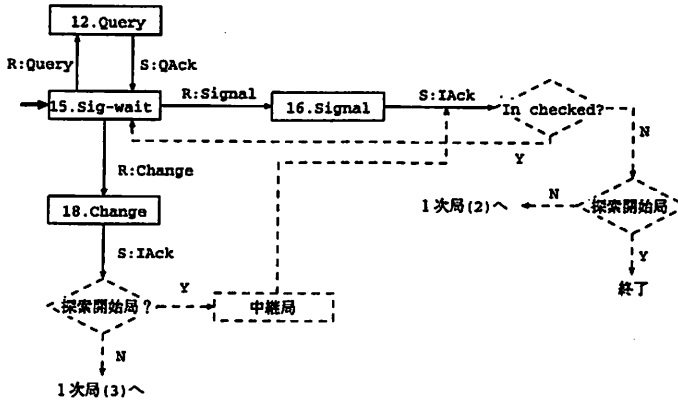


図 4: 状態遷移図 (2次局 (2))

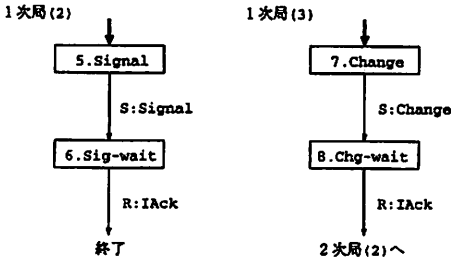


図 5: 状態遷移図 (1次局 (2),(3))

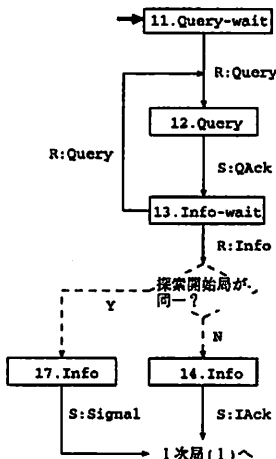


図 6: 状態遷移図 (2次局 (1))

レータの開発言語には、Standard ML[8]を並列化した関数型言語 CML[9]及び eXene ライブラリ [10]を用いた。シミュレータの実行の様子を図 7, 8に示す。左側のウィンドウは視覚的に各通信局の通信の状態を表す。ウィンドウ内の円は通信局を表し、その円の中の数字は、通信局の識別子と図 3～5 中における状態番号をそれぞれ表す。これにより通信の状態を各ステップ毎に確認できる。右側のウィンドウは各通信局の情報テーブルや通信の様子を表す。シミュレータは、各通信局に対応するプロセスと通信の調整を行うプロセス、表示を行うプロセス間の通信によって実現されている。

我々はこのシミュレータを用いて様々な通信局の接続状況について本プロトコルの動作確認を行った。例として、図 1 (a) の状況からネットワーク探索をシミュレートした様子を次に示す。図 7 は通信局  $n_3$  が 1 次局となって Query を送信している様子を、また図 8 は通信局  $n_1$  が  $n_0$  に Signal を、また同時に  $n_4$  が  $n_2$  に Signal を送信している様子を示している。

## 6 まとめ

本稿では、赤外線データ通信を用いて 1 対 1 通信の繰り返しと中継により疑似的な多対多通信を可能にする自律分散通信を提案した。このプロトコルにより、通信ネットワークのトポロジを全ての通信局が把握することができる。またプロトコルシミュレータを計算機上に実現し、様々な状況において動作を確認した。本プロトコルの実現により、携帯端末を持ち寄るだけでいつでもどこでも手軽にネットワークを構築し、情報の交換・共有が実現できる。今後

の課題として、プロトコルが妥当であることを検証することや、通信セッション中においてネットワークの系が動的に変化した場合や通信エラー等への頑強な対応ができるようにプロトコルを拡張することが挙げられる。さらに、本プロトコルを携帯端末上に実装し、その上に名刺交換や電子黒板等の実用的なアプリケーションの構築を行う予定である。

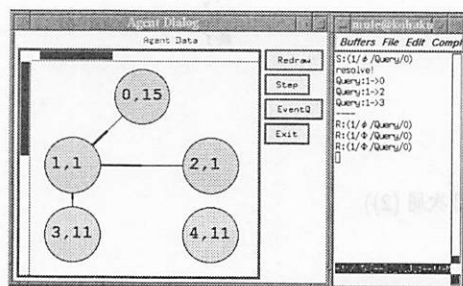


図 7: シミュレータの動作画面 (1)

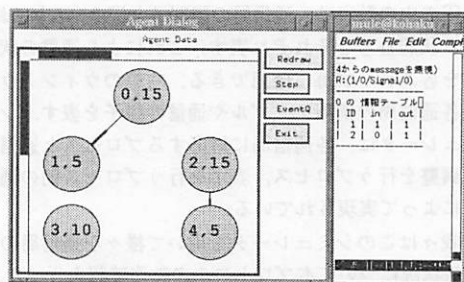


図 8: シミュレータの動作画面 (2)

## 参考文献

- [1] 水野 忠則, 太田 賢: モバイルコンピューティングの現状と将来像, 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4, pp.318-323, 1997.
- [2] 塚本 昌彦: 通信ネットワークインフラストラクチャ, 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4, pp.338-343, 1997.
- [3] 多鹿 陽介, 岩村 和昭, 池上 史彦, 中村 誠: 携帯情報機器の通信に適した自律無線ネットワーク Wireless DAN の提案, 信学技報, IN 94-161, 1995.
- [4] Infrared Data Association: Serial Infrared Link Access Protocol, version 1.1, 1996.
- [5] 今井 明, 中岡 弘幸: IrDA シリアル・データ・リンクの全貌 後編: プロトコルとプラグ・アンド・プレイ拡張, トランジスタ技術, CQ 出版社, No.12, pp.324-330, 1995.
- [6] 中村 真, 藤井 章博, 根元 義章: 移動分散環境下でのネットワークポロジ把握のためのプロトコル, 情処研報, DPS 66-12, 1994.
- [7] Michel Raynal: Distributed Algorithms and Protocols, Wiley, 1988.
- [8] Jeffrey D. Ullman 著, 神林 靖 訳: プログラミング言語 ML, アスキー, 1996.
- [9] John H. Reppy: The Concurrent ML Manual, AT&T Bell Laboratories, 1993.
- [10] John H. Reppy, Emden R. Gansner: The eXene Library Manual, AT&T Bell Laboratories, 1993.