

4. 無線 LAN による移動体通信の事例

2 無線 LAN とモバイル IP による 高速移動体通信

Mobile Communication for High Speed Transportation Vehicle with Wireless LAN and Mobile IP

真野 浩

ルート (株)
hmano@root-hq.com

IEEE802.11b 無線 LAN とモバイル IP を融合することにより、高速かつ多用途な移動体通信システムを構築することが可能となる。このシステムは、携帯電話など既存の商用移動体通信システムを利用しないため、運用コストが低廉となる。また、シンプルな IP 通信でありその用途を限定しない、マルチメディア通信を実現している。これらのシステムは、実証実験のレベルを終え、ITS などに導入されつつある。

そこで、本稿では、その導入事例として、自動車一道路間通信システム、および地下鉄における実証システムの事例を示し、今後の利用範囲や可能性について解説する。

無線 LAN とモバイル IP による高速移動体通信

IEEE802.11b 無線 LAN は、パーソナルコンピュータ等のホストとローカルエリアネットワークを接続する閉空間やノマディックな接続目的に広く利用されているが、モバイル IP による移動透過性を与えることにより、広域かつ連続した移動通信システムを構築することが可能となる。

本稿では、始めに移動体通信としての移動透過性を与えるモバイル IP の必要性、IEEE802.11b を移動体通信で利用する場合の課題について述べる。

次に、路車間通信システムとしての導入事例と地下鉄における列車一ネットワーク間通信システムの事例を紹介する。

最後に、これらのシステムの課題と、今後の期待できる応用などについて言及する。

■ モバイル IP とネットワークモビリティ

屋外で利用する移動体通信システムでは、構内 LAN や家庭内 LAN と比べ、広域な範囲を複数の基地局でカバーするため異なるネットワーク間での移動透過性が必要となる。また、車両や鉄道の移動体を接続する場合、移動体内のネットワークそのものが移動透過性を有する必要がある。

そこで、IP 通信に移動透過性を与えるモバイル IP を

用いることにより移動体通信を実現する。また、移動体内のネットワークに対する経路情報を移動透過性のあるモバイルルータに集約することにより、移動体内のネットワークにも移動透過性を与える。

■ IEEE802.11b の移動体通信利用の課題

IEEE802.11b を移動体通信に利用する場合には、以下のような課題を解決する必要がある。

基地局の選択権

IEEE802.11b では、基地局に対するスキャンの開始、停止や任意の個別基地局への接続、切断を子局主導で行うことができず、複数の基地局から任意の最適基地局を選択することができない。たとえば移動体の進行方向に対して、順に 1, 9, 5, 3 チャネルの周波数を使う基地局が設置され、今 1 チャネルの基地局に接続している移動体が 9 チャネルの基地局の方向に移動した場合、次に接続すべき基地局は、9 チャネルの基地局であるが、遠方の 3 チャネルの基地局からの漏れ電波が移動体に到達していると、スキャンの順番によっては、3 チャネルの基地局を選択してしまうことになり、不適切なハンドオーバーが発生する。また、IEEE802.11b インフラストラクチャモードのビーコンