

# 8S-01Bluetooth のアドホックネットワークへの適用

坂倉隆史 黒田正博

三菱電機(株)情報技術総合研究所

## 1 はじめに

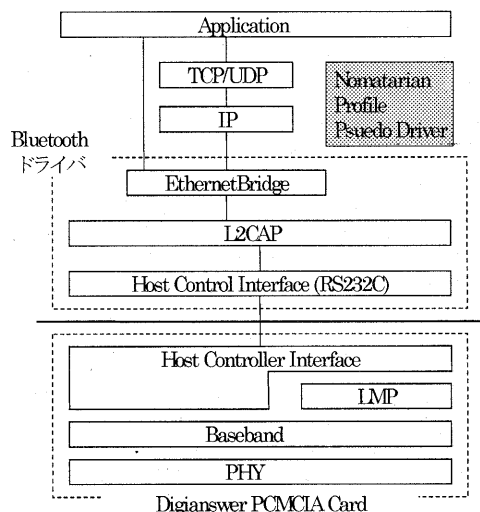
固定的にネットワークに属さない端末同士が、共通の無線通信機構上に動的にネットワークを構成するために、アドホックネットワークにおいてブロードキャスト通信は欠くことのできない要素となっている。そのため、アドホックネットワークでは比較的ブロードキャストが容易な無線LANが一般に使用されている。

一方、Bluetoothは見通しでしか通信できないという欠点を持つ IrDAの代替技術という位置づけで開発された無線通信技術で、安価で電力消費が小さいことから携帯情報機器への急速な普及が期待されている。しかしながら、Bluetoothは現仕様のバージョン1.0では制限されたブロードキャスト通信機能しか持たず、アドホックネットワークへの適用は困難である。

制限されたBluetoothブロードキャスト通信機能上にブロードキャスト機構を定義し、Ethernet Bridge 及びデータ配信機構の開発を行った。本報告では当開発から得た知見を元に Bluetoothにアドホックネットワークを適用する上での問題点を整理する。

## 2 Bluetooth 概要

Bluetoothは2.4GHzのISM帯を使用し、1600/sのフリケンシホッピングを行う周波数拡散方式を採用している。通常送信出力は1mw 程度に設定され、通信到達可能距離は10m程度である。細かいステート管理による低電力消費や、音声とデータ通信の同居などを実現する反面、不特定多数へのブロードキャストは難しい仕様となっている。Bluetoothにおいてプロトコルスタックは図のように構成される。RFモジュールを最下層として、Baseband と Link Manager Protocol がデバイス側として配され、Host Controller Interface (HCI)を介して、ホストと接続される。ホスト側は Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)がホスト上ソフトウェアとして配され、この上に、プロファイルと呼ばれる、別個のアプリケーション単位に便宜的に定義された通信プロトコルが配置される。Service Discovery



L2CAP: Logical Link Control and Adaptation Protocol  
LMP: Link Manager Protocol

図1 試作システム構成

Protocol (SDP)やモデム/シリアルインターフェースのエミュレートを行うRFCOMMはその例である。

Bluetoothデバイスには、IEEE準拠の48ビットMACアドレスが与えられる。デバイス同士が外部の機構やデバイス間の取り決めに依らなくても接続できるように、通信圏にあるデバイスの所在を問い合わせる inquiry と呼ばれる手順が定義されている。inquiry でデバイスの所在を調べ、接続手順実行の上、SDP等の上位プロトコルによって、アプリケーション接続の可否を確かめるという手順がデバイス間の接続には必要とされる。

Bluetoothデバイスが通信を行うには、上記接続手順により piconet と呼ばれるネットワークを形成する。piconet は1台のマスターデバイスと最大7台のスレーブデバイスで構成され、piconet 内のデバイスは相互に通信可能である。piconet内の送信制御はTDMA方式で行われ、1ホップ 625us のスロットをマスターデバイス(偶数スロット)とスレーブデバイス(奇数スロット)が交互に使用する。マスターデバイスのみがpiconet 内にブロードキャストパケットを送信することができ、スレーブデバイス間の送信排他制御は、マスターデバイスがポーリングパケットによって送信許可を与えることによって行う。

piconet に加入できるデバイス数の制限は合計8であるが、PARKモードと呼ばれるクロックが同期した休止状態には最大256台のデバイスが登録可能である。

Deployment of Bluetooth in an Ad Hoc Network

Takashi Sakakura, Masahiro Kuroda

Mitsubishi Electric Corporation,

Information Technology R&D Center

### 3 ブロードキャスト機構の試作

図1試作システム構成中にあるNomatarian Profileと呼ぶコンポーネントにブロードキャスト機構を作成した。ブロードキャスト送信端末がマスタデバイスとして受信端末をスレーブデバイスとするピコネットを生成し、Bluetooth仕様に規定されたブロードキャストパケットを送信する。スレーブデバイスからのブロードキャストメッセージはマスタデバイス経由でブロードキャストチャンネルにリダイレクトされる。

