

Bluetooth を用いたアクセスネットワーク構成方式の検討

坂倉 隆史 井上 淳 黒田 正博

ADSL 等の高速で安価なインターネット有線接続の普及に伴って、無線 LAN を使用したインターネットアクセスサービスが普及しつつある。例えば空港やコーヒーショップといった場所に無線 LAN のアクセスポイントを有線に接続配置して、自営的なアクセスネットワークを構成する。このようなサービスを提供する上で、Bluetooth は無線 LAN と並んで注目されている無線通信技術である。Bluetooth は携帯電話や携帯情報機器への急速な普及が見込まれているが、低消費電力である事など魅力のある反面、Bluetooth 独自の接続手順を必要とし、利用が難しい側面も持つ。本報告では Bluetooth を用いたアクセスネットワーク構成方式の検討を行った。

A Study of Access Network Configuration Method for Bluetooth Equipped Routers

Takashi SAKAKURA, Jun INOUE, Masahiro KURODA

The proliferation of inexpensive, wired Internet access such as ADSL accelerates a new type of wireless Internet access service by deploying wireless LAN. The service is provided in airports or installed at coffee shops in a form of private wireless access network, where wireless LAN access points are connected to the inexpensive wired network. Bluetooth is an another candidate of wireless access to provide the service competing with the wireless LAN. The Bluetooth is assumed to spread into cellular phones and PDAs. The Bluetooth has advantage in power consumption while it has some difficulties in its usage that is coming from its own link protocol. We organized a study of access network configuration method for Bluetooth equipped routers in this report.

1. はじめに

ADSL[1]やケーブルモデム[2]、さらには FTTH[3]の普及で安価で高速なインターネット常時接続が一般化しつつある。また、設営やネットワーク管理の容易さからオフィスでの無線 LAN[4]の使用が浸透してきている。これらの背景から、安価で高速なインターネット常時接続を利用して無線 LAN のアクセスポイントを接続配置する事により、空港やコーヒーショップ等で無線 LAN によるインターネットアクセスを提供する新しい形態のサービスが出現してきている。現在の所、一定レベルのマイレージを持つ得意客へ、あるいは、コーヒーを飲みに来てくれたお客さんへ無料のインターネットアクセスを提供するといった付加価値的なサービスであるが、通信事業者法の整備をもって現行無線データアクセスサービスを補完するビジネスとして確立していくものと思われる。

無線 LAN と並び、短距離の無線通信技術として注目されているのが Bluetooth[5]である。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電話や携帯情報機器への急速な普及が期待されている。従って Bluetooth によるアクセスネットワークの整備により、例えばセルラネットワークを補完する位置付けとして Bluetooth ネットワークの相互利用と言った新しい通信事業の展開も期待できる。これにより、室内や利用者密集地においても、より木目細かな通信サービスを提供できる。

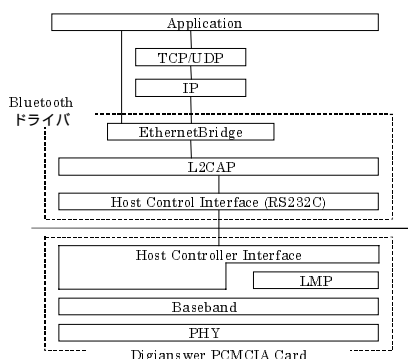
現在 Bluetooth の通信アプリケーションとして、機器間のファイル交換や電話、FAX 接続等のシリアル接続ベースのものに加え、PAN プロファイル[6,7]と呼ばれる Bluetooth を用いた IP 接続方式の検討も行われている。無線 LAN が CSMA/CA ベースの無線通信技術で、ネットワーク加入端末数の制限も無く、また、比較的電波出力も大きいので容易にアクセスネットワークを構成できるのに対し、Bluetooth は通信状態で維持できるネットワーク加入端末数に制限があり、殆どのデバイスに適用されるクラス 3 と呼ばれる電波出力レベルでは、その通信距離は 10m と言われている。無線 LAN の場合、有線ネットワークにアクセス

