

Bluetooth™を応用した自動改札システムの試作

Ticket Gate System Using Bluetooth™ Fast Automatic Proximity Detection

山本 健彦

YAMAMOTO Takehiko

神戸 稔

KAMBE Minoru

佐田 豊

SATA Yutaka

Bluetooth™(注1)のモバイル機器搭載が進み、社会インフラサービスへの応用が期待されている。東芝は、無線ICカードをはじめとした自動改札システムの開発に取り組み、Bluetooth™を用いた新しい電子チケットサービスの実現について研究開発を進め、接続処理の高速化、通信相手の特定という二つの技術課題を解決する新たな手法を考案した。また、試作を通してその有効性を検証し、製品化へ大きく前進する成果が得られた。

As the market for Bluetooth™-embedded consumer terminals gradually expands, Bluetooth™ is expected to be increasingly used in mobile commerce and ubiquitous services in the future. In order for Bluetooth™ to function as an ad-hoc communication platform for these services, there are several technical issues to be solved including faster connection setup and automatic device detection functionality in the proximity.

In the present study, a fast and automatic proximity detection technique that could solve these issues was developed using Bluetooth™, and applied to an automatic ticket gate system.

1 まえがき

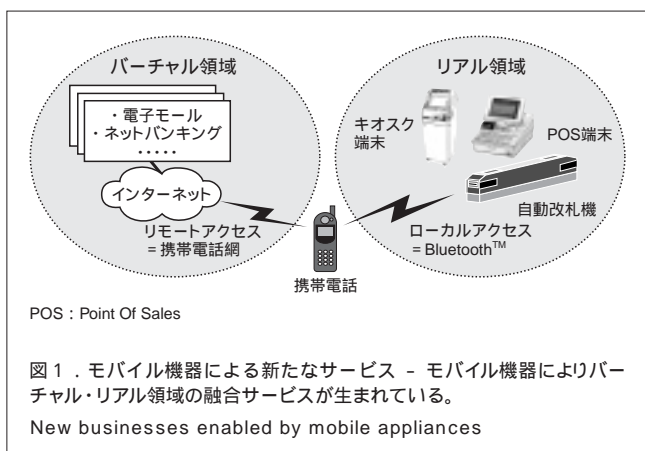
携帯電話や携帯情報端末(PDA)などモバイル機器へのBluetooth™の搭載が進んでおり、将来、Bluetooth™通信によってインターネット上のいわゆる“バーチャル”領域と、役所や駅、店舗などの“リアル”領域とを結ぶ公共サービスの展開が期待されている(図1)。社会インフラシステムにおいても、電子チケットやエリアごとのフレッシュな情報提供システムなど、これまでとはひと味違う、新たなサービスへの応用が考えられる。東芝は、無線ICカードをはじめとする自動改札システム開発の経験を基に、Bluetooth™を用いた電子チケットサービスについて研究開発を進めてきた。ここでは、

自動改札システムへのBluetooth™応用における課題のうち、接続処理の高速化、通信相手の特定という二つの課題の解決手法を紹介するとともに、自動改札システムへの応用実験を通して、その有効性について検証する。

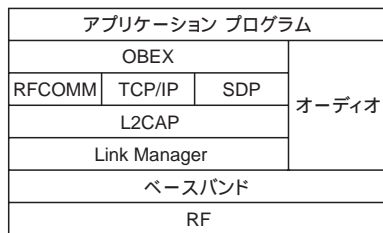
2 Bluetooth™の概要

Bluetooth™は、1998年5月にノキア社、エリクソン社、IBM社、インテル社及び当社がプロモータ企業として規格化を提唱した、2.4GHzのISM(Industry Science Medical)バンドを利用する近距離無線通信規格である。携帯電話などの携帯端末への搭載を志向し、小型、低消費電力、低コストを特長とし、通信速度最大1Mbps、出力は1mWで約10mの通信距離を持つ(power class 3のとき)。その規格はBluetooth SIG(Special Interest Group)の中で、プロモータ企業(現在は9社)とアソシエーツ企業とで策定され、Ver.1.1の仕様が2001年に公開されている。

代表的なBluetooth™のプロトコルスタックを図2に示す。Bluetooth™には、オーディオ用の同期リンクとデータ用の非同期リンクがあり、後者における論理リンク(L2CAP: Logical Link Control and Adaptation Protocol)上には、相手デバイスのサービス情報取得のためのSDP(Service Discovery Protocol)、シリアル通信相当のプロトコル(RFCOMM: Radio Frequency COMMunication)やTCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)が定義されている。