### 4 アドホックネットワーク適用上の問題

CMUの Monarchプロジェクトなどで検討されているアドホックネットワークでは、Floodingベースの動的なルーティング設定のため、ブロードキャスト機構は必須とされている(Perkins Assumptionと呼ばれている)。ブロードキャストによって1ホップで到達できるデバイスを知り、1ホップで到達できないデバイスへのルーティングを到達できるデバイスから構築する。現在のところ、上記のようなアドホックネットワーク技術は確実性に欠けるもののブロードキャストが可能なCSMA/CA型の無線LAN上で開発されている。制御ソフトウェアからCSMA/CAに則って、随時メッセージの送出・受信が可能で、通信圏にあれば参加台数に制限はない。Bluetoothはその普及の見込み、消費電力の小ささ、廉価であることからアドホックネットワークにも適用できることが望ましいが、ブロードキャスト機能に制限があること、接続形態自体はアドホックであるものの、音声とデータの共存を図るTDMAのリンク型無線通信技術であるため、接続手順が複雑で時間がかかること等の難点を持っている。

一旦 piconet を形成し、接続状態となると、開発したブロードキャスト機構のように制限はあるもののブロードキャスト通信が利用できる。piconet 形成が迅速にできれば、仮想的に制限のないブロードキャスト機構も実現可能と考えられる。しかしながら、Bluetoothは仕様上接続にある程度時間がかかる構造となっている。

### 5 Bluetooth 接続手順

Bluetoothにおいて接続は通常 inquiry と page という二つの手順をもって行われる。inquiryは接続可能な通信圏内のデバイスの所在を調べるためのもので、すでに接続先のデバイスが特定できている場合は必要ない。しかし、アドホックネットワークは未知のデバイスとネットワークを構成するので、少なくとも新規にネットワークを構成しようとするとき inquiry手順が必要となる。

稼働中のデバイスは piconet に属していないとき、つまり接続状態にないときはStand-by モードと呼ばれるステートにある。電力消費を抑えるため、またデバイ

ス間の応答コンテンションを回避するため、Random Backoff Delayと呼ばれる 0から640ms のランダムな休止期間において inquiry または page要求を監視する。79(日本では23)のホッピングチャンネルのうち、自身のMACアドレスを元を選択された32(日本では16)のチャンネルを監視する。1チャンネルにつき2048スロット分(1.28sec.)の期間が割り当てられる。期間中に要求パケットを受信しなければ次のチャンネルに移行する。各チャンネルにおいては休止期間を挟み 18 スロット分(11.25ms)の監視が断続的に実行される。監視状態にあり、page要求を受け付けるとデバイスはスレーブとなる。マスタ側も同様に32(16)チャンネルを選択する。選択したチャンネルから偶スロットに2チャンネルずつ送信、奇スロットで受信を行う。1スロット内で一回のチャンネル切替えが行われるので、ホップ頻度は通常の倍の3200hop/sec.になる。これを16スロット分(10msec.)を1トレインセットとして繰り返す。32チャンネル使用する場合はトレインセットが2つとなるので、1.28sec.毎にトレインセットを入れ換えて繰り返す。

スレーブ側デバイスの休止期間を補償しなくてはならないので、十分な時間が必要とされ、10.24sec. が推奨値とされている。すでにSCOリンクが確立している時点でpageを行う場合、pageに使用できるスロットが減るので、さらに十分な時間を見込まなければならない。pageの場合スレーブ側のデバイスがアクノリッジメッセージを返送すると、マスタ側は自身のMACアドレスとクロック情報を含んだFHS(Frequency Hop Synchronization)パケットを送信し、これへのアクノリッジをもってコネクションが確立する。inquiryの場合はスレーブデバイスがFHSパケットを送信し、マスタはスレーブデバイスのIDとクロックオフセットを登録することができる。スレーブのクロックとホッピングパターンを知っているため、inquiry後の pageは高速である。典型的なinquiry→pageの処理時間は  $5.12 + 0.64\text{sec.}$ とされている。

### 6 おわりに

アドホックネットワークにBluetoothを適用する場合、特に端末の移動を伴う場合、リンクコントロールの処理レイテンシが大きいことが負担となる。IrDAの代替、音声とデータの両立、低消費電力等を主眼とした仕様であるため、初期接続コストには目をつぶる選択が行われている。低消費電力、低価格というBluetoothの特徴はアドホックネットワークにとっても魅力であり、ニーズが高めれば、何らかの仕様改編が行われて行くものと考えられる。

参考文献

[1] Specification of the Bluetooth System version 1.0B