ポイントを接続するだけでサービス開始可能であるが、Bluetooth の場合は利用者数や、アクセスポイントがサービスできる通信圏などを考慮して、アクセスネットワークの設計を行う必要がある。また、Bluetooth によるアクセスネットワークは一般的なインターネットアクセスだけでなく、例えばエレベータや変電施設などに設置して、安価に非接触検システムを構築するといった応用も期待されている。この場合、施設の持つ遮蔽物の構造等により、より周到なアクセスネットワークの設計が必要になる。

本報告では、Bluetooth を使い、より簡便にアクセスネットワークをユーザーが実現できることを狙って開発するアクセスポイントデバイス、及びアクセスポイントに配備されるネットワーク構成ソフトウェアの検討につき報告する。

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 10 m 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。



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

図 1 Bluetooth 通信スタック構成

Service Discovery 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。

3. Bluetooth をアクセスデバイスとして

利用する上での問題点

CSMA/CA 型の無線 LAN 上では、各端末は 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。これに対して Bluetooth は、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。

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 モードと呼ばれる状態にある。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) のチャネルを監視する。1 チャネルにつき 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ネルに移行する。各チャ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プとなる。マスタ側も同様に³²(16)チャネルを選択する。選択したチャネルから偶スロットに 2 チャネルずつ送信、奇スロットで受信を行う。1 スロット内で一回のチャネル切替えが行われるので、ホップ頻度は通常の倍の³²200hop/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チャネルを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。

スレープ側デバイスの休止期間を補償しなくてはいけないので、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 の場合スレープ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 の場合はスレープデバイスが FHS パケットを送信し、マスタはスレープデバイスの ID とクロックオフセットを登録することができる。スレープのクロックとホッピングパターンを知っているので inquiry 後の page は高速である。典型的な inquiry page の処理時間は $5.12 + 0.64\text{sec.}$ と言われている。

4. Bluetooth によるアクセスネットワーク 実現上の課題

以上 Bluetooth の概要とその TDMA 方式のために必要となる inquiry, page の手順に起因するアクセスネットワーク適用上の "使いにくさ" を説明した。本検討で目指すのは Bluetooth をアクセスネットワー

クとして用い、以下の課題を実現することである。

無線 LAN 並みのアクセシビリティ

無線 LAN であればホテルのロビー程度のスペースを一台のアクセスポイントでカバーでき、他端末との競合が無い限り即時にアクセスが可能である。Bluetooth を用いて同等のアクセシビリティを実現する。また、アクセスネットワークのサービスエリア内でのアクセスポイント切り替えの煩雑さを感じさせないハンドオーバー機構を用意する。

容易なアクセスポイント敷設

無線 LAN に匹敵するアクセシビリティ実現のためにはアクセスポイントを多数敷設しなければならないが、アクセスポイントの敷設者は Bluetooth の通信圏を考慮して、敷設場所に遮蔽物がある場合は、その迂回も考慮して、アクセスポイントを敷設しなければならない。また、アクセスポイント敷設数が増えれば有線接続の引き回しのコストが増大する。従って、アクセスネットワークを構成するアクセスポイント間の接続も無線とし、アクセスポイントの敷設者が、適当に遮蔽物を避け、アクセスポイントがお互いに通信圏に在るように注意してアクセスポイントを配置すれば、配線の取り回しなくアクセスネットワークを自動構成できるものとする。

高速モデム並みの通信性能の保証

Bluetooth は 802.11b に比較して最大データ転送性能は劣る。また、端末毎に Bluetooth の通信リンクの管理が必要である。しかしながら、最大データ転送性能こそ劣るが、リンク管理であるために無線 LAN と比較して転送性能の保証は容易である。アクセスネットワークに接続可能な最大端末数を同時接続しても 64kbps 程度の転送性能を保証するものとする。

5. アクセスルータのアーキテクチャ

アクセスネットワーク構成上の課題である、アクセシビリティ、容易なアクセスポイント敷設、さらに高速モデム並みの通信性能を保証するためアクセスルータ設計の指針を以下のようにした。

ルータ間無線接続

有線接続の敷設を必要とせず、ルータ敷設を容易にするためルータ間も Bluetooth による無線接続にて実現する。但し、電源供給は利用できるものとしている。例えばコーヒーショップにアクセスネットワークを敷設する場合は、ルータを電源コンセントに差し込めば、後は敷設の手間がかからないようなルータを実現する。

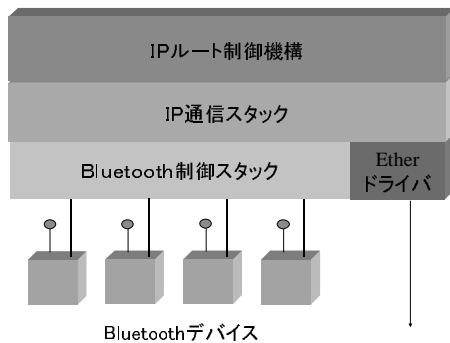


図2 アクセスルータアーキテクチャ

複数 Bluetooth デバイスの装備

アクセスネットワーク内リンクと端末リンクを形成して十分なデータ転送能力を確保できるよう複数の Bluetooth デバイスを装備する。

図2にアクセスルータのアーキテクチャを示す。アクセスルータには Ethernet ポートを持ち、有線接続を行って有線ネットワークへのゲートウェイとして動作するゲートウェイルータ (GR) と有線接続を持たないアクセスルータ (AR) の2種類を用意する。4~8個の Bluetooth デバイスをもち、Bluetooth のリンクコントロールを行う Bluetooth 制御スタック、IP 通信スタック、及び IP ルートと Bluetooth リンクのコンフィグレーションを行う IP ルート制御機構から構成される。

6. 動的ルート管理機構

GR および AR を配置することで、半自動的にアクセスネットワークを構成する動的ルート管理機構を開発する。一定の計画の下、GR 及び AR を配置することにより、アクセスネットワークの遮蔽物の回避を含めた地理的カバレッジ管理、アクセスネットワークの接続、データ転送能力管理を行う。本節では以降アクセスネットワーク構成シナリオ例、Bluetooth リンク及び IP ルートを GR 及び AR 間で設定し、アクセスネットワークを自動構成するアルゴリズム、縮退、再構成の方式、及び本システムで行われる最適化について説明する。

6.1 アクセスネットワーク構成シナリオ

アクセスネットワークを維持管理する上で、アクセスカバレッジの不足、データ転送能力の不足、ルータ機器の故障などが変更要因となりうる。

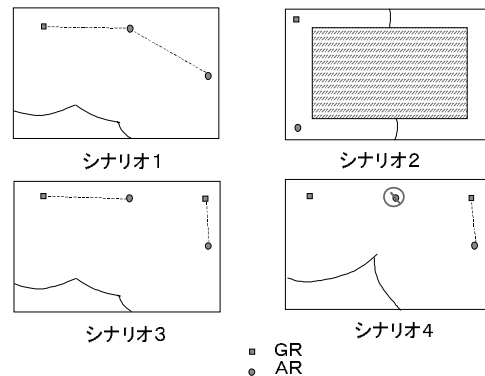


図3 アクセスネットワーク構成例

図3はアクセスネットワークの構成例である。端的な例で本開発検討が狙うものを説明する。外枠はアクセスネットワークが敷設される部屋を示し、GRには有線接続がなされる。図中の点線はGRあるいはAR間に接続があることを示す。