(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の商標。



RF : Radio Frequency

図2 . Bluetooth™のプロトコルスタック - 多様な通信サービスを実現するプロトコル群がある。

Protocol stack in Bluetooth™ Ver. 1.1

当社が試作したBluetooth™自動改札システムでは、RFCOMM上のOBEX(Object EXchange)プロトコルを用いてチケットデータの送受信を行っている。

3 自動改札システムへのBluetooth™適用上の課題

代表的な近距離無線方式の比較を表1に示す。無線ICカード自動改札や、IrDA(Infrared Data Association)を使った自動販売機サービスなど、一部の無線技術を利用した電子的な決済サービスが始まっている。これらの技術と比べると、Bluetooth™は、通信速度が大きく、1対多通信が可能、通信時の端末位置や姿勢の制約が少ないといった特長を持つ。また、無線LANと比較すると、消費電力が小さく、モバイル機器への搭載に適している。

一方、その社会インフラ系サービスへの応用においては、次に示すような課題がある。

- (1) リンク接続速度 Bluetooth™ Ver.1.1の仕様では、相手を特定し、通信チャネルを確立するためのInquiry(問合せ)やPage(呼出し)など一連の接続処理に要する時間が平均で5~10s(秒)掛かる。大量のユーザーのスムーズな入退処理が要求される自動改札システムにおいては、接続速度を現状の20倍以上に高める必要がある。
- (2) 通信相手の特定 Bluetooth™では通信エリア内

表1 . 近距離無線方式
Comparison of wireless communication technologies

項目	Bluetooth™	IrDA	無線ICカード (ISO14443)	無線LAN
通信速度 (bps)	1 M	2.4 k ~ 4 M	424 k	10 M
通信距離 (m)	10 ~ 100	0.3 ~ 5	0.1	200
接続形式	1対多	1対1	1対1	1対多
指向性	なし	あり	あり	なし

ISO : 国際標準化機構

にある機器すべてが接続対象となるが、自動改札システムの場合、改札機を通過しようとしているユーザーを周囲の人々の中から自動的にすばやく特定して通信し、確実に改札処理する必要がある。また、隣接する改札機との誤接続を防ぐことも求められる。

4 高速接続処理

Bluetooth™のリンク確立の手順を図3に示す⁽¹⁾。Inquiryは、周囲に存在するBluetooth™デバイスを発見しアドレス情報などを取得するための手続きであり、リンク確立はInquiryにより発見されたデバイスに対して、周波数チャネルを同期(Page)させてBluetooth™リンクを確立する。Name Discoveryは必須の手続きではないが、これにより最大128バイトのデバイス名などの情報を取得することができる。

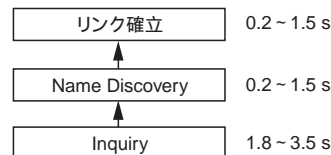
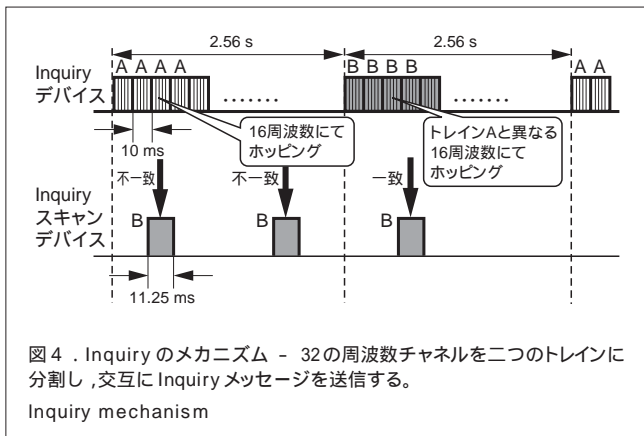


図3 . リンク確立の手続きと平均所要時間 - リンク確立手続きのうちInquiryの所要時間がもっとも大きい。

Procedure for establishing link and average times required

Bluetooth™ Ver.1.1によるリンク確立の各手続きに要する平均時間を図3に示す。各手続きの平均所要時間は、InquiryスキャンやPageスキャンのインターバルの設定値によって変化し、リンク確立とName DiscoveryはPageスキャンのインターバルを短くすることで、0.2s程度にまで高速化が可能である。一方、Inquiryの所要時間は、推奨のパラメータ値を用いる場合で平均3.5s、最大では10s以上にも及び、Inquiryスキャンインターバルを小さく設定しても、その高速化が不可能である。

Bluetooth™ Ver. 1.1で規定されているInquiryでは32の周波数チャネルを用いる。図4に示すように、Inquiryスキャンのモードにあるデバイスは、1.28sごとにスキャン周波数を変更し、所定のインターバルごとにInquiryメッセージを送信する。一方、Inquiryを実行するデバイスは、32のチャネルから16チャネルを選択してトレインを形成し、このトレインに対して、2.56sにわたり連続してInquiryメッセージを送信する。2.56s後には、新たなトレイン(うち、15チャネルは前のトレインとは重複しない)に対してInquiryメッセージを送信する。Inquiryスキャンモードのデバイスは、Inquiryメッセージを受信すると、最大640msのback-offモードに遷



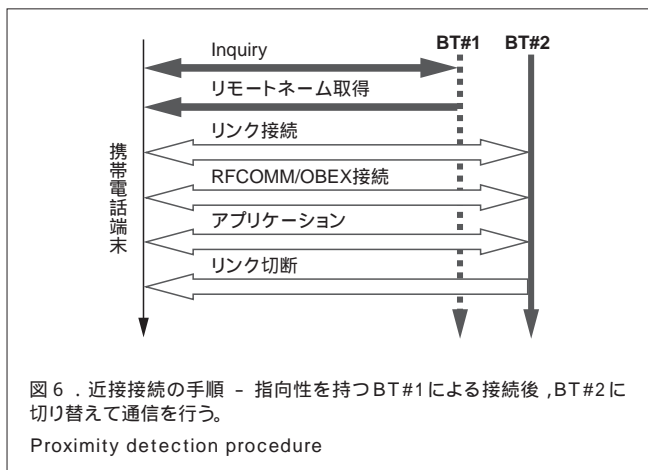
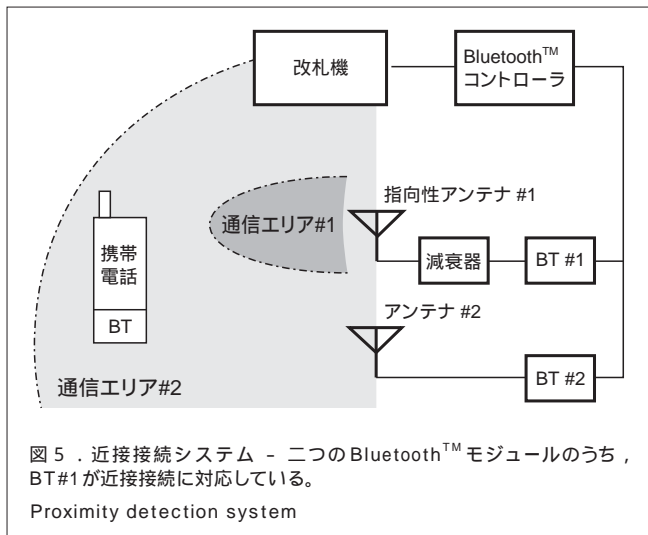
移し、back-off から復帰後最初に受信した Inquiry メッセージに対して、レスポンスを送信する。

上記の Inquiry のメカニズムは、多数のデバイスが存在する場合のメッセージの衝突回避を目的としているが、2.56 s 継続するトレインに対して応答できる可能性は50%しかなく、高速処理の視点では弊害が大きい。当社は、Bluetooth SIG の中で Inquiry の高速化を要求し、新たな仕様の検討を進めている。後述する自動改札システムでは、Bluetooth™ デバイスに独自の高速 Inquiry メカニズムを実装しており、Inquiry で発見されたデバイスに Name Discovery を実行するまでの時間を平均0.6 s に短縮している。

5 近接接続技術

目の前の端末と接続するために、非接触 IC カードでは有効距離約 10 cm の電磁誘導起電力を、IrDA ではその指向性を利用する。しかし、これらの方法では、通信中の端末の位置や姿勢に大きな制約がある。当社は、通信中の位置や姿勢の制約が少ないという Bluetooth™ の特長を生かし、同時に目の前の端末との近接接続を実現するために、近接接続用と通信用の二つの Bluetooth™ モジュールを用いた近接接続システムを開発した。システムの構成を図5に示す。このシステムは、減衰器と指向性アンテナに接続され、モジュールの直上約 10 cm に通信距離が制御された近接接続用 Bluetooth™ モジュール (BT#1)、通常の通信エリアを有する通信用 Bluetooth™ モジュール (BT#2)、二つの Bluetooth™ モジュールを制御して携帯端末との通信を行うコントローラなどで構成される。4章で説明した高速 Inquiry メカニズムは BT#1 に実装されている。

近接接続からアプリケーション処理までの流れを図6に示す。開発したシステムでは、携帯電話端末側が Inquiry を実行し、BT#1 は連続的に Inquiry スキャンモードとなる。携帯電話を BT#1 の通信エリアに入れると、BT#1 からすぐに Inquiry レスポンスが送信され、BT#1 のリモートネームを取

