

多数の携帯電話とデジタルサイネージ間のインタラクションを可能にするクライアントサーバー型 Bluetooth 通信方式

呉劍明[†] 加藤晴久[†] 加藤恒夫[†]

多数の携帯電話とデジタルサイネージのインタラクションを可能にするクライアントサーバー型 Bluetooth 通信方式を提案する。Bluetooth は省電力であり、携帯電話機にも普及が進んでいるが、多数の端末の同時接続と、双方向かつデータサイズを制限されないインタラクションは実現できなかった。これに対して、本論文は、ロールチェンジと複数の Bluetooth レシーバーの管理手法により、Bluetooth 仕様の制約を超える多数の携帯電話との同時接続を実現し、携帯電話とデジタルサイネージの間に大容量・双方向データ通信を可能とした。本方式に基づいて複数の携帯電話が同時接続する対戦型ゲームを試作し、レスポンス時間と通信速度の性能評価実験を通して、提案方式の有効性を検証した。

A Client-Server Communication Scheme over Bluetooth for Multiple Mobile Phones Interact with Digital Signage System

Jianming Wu[†] Haruhisa Kato[†] and Tsuneo Kato[†]

This paper proposes an interactive client-server scheme over Bluetooth for multiple mobile phones and digital signage system. Although Bluetooth has low power consumption and becomes popular in mobile phones, it lacks an interactive method to provide multi-client connections over multiple appliances and full-duplex unlimited-data-transferable communication. The authors have thus designed a mechanism utilizing role-change and the management of multiple receivers, which overcomes the restriction of Bluetooth specification and applies full-duplex bulk-data-transferable communication over multiple mobile phones and signage system. The authors prototyped a multi-player competition game using mobile phones based on this mechanism. The effectiveness of the proposed scheme is shown through experiments, base on the result of response time and transfer speed.

1. はじめに

近年、デジタルサイネージが注目されており、店舗、交通機関、キャンパス、オフィスなどに設置したディスプレイに、タイムリーに映像や情報を配信するサービスの普及が始まっている。現在のシステムは、各種の案内や広告などを表示する一方の情報配信形式のものが主流であるが、視聴者とのインタラクション機能によってより視聴率を惹きつけることができる。常に身につけている携帯電話は最も有力なインタラクションの手段と考えられている[1]。例えば、大型ディスプレイに対してユーザの携帯電話からリアルタイム性の高い画面操作やテキスト入力を可能にしたり、逆に地図画像や動画コンテンツなどのデータを携帯電話に取り込んだりすることが考えられる。また、イベント会場の大型スクリーンに多数のユーザが近距離無線通信でアクセスし、アンケートに同時に参加するなどの応用が考えられる。しかし、このようなマルチモバイル参加型のインタラクティブサイネージ実現には、複数同時接続性・双方向性・大容量性に優れた近距離無線方式が必要である。

家電製品をリモートコントロールするために、赤外線や ZigBee, 無線 LAN, Bluetooth など様々な近距離無線通信方式が用いられている。[2][3]では、赤外線をを用いたリモート操作システムが提案されている。家電機器のほとんどは、赤外線方式が採用されていることから、赤外線モジュールを搭載した携帯電話であれば、赤外線リモコンとして家電機器を操作することができる。しかし、赤外線リモコンでは、片方向の操作しかできず、家電機器側の状態を把握できない問題がある。また、複数のリモコンの出力信号が相互に混信し合う、異なる機器の赤外線コマンドが他の機器に誤受信されるなどの問題があった。

[4][5]では、ZigBee 方式のリモコンで家電機器を操作するシステムが提案されている。ZigBee は、複数の端末間の双方向・小容量通信が可能であり、消費電力の低さと導入コストの低さにより、照明制御、電気・ガス・水道メータの測定など、家庭やオフィス向けの制御用ネットワークといった用途への普及が見込まれている。しかし、ZigBee のデータ転送速度は 20Kbps~250Kbps と低速であるため、動画などの大容量のデータを送受信するには限界がある。現段階は ZigBee の応用は情報そのものよりも通知といったセンサー系などに限られ、携帯電話や、PC などの情報機器にはほとんど搭載されていない。

[6]では、無線 LAN/IEEE802.11 によりネットワークに接続された情報端末にリモコン制御を操作するシステムを実現している。無線 LAN を使う方式であり、リモコンと操作デバイスの間で、制御のコマンドや画像データを IP ネットワーク経由で双方向の通信を行える。無線 LAN は携帯電話への搭載が進みつつあるが、消費電力の問題

[†] KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

がある。また、無線 LAN アクセスポイントを設置する必要があるため、屋外ではネットワークの設定や電源・スペースの確保に手間がかかる。

前述の技術に対して、Bluetooth は低消費電力でありかつ半径数十メートルの範囲で遮蔽物があっても通信可能である。テレビや STB、ゲーム機器、コンピュータ、デジタルサイネージなどの操作デバイスを接続するための無線方式として有望である。そして、現時点でもほとんどの携帯電話に搭載されている。[7]では、Bluetooth により PC を携帯電話からコントロールできるようにした。しかし、Bluetooth は、そもそも一対一で利用される用途を前提に実装されるケースが多いため、デジタルサイネージとの接続においては、複数同時接続、双方向通信、大容量データ通信機能の拡張が必要となる。

本論文では、上記の技術課題を解決し、汎用性の高いクライアントサーバー型の Bluetooth 通信方式を実現し、デジタルサイネージ端末（以下、サイネージ端末と呼ぶ）などの操作デバイスに対して、同時に複数の携帯電話を接続し、双方向に大きなデータもやり取りできる自由度の高い通信方式を提案する。

以下、2 章では Bluetooth における複数同時接続・双方向通信・通信データサイズに関する課題を説明する。3 章では本論文で提案する Bluetooth 仕様の制約を超える多数の携帯電話の接続・管理方式を提案し、4 章では Bluetooth における双方向、大容量データ通信の実現方式について説明する。さらに、5 章では、提案方式について行った評価実験について説明する。最後に、6 章でまとめる。

2. Bluetooth における同時接続・双方向・大容量通信機能の実現課題

図 1 には、Bluetooth の接続トポロジー（ピコネットとスキヤッタネット）を示す。Bluetooth の通信は、通信の主導権を握るマスターとその管理下に置かれるスレーブから成る。仕様上は、1 台のマスターに対して 7 台までのスレーブを接続できるピコネットが形成される。ピコネットの通信では、どの機器もマスター・スレーブの両方になれるが、最初に接続要求を発行した機器がマスターになり、マスターの接続要求を受け取った機器はスレーブになる。送信機器が受信機器に対して制御を開始しようとすると、送信機器が自動的にマスターとなり、受信機器が自動的にスレーブとなる。したがって、スレーブである受信機器が受け付けられる送信機器の最大接続数は 1 つに制限されてしまう。一般には携帯電話からサイネージ端末に対し接続要求を発行するため、複数の携帯電話から一つのサイネージ端末を同時に制御できないという問題があった。

Bluetooth の「スキヤッタネット」仕様では、二つ以上のピコネットの混在を許すため、複数のマスターデバイスと複数のスレーブデバイスとなる接続トポロジーが構成可能

である[8]。例えば、図 1 の右側に示すように、二つのマスター機器から同一のスレーブ機器を制御するため、マスター A とスレーブ 2 が構成する第 1 の Bluetooth ピコネット A とマスター B とスレーブ 2 が構成する第 2 の Bluetooth ピコネット B で、互いに通信時間が重ならないように設定し、時分割で擬似同時通信を行う。しかし、スキヤッタネットでは複数のピコネット間で時分割通信の切り替え処理が必要であるため、携帯電話の台数が増えるとオーバーヘッドが無視できなくなる。また、携帯電話などの組み込み端末の多くは、現状スキヤッタネットに対応していないという制約もある。

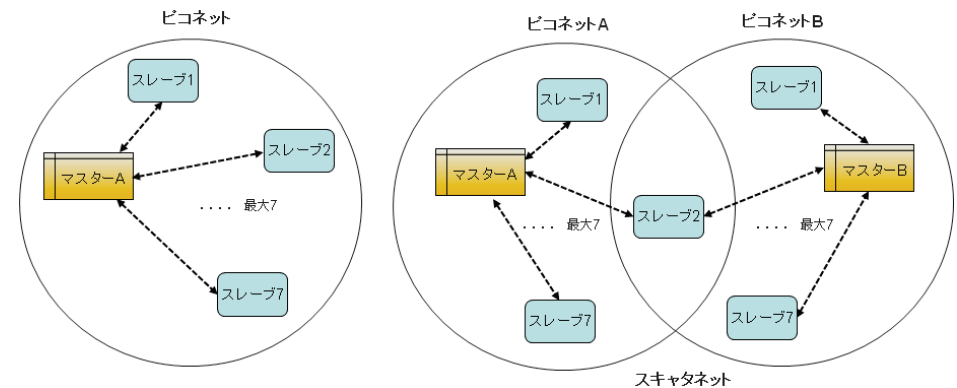


図 1 Bluetooth の接続トポロジー（ピコネットおよびスキヤッタネット）

Fig. 1 Connection Topology of Bluetooth (Piconet and Scatternet).

従来、Bluetooth 規格に基づく端末間は、特定の Bluetooth プロファイルを周辺端末が備えていれば容易に通信を確立できるメリットがあるが、これらのプロファイルを解釈する規格はハードウェアと一体で開発されている。例えば、携帯電話に実装される代表的なプロファイルには、ハンズフリー通話に使う「ハンズフリー・プロファイル」や、外部機器から携帯電話経由でデータ通信する際に使う「ダイヤルアップ・ネットワークング・プロファイル」などがある。しかし、制御コマンドやテキストメッセージの通知、大容量動画像データの送受信など、さまざまなアプリの利用目的に合致した応用アプリの自由拡張は困難である。そこで、本論文は Bluetooth の汎用性の高い標準プロファイルであるシリアル・ポート・プロファイル（SPP）を拡張システムを構築する。

3. 提案方式による多数の携帯電話同時接続の実現

3.1 ロールチェンジを用いた1対7の同時接続

2章で述べたように、一台のサイネージ端末が待ち受けの状態であり、周りの携帯電話群から接続を行う場合、通常は2台以上のマスターデバイスが必要となってしまうため接続ができない。そこで、提案方式では、携帯電話からサイネージ端末への接続を確立する直前に、サイネージ端末が携帯電話に RFCOMM の HCI(Host Controller Interface : コントローラーのベースバンド部分を制御するのに用いられる通信プロトコル)プロトコルを用いて情報のやり取りを行い、問題となるマスター/スレーブの通信役割をロールチェンジ (Role Change) することにより、サイネージ端末を常にマスターにさせる。これにより、Bluetooth の仕様が許容する7台までの携帯電話が接続可能なピコネットを構築することができる。

図2にサイネージ端末の構成を示す。サイネージ端末では、通信役割:「マスター」と「スレーブ」を交換するロールチェンジモジュールと、携帯電話群と Bluetooth レシーバーの通信ポートとの紐付け情報を管理する携帯電話割当モジュールと、Bluetooth 送受信パケットを管理する送受信モジュールと、携帯電話から受信した制御情報を元にシステム操作を変換する操作変換モジュールが動作する。



図2 サイネージ端末の構成
 Fig.2 Construction of Signage.

以下、携帯電話群からサイネージ端末に接続を要求する際の動作概要を図3のシーケンス図に沿って説明する。

携帯電話は、時刻 T1~T2 において、接続要求をサイネージ端末の SPP/RFCOMM 通信レイヤー経由でロールチェンジモジュールへ通知する。サイネージ端末は、この接

続要求に対して時刻 T3~T4 において、携帯電話1に自らマスターを維持するロールチェンジ要求を返信する。携帯電話1は、時刻 T5 にロールチェンジの設定準備、T6 にロールチェンジの実行要求、T7 に接続セッション完了の通知をそれぞれサイネージ端末へ送信し、サイネージ端末では、T8 にロールチェンジを実行し、T9 にロールチェンジ部からロールチェンジ完了通知を携帯電話割当モジュールに送信し、サイネージ端末と携帯電話間の通信を可能とする。

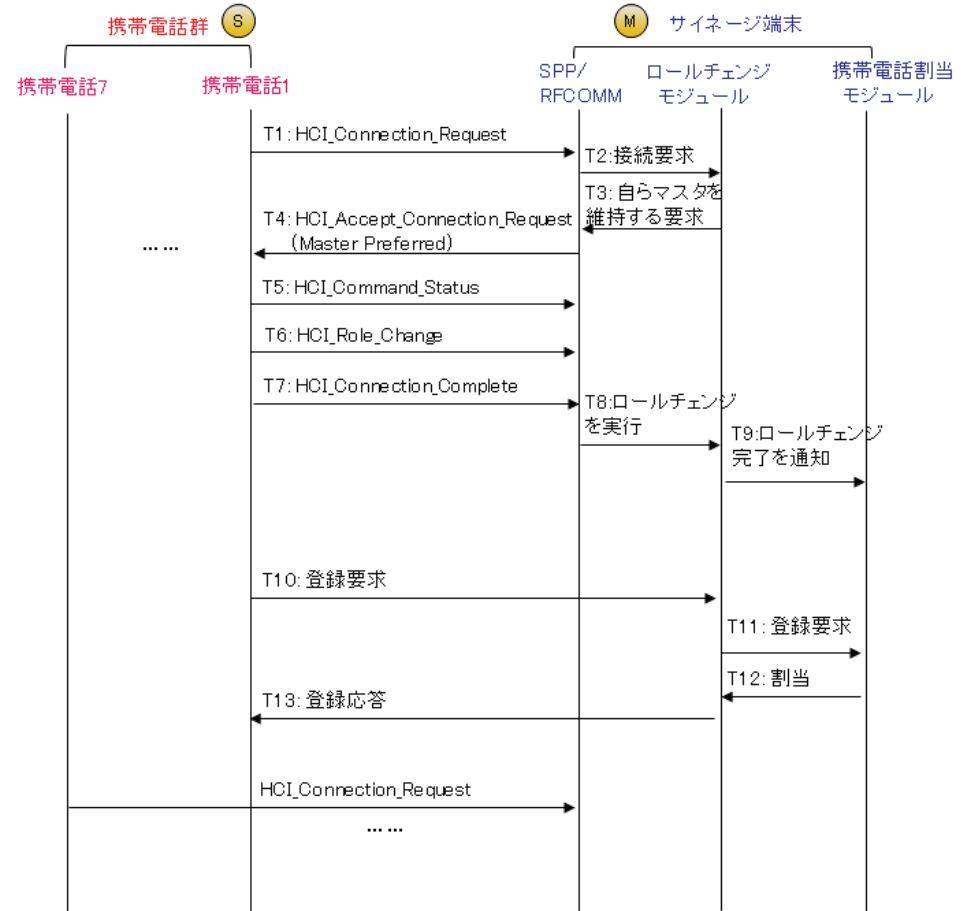


図3 接続時のシーケンス図
 Fig.3 Sequence Diagram of Connection.

次に、携帯電話 1 では、時刻 T10 において、登録要求をサイネージ端末の SPP/RFCOMM 通信レイヤーに指示し、時刻 T11 において携帯電話割当モジュールに通知する。サイネージ端末では、時刻 T12 において、指定されたチャンネル ID を SPP/RFCOMM 通信レイヤーへ転送し、時刻 T13 において携帯電話へ送信する。これにより、携帯電話の登録が完了する。同様に、携帯電話 2 から携帯電話 7 まで登録できる。

3.2 1 対 7 以上の同時接続

Bluetooth の仕様上では、1 つの Bluetooth レシーバーに対して最大 7 台の携帯電話しか接続できないが、複数の Bluetooth レシーバーを利用すれば 7 の倍数で最大接続数を拡大可能であると考えられる。しかし、現状汎用のコンピュータ OS では、Bluetooth スタックを用いて USB ハブに接続された複数の Bluetooth レシーバーを区別して制御することは難しい。

一方で、汎用のコンピュータ OS は、USB ドライバを USB 外部機器毎に割付けることで、独立に制御することができる。そこで、提案方式では、Bluetooth 通信の最大接続数 7 の制約から解放するため、Bluetooth レシーバーを Bluetooth 機器の代わりに USB デバイスとして認識し、HCI コマンドにより USB ハブ経由で各々のレシーバーの個別制御を実現することとした。

図 4 に複数の Bluetooth レシーバーを動作させるシステムの構成を示す。Bluetooth レシーバーを USB ハブに挿すと、USB 探知モジュールが通信相手を USB デバイスとして認識する。デバイスの種類を探索する USB の Probe コマンドにより Bluetooth レシーバーと判定した場合 HCI コマンド: `hci_register_dev` により該当レシーバーを OS に登録し、Bluetooth レシーバーバインディングモジュールが制御プロセスを起動し該当 Bluetooth レシーバーに割り当てる。このとき、レシーバーのデバイス名を識別するために、BTUSB00, BTUSB01 のような連番で管理する。登録完了後、HCI インタフェースライブラリを使用して、各レシーバーが独立して携帯電話と HCI レベルでの入出力を行う。これらの制御プロセスを協調動作させるため、複数の制御プロセス間でコンテキストスイッチ (CPU の状態を保存したり復元したりする過程) を行い、多くの制御プロセスが同じ携帯電話割当情報や操作変換情報のメモリ上のコピーを共有できるようにする。これにより、7 台を超える携帯電話群とサイネージ端末間で個別イベントの送受信を行うようにするため、端末識別 ID を携帯電話毎に割り振り、接続確立後は、携帯電話群は端末識別 ID と操作種別をサイネージ端末へ送信し、サイネージ端末は受信したパケットより識別 ID と操作種別を解読し、各々のシステム操作に変換する。

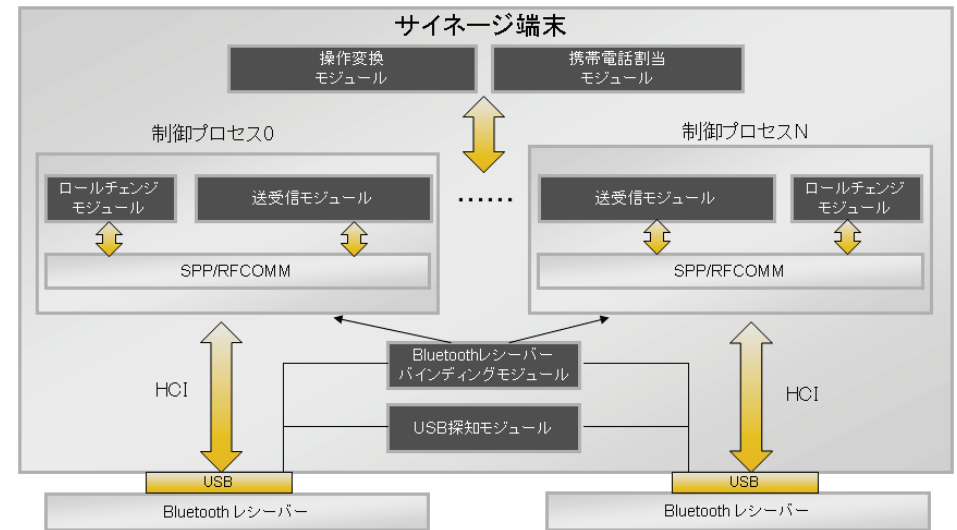


図 4 複数 Bluetooth レシーバーの管理

Fig. 4 The Management of Multiple Bluetooth Receivers.

3.3 複数携帯電話の識別管理について

複数の Bluetooth 携帯電話からサイネージ端末への登録情報を携帯電話のメモリに記憶する方法を、さらに詳細に説明する。

サイネージ端末の携帯電話割当モジュールには、携帯電話群を識別するため、制御プロセス ID、割当チャンネル番号、および、割当てられた携帯電話端末情報が記録される。ここで、制御プロセス ID 及び割当チャンネル番号の組合せは、前記携帯電話端末の端末識別 ID として利用される。初期状態を表 1 に示す。

表 1 携帯電話割当モジュールの初期状態

Table 1 Initial State of Mobile Allocation Module.

制御プロセス ID	割当チャンネル番号	携帯電話端末情報

携帯電話の初期登録時に、携帯電話からサイネージ端末の Bluetooth レシーバー群の検出処理を実行する。この検出処理は、問い合わせ用の電波を発射して、周囲からどのような応答があるかを検出する。上記の検出処理を行った携帯電話は、応答してきたレシーバーを一覧表示し、ユーザは、その中から所望のレシーバーを選択して接続要求を発行する。このとき、サイネージ端末の携帯電話割当モジュールが携帯電話の接続要求を受信すると、ロールチェンジを実施したうえ、選択したレシーバーから空きのチャンネル番号を選択して、選択したレシーバーに割り当てる制御プロセス ID および要求操作元の携帯電話端末情報を記録する。表 2 に、接続要求に応じて端末を割り当てた携帯電話割当モジュールの登録状態を示す。

表 2 携帯電話割当モジュールの登録状態
 Table 2 Registered State of Mobile Allocation Module.

制御プロセス ID	割当チャンネル番号	携帯電話端末情報
1	1	00:21:4F:F6:5F:0F
1	2	00:21:4F:F6:3F:FF
2	1	00:0B:22:4F:AC:DD

	名称	バイト値	説明
ヘッダー	DLE	0x10	開始マーク
	STX	0x02	
	LEN	0x22 0x00	Data部の長さ (1トルインディアン)
データ フィールド	Value(0)	任意	FF(登録応答)-1バイト
	Value(1)	任意	制御プロセスID-5Bit
	Value(2)	任意	割当チャンネル番号-3Bit
	Value(3)	任意	アプリIDリスト-最大256バイト 1アプリIDのサイズは1バイト
フッター	DLE	0x10	終了マーク
	ETX	0x03	
	SUM	任意	チェックサム-1バイト

図 5 「登録応答」メッセージ
 Fig. 5 Message of ACK for Register.

登録完了後、サイネージ端末が該当記録に紐付けられた制御プロセス ID および割当チャンネル番号を含む「登録応答」メッセージを構成し、携帯電話に返信する。携帯電話が上記の「登録応答」メッセージを受信すると、該当制御プロセス ID および割当チャンネル番号を携帯電話のメモリに保存する。図 5 に、Bluetooth SPP パケットのフォーマットを示し、「登録応答」メッセージの各 Value フィールドに設定される情報を示す。「登録応答」メッセージでは、Value(0)フィールドには登録応答 FLAG がセットされ、Value(1)フィールドには制御プロセス ID がセットされ、Value(2)フィールドには割当チャンネル番号がセットされ、Value(3)フィールドにサイネージ端末上で制御可能なアプリの ID リストがセットされる。

登録解除時には、携帯電話がサイネージ端末に該当通信ポートと接続解除の要求を送信する。サイネージ端末の携帯電話割当モジュールが上記の「登録解除」メッセージを受け付け、上記 Value(1)、Value(2)および Value(3)に該当する表 2 の記録を選択してクリアする。

4. 提案方式による双方向・大容量通信の実現

4.1 システム操作変換および双方向のやり取り

携帯電話からサイネージ端末を制御する例として動作の詳細を説明し、携帯電話がサイネージ端末の制御プロセスおよび通信チャンネルに割り当てられている状態を前提条件とする。

接続確立後は、携帯電話では、ユーザにより操作要求が指示されると、端末識別 ID (制御プロセス ID・割当チャンネル番号) をアプリ ID、操作種別と組み合わせるサイネージ端末の SPP/RFCOMM 通信レイヤー経由で操作変換モジュールに転送し、操作変換モジュールが当該情報を元にして対応のシステムイベントおよびパラメタを検索し、マウスや、キーボード操作、システム動作などを変換し、上記の操作による表示更新要求に応答して画面表示を更新する。このとき、テキスト出力、画像出力、音声出力など、フィードバックがある場合、それに応じデータを SPP/RFCOMM 通信レイヤー経由で Bluetooth SPP パケットに変換し携帯電話へ送信する。

上記の操作変換モジュールでは、表 3 に示すように動作変換定義が保持されており、制御プロセス ID、チャンネル番号、アプリ ID、操作種別に基づいて、該当のシステム操作とパラメタが特定される。アプリごとにシステム操作種別とパラメタの割り当てが設定されるため、同一の携帯電話で複数のアプリの操作にも対応できる。

表 3 操作変換モジュールの動作変換定義

Table 3 Action Definition of Operation Conversion Module.

制御プロセス ID	割当チャンネル番号	アプリ ID	携帯電話操作種別	システムイベント	パラメタ
1	1	ONI-GAME	LFET	キーボード	KEY_LEFT
1	1	ONI-GAME	RIGHT	キーボード	KEY_RIGHT
1	1	ONI-GAME	UP	キーボード	KEY_UP
1	1	ONI-GAME	DOWN	キーボード	KEY_DOWN
1	2	ONI-GAME	LFET	キーボード	KEY_A
1	2	ONI-GAME	RIGHT	キーボード	KEY_D
1	2	ONI-GAME	UP	キーボード	KEY_W
1	2	ONI-GAME	DOWN	キーボード	KEY_S
2	1	BROWSER	UP	キーボード	スクロールアップ
2	1	BROWSER	DOWN	キーボード	スクロールダウン
2	1	BROWSER	ENTER	アップロード	ファイルデータ

4.2 大容量データ送受信

携帯電話からサイネージ端末へデータを送信する場合を例にして説明する。

Bluetooth の SPP では、1 パケットの最大サイズが数キロバイト（以下は 1024 バイトを例として説明する）に制限されているが、提案方式では Data フィールドに複数の Value フィールドを設けることで SPP パケットを拡張し、1024 バイトを超えるバイナリデータの連続送信を可能にした。図 6 は、送信メッセージの各 Value フィールドに設定される情報を一覧表示した図である。送信メッセージでは、データフィールドの Value(0)に制御プロセス ID がセットされ、Value(1)に割当チャンネル番号がセットされ、Value(2)にアプリ ID がセットされ、Value(3)に操作種別がセットされる。Value(4)にはパケット順番がセットされ、Value(5)にはデータがセットされる。Value(5)は送信されたデータの一部（データ片）であり、これが繰り返されることで大容量情報の送信が可能になる。

図 7 は、Bluetooth SPP の送信手順を示したフローチャートである。携帯電話では、サイネージ端末へ送信するデータが 1012 バイト単位でデータ片に分割され、Bluetooth SPP パケット化されてバッファにエンキューされる。送信用の Bluetooth SPP パケットがエンキューされたことが検知されると、送信 Callback ルーチンが割込処理で実行され、バッファから前記パケットが 1 つずつデキューされて送信モジュールによりサイネージ端末へ送信される。

サイネージ端末では、前記 Bluetooth SPP パケットが受信モジュールにより受信されると、受信 Callback ルーチンが割込処理で実行され、受信パケットがバッファへエンキューされる。正常受信された Bluetooth SPP パケットに対して Ack パケットが返信される。そして、受信パケットに送信完了通知が登録されているか否かが判定され、登録されていない場合は戻って次のパケット受信に備える。

携帯電話では、サイネージ端末から返信された Ack パケットが受信されると最初に戻り、エンキューされている全ての Bluetooth SPP パケットに対して上記の送信処理が繰り返され、最後のパケットの Value(4)には「0xFFFF」が登録され、送信完了通知としてサイネージ端末に送信される。

サイネージ端末では、送信完了通知が検知されると、受信されたパケットからデータ片およびパケット順番を抽出し、各データ片をそのパケット順番にしたがって結合することで制御コマンドデータを復元する。

名称	バイト値	説明
DLE	0x10	開始マーク
STX	0x02	
LEN	0x22	Data部の長さ (リトルインディアン)
	0x00	
Value(0)	任意	制御プロセスID - 5Bit
Value(1)	任意	割当チャンネル番号 - 3Bit
Value(2)	任意	アプリID - 1バイト
Value(3)	任意	操作種別 - 1バイト
Value(4)	任意	パケット順番 - 2バイト
Value(5)	任意	データ - 最大1012バイト
DLE	0x10	終了マーク
ETX	0x03	
SUM	任意	チェックサム - 1バイト

図 6 送信メッセージ

Fig. 6 Sending Message.

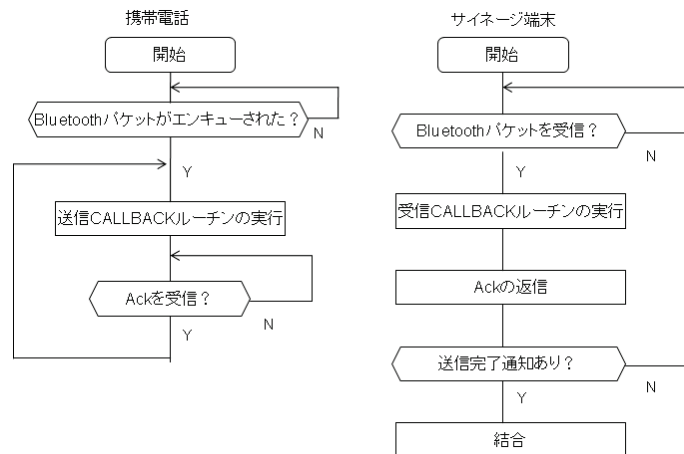


図 7 パケット送りのフローチャート
 Fig. 7 Flow Chart of Packet Transfer.

5. 予備評価実験

5.1 実験環境

携帯電話は OS として BREW の携帯汎用 OS を実装し、通信レイヤーでは Bluetooth 1.2 を基準とした送受信モジュールが動作する。サイネージ端末は、Windows あるいは Linux (登録商標) の汎用 OS を実装し、通信レイヤーでは Bluetooth 2.1+EDR を基準とした送受信モジュールが動作する。実行アプリとして、提案方式を用いてマルチプレイヤー対応の「鬼ごっこゲーム」を試作した。このゲームは複数の携帯電話によって行われ、方向キーを動かすと、それに合わせてキャラクターがサイネージ端末の画面上を上下左右に動き回る。パトロールの鬼に捕まるとゲームオーバーとなる。

5.2 実験結果

携帯電話キーボタン押下からその操作に対応する動作を画面上に表示完了までのレスポンス時間を計測した。また、携帯電話の操作に対して、サイネージ端末が効果音や、キャラクターの画像データ、アクションのバイブレーションなど、携帯電話に送信する双方向データ通信を行う場合のレスポンス時間も計測した。予備実験では、一台のレシーバーに対して7台の携帯電話を接続して計測した。実験結果を表4にま

とめる。

表 4 レスポンス時間 (ms)

Table 4 Response Time (ms).

	平均	標準偏差	MAX	MIN
1台のみ (片方向)	25.6	8.4	39.0	12.0
7台同時 (片方向)	47.7	10.7	50.5	18.0
14台同時 (片方向)	55.4	14.6	72.5	21.5
1台のみ (双方向)	42.9	6.0	54.0	21.0
7台同時 (双方向)	66.7	7.5	87.0	53.5
14台同時 (双方向)	78.5	13.1	105.0	48.0

また、10MBの大容量データを携帯電話とサイネージ端末間1対1の送受信速度を計測し、実験結果を表5にまとめた。

表 5 通信速度 (Kbps)

Table 5 Transfer Speed (Kbps).