シナリオ1はアクセスネットワークのアクセスカバレッジの拡大を、ARを配置することにより行った例である。GR1基では部屋の半分程度であったカバレッジが、AR2基を配置することにより、そのほぼ全域をカバーできる。シナリオ2は遮蔽物を回避してカバレッジを向上する例である。シナリオ3は、アクセスネットワークとしてのデータ転送能力を向上するためにGRをシナリオ1のネットワークに追加した例である。これによりシナリオ1で端末からGRまで最遠3ホップであったものが2ホップになり、後述するが回線の転送能力も高くなる。シナリオ4は何らかの要因で縮退する例である。カバレッジが幾分か小さくなるが、アクセスネットワークとしては機能する。

6.2 ネットワーク構成アルゴリズム

ネットワーク構成アルゴリズムを新規にARを配置した場合のリンク生成及びIPルート設定を通して説明する。

最短ルートの探索

リンク及びルート構成上の基本的な考え方は、有線リンク、すなわちGRへ最も近く、また、太いリンクを提供するGRまたはARを発見し、リンク及びIPルート生成を行うことである。このため、幾つかの手順を踏んで接続すべきGRまたはARのBluetoothデバイスを決定する。回線の太さを考慮し、GRあるいはAR間のBluetooth接続はマスタ1、スレーブ1の1対1接続でしか行われない。

i) Inquiry

Bluetooth のデバイス探索手順である Inquiry を発行し、通信圏にあって接続可能な全てのデバイスのリストを得る。レスポンスの速かったデバイスほど当リストの上位に登録される。

ii) ルータ資源問合わせ用 PSM 接続

ルータ資源問合わせ用に特定の Protocol Service Multiplexor (PSM) を定義し、ルータ間接続用デバイスであるか否か、ホップ数、回線の太さを表す Bluetooth リンク数、ルータ IP アドレスなどの情報を問い合わせるインターフェースを用意している。本 PSM をもって接続を試みて拒絶される場合、接続したデバイスはルータデバイスではない、あるいは、ルータサービスを行わない事を意味する。inquiry リストにあるデバイスのうち、最もホップ数が少なく、かつ上位回線（ルータリンク用未使用デバイスが多い）に余裕のあるデバイスを選択する。

IP 接続

IP 接続用の PSM を指定し、Bluetooth リンク生成の後、接続側は非接続側の認証を受ける。認証に成功すれば、非接続側、つまりネットワーク側から IP アドレスが与えられ、接続状態となる。

IP ルート設定

接続側では接続先のルータアドレスを持ってアクセスネットワークへの上り IP ルートを設定し、被接続側では接続側を下りルートの一つとして登録する。

6.3 データ転送能力調整

アクセスネットワークのデータ転送能力の調整は Bluetooth リンクの数でコントロールする事によって行う。ルータ間接続では、Bluetooth デバイス 1 つで 1 リンクしか維持しない。現在適用している論理は、あるルータから見て下り方向のリンクが増えると、同数の上りリンクを確保する方法で行っている。

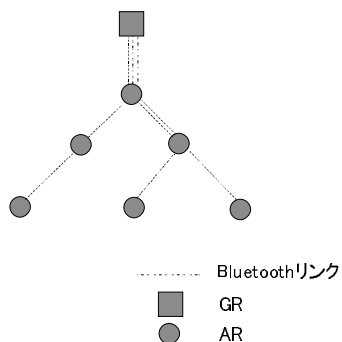


図4 ルータ間リンク数調整

図4はアクセスネットワークにおける Bluetooth リンクの構成例を示す。一つのルータに配備できる Bluetooth デバイス数に限界があるため現方式としたが、今後の評価を通して現方式の検討、改良を行う。

6.4 ネットワーク再構成

AR が新規に配置される場合のネットワーク構成方式について説明してきたが、AR は電源投入時の他定期的に、あるいはネットワーク再構成コマンドを受け取る事により、説明した手順を実行してネットワークの再構成を行う。Bluetooth の Inquiry 手順でシリアライズされるのでアクセスネットワーク内の AR が同時に接続処理を開始しても競合の問題は発生しない。

6.5 Bluetooth 休止モードの調整

GR 及び AR においては、端末と違い、電力消費の制約が無い。Random Backoff Delay 期間を 10msec. 以下に設定し、高速な Inquiry、Page 手順を実現してルータ間、端末とルータ間の接続処理を高速化する。

7. 端末接続と IP over Bluetooth

ルータ間接続が 1 デバイス 1 リンクであるのに対して、端末-ルータ間の接続はルータを Bluetooth マスタデバイスとし最大 7 の端末接続を行う Piconet を生成する。この Piconet には IETF で検討されている IP over Bluetooth 方式を適用する。

7.1 端末接続手順

端末から接続可能な GR または AR を Inquiry 手順により探索する。ルータ間接続と同様に端末は接続サービスを提供している Bluetooth デバイスを探索する。ルータに配備されている Bluetooth デバイスは Bluetooth 接続手順への応答が速いので、周囲に端末が多数いても、端末は inquiry 結果リストの下位になるので、端末へ無駄な接続試行を行う事はない。

端末から接続されると、ルータ側デバイスは自らが Bluetooth リンク上のマスタデバイスとなるため、Bluetooth の Change Role 手順を発行し、マスタデバイスとなる。

7.2 IP over Bluetooth

IP over Bluetooth は IETF で検討されている Bluetooth 上の IP 実現方式で Bluetooth の Piconet 上で Ethernet のエミュレーションを行う。端末の複数接続実現上、同一 Piconet 内の端末にブロードキャスト通信が可能な事、マスタを含めて Piconet 内の端末を対等に扱える事、また、本アクセスネットワークと端末のみ同士で構成するアドホックネットワークとの親和性を考慮して当方式とした。

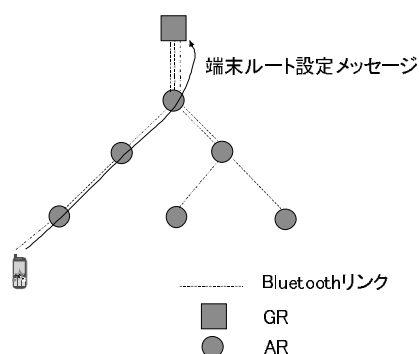


図5 端末ルート設定

7.3 端末ルート設定

GR から端末へのルートは端末毎に経路上のルータ上に登録される．アクセスネットワークの全体は一つの IP サブネットとして扱われ，端末へのアドレスは GR が管理する IP アドレスデータベースから取得し，接続時に端末に与えられる．端末は IP 接続状態になると GR に宛てて端末ルート設定メッセージを送信する．経路上にある各 AR は，この設定メッセージをモニタし，自身のルートテーブル上に同端末へのルートを設定登録する．

端末が一旦与えられた IP アドレスを保持する事によって，このルート設定機構は，AR または GR 間のハンドオーバー機構を提供する．これにより無線 LAN によるシステムと比較して，端末移動においても遜色無い物とする事が可能である．

8 . おわりに

現在は，机上検証と一部のソフトウェア試作を IPv4 にて行った段階である．今後，端末接続応答性能，データ転送性能，ハンドオーバー遅延評価，また，アクセスネットワークのボトルネック評価などを行っていく．さらに，アプリケーションとして VoIP の実現を図る．また，IPv6 による実装，検証を行うことも検討していく．

参考文献

- [1] <http://www.adsl.com>
- [2] C. Bisdikian, B. McNeil, R. Norman, and R. Zeisz, "MLAP: A MAC Level Access Protocol for the HFC 802.14 Network," IEEE Network, March 1996.
- [3] <http://www.isdn-info.co.jp/ftth>
- [4] B. O'Hara A. Petrick "The IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion"
- [5] Bluetooth Specification version 1.1

[6] <http://www.bluetooth.com>

[7] K.Atwal, R Akers, " Transmission of IP Packets over Bluetooth Networks" Internet-draft Feb. 2001