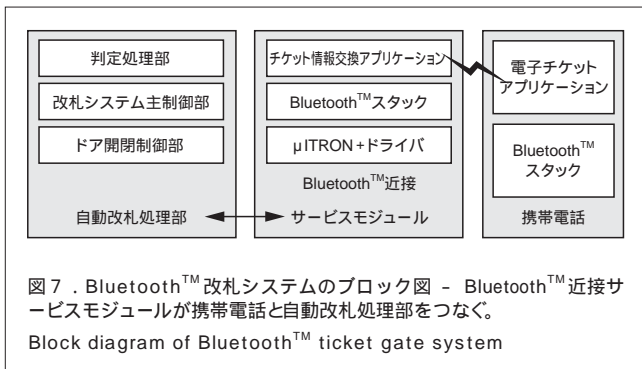


得する。リモートネームには BT#2 への接続情報として、BT#2 のデバイスアドレスや一過性の認証情報が収められており、携帯電話はこれらの情報に付けられた署名によってその正当性を検証した後、BT#2 に対し認証付きのリンク接続要求を行う。BT#2 との間のリンクを接続すると、アプリケーションを実行するために OBEX までのプロトコルを順次接続し、改札に必要な情報を送受信する。

BT#2 への接続から OBEX までの接続、アプリケーションの実行は非常に高速であり、このシステムを自動改札システムへ組み込んだ場合は、後述するように、ユーザーは携帯電話を改札機本体の通信部に約 1 s 近接させるだけで、携帯電話に格納されたチケットを検札し、改札機を通過することが可能となる。

6 Bluetooth™ 改札システムの試作

この高速近接接続方式の有効性を実証するため、この方式を図7に示す自動改札システムへ適用した。



以下,システムの構成要素を説明する。

- (1) 携帯電話 チケットアプリケーションと,XML (eXtensible Markup Language)で記述された電子チケットを格納し,アタッチされたBluetooth™モジュールで,改札機とのBluetooth™リンクを確立する。
- (2) Bluetooth™近接サービスモジュール 高速接続処理Bluetooth™モジュールを搭載した通信ボードで,Bluetooth™プロトコルスタック上にチケット情報交換プログラムを実装し,自動改札処理部とはシリアル接続する。近接接続用Bluetooth™モジュール(BT#1)のアンテナは,改札機本体のチケット読取り部に設置され,BT#2は改札機内に格納される。
- (3) 自動改札処理部 システムの主制御部,チケットの判定処理部,ユーザーの通過を物理的に制御するドア開閉制御部から成る。

改札機通過のユーザー エクスペリエンスは次のとおりとなる。



- (1) 携帯電話のチケットアプリケーションを実行する(図8(a))。
- (2) 携帯電話の接続開始ボタンを押し,改札機のチケット読取り部に近接させる(図8(b))。
- (3) 約1.1sで携帯電話がピープ音を発し,リモートネームを取得したことをユーザーに通知する。
- (4) 通信部より携帯電話を離し,自由な位置と姿勢で携帯電話を保持し,改札機の通路を通行する(図8(c))。
- (5) ユーザーが改札機の通路を通過する間にチケットデータのやり取りと判定処理が行われ,判定OKであればゲートがオープンする(図8(d))。

実験の結果,従来,平均5sを要していた上記(c)までの処理が平均1.1s,処理全体は平均2sで完了し(100回測定の平均値),この方式の有効性を実証することができた。

7 あとがき

ここで述べた手法により,現行システムとほぼ同等の処理速度と操作性で,Bluetooth™による改札システムが実現可能であることを確認した。実用化に向けて,高速接続方式の仕様化,セキュリティ実装などの技術課題,システム運用上の課題を解決するとともに,長所である近接接続後のユーザビリティを更に向上し,新たな付加価値を生むサービスを実現していきたい。

文献

- (1) Bluetooth™ Core Specification Ver.1.1



山本 健彦 YAMAMOTO Takehiko

社会ネットワークインフラ社 システムコンポーネッツ事業部
システム・ソフトウェア部グループ長。基本ソフトウェアの開発に従事。情報処理学会会員。
System Components Div.



神戸 稔 KAMBE Minoru

社会ネットワークインフラ社 システムコンポーネッツ事業部
システム・ソフトウェア部主務。通信ソフトウェアの開発に従事。
System Components Div.



佐田 豊 SATA Yutaka, D. Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー室長,工博。
Bluetooth™の研究・開発に従事後,現在,機械システム全般の研究・開発に従事。日本機械学会会員。
Mechanical Systems Lab.