10MB データ	サイネージ端末から携帯電話に送信	携帯電話からサイネージ端末に送信
片方向	638.60	725.18

レスポンス時間は、片方向通信を設定した場合、1台のみの平均反応時間は25.6ms、14台同時操作の場合の平均反応時間は55.4msであったことがわかった。双方向通信を設定した場合、1台のみの平均反応時間は42.9ms、14台同時操作の場合の平均反応時間は78.5msであったことがわかった。一般には、反応時間を71~200ms程度に短縮すればリアルタイムのアクションゲームでもきちんと同期して動作できるため[9]、実験結果により提案方式は一方の情報配信アプリから高度なインタラクションを実現する連携アプリまで幅広く適用できると考えられる。

送受信速度において、携帯電話のBluetoothスペックは1.2のため、600Kbps~700Kbps程度の通信速度を確認した。今後Bluetooth2.1や3.0の導入に伴い、さらに高速化されると期待される。

6. おわりに

本論文では、Bluetooth仕様の制約を超える多数の携帯電話とデジタルサイネージの同時接続を目的として、携帯電話からサイネージ端末へ接続を確立する直前に情報のやり取りを行い、Bluetoothの標準化された通信役割：「マスター」と「スレーブ」をロールチェンジすることで、Bluetoothの仕様が許容する7台までの携帯電話を接続できるピコネットを可能にした。また、サイネージ端末に複数台のBluetoothレシーバーを識別し、各レシーバーがそれぞれ最大7台のBluetooth接続環境を形成することにより、7の倍数で同時接続数を拡大することができる。さらに、Bluetoothの標準プロファイルであるSPPを拡張して、複数の携帯電話毎に個別イベントの送受信を同時に行うとともに、サイネージ端末と携帯電話間の大容量・双方向データ通信を可能とした。評価実験により、提案方式の有効性を確認できた。

今後はさらに多くの携帯電話の同時接続を対象とし、レスポンス時間や、通信速度、メモリ使用量など、詳細かつ大量のデータを取得し分析することで、前章に述べた予備実験での結果を補強することを予定している。また、Bluetooth接続の確立にはBluetooth IDとパスワードを必要とするペアリングの処理が必要であるが、街頭のサイネージ端末に接続するにはより簡単な接続手法が必須である。FeliCaタッチによりBluetooth接続（ペアリング）情報を交換し自動的に接続する方式は既に実用化されているため、遠隔でもタッチなしに接続を確立できる方式を検討している。

参考文献

- 1) Daniel, S and Otto J. A.: Blurring the line between real and digital: pinning objects to wall-sized displays, Proceedings of the 2008 workshop on Immersive projection technologies/Emerging display technologies, ACM, ISBN:978-1-60558-212-2, Article No.1 (2008).
- 2) Kahn, J. M. and Barry, J. R.: Wireless infrared communications, Proceedings of IEEE, Vol. 85, Issue 2, pp. 265-298 (1997).
- 3) Ji, M., Park, W. K., and Han, I.: A Location-awareness Method in Home Network and its Applications. Proceedings of International Conference on Ubiquitous Convergence Conference, IUC 2006, pp. 137-139 (2006).
- 4) Callaway, E., Gorday, P., Hester, L., Gutierrez, J.A., Naeve, M., Heile, B., and Bahl, V.: Home networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks, Communications Magazine, IEEE, Vol.40, Issue 8, pp.70-77 (2002).
- 5) Koh, B.K.P. and Kong, P.Y.: Performance Study on ZigBee-Based Wireless Personal Area Networks for Real-Time Health Monitoring, ETRI Journal, Vol.28, n.4, pp.537-540 (2006).
- 1) Sandu, F., Romanca, M., Nedelcu, A., Borza, P., and Dimova, R.: Remote and Mobile Control in Domotics, 11th Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2008, pp. 225-228 (2008).
- 2) Qadeer, M. A., Umar, M. S., Agrawal, R., and Umar, M. S. Application Remote Control using

- Bluetooth (ARC), In Proceedings of 4th IEEE/IFIP International Conference, ICI 2008, pp.1-5 (2008).
- 3) Miller, Brent A., and Bisdikian, Chastchik(著), 清野幹雄(監訳): Bluetooth テクノロジーへの招待—仕様開発者による近距離無線通信技術の手引き, ビアソン・エデュケーション社, pp.21-23 (2002).
 - 4) コンピュータネットワークの知識, <http://www.cam.hi-ho.ne.jp/puffin/protocol/ping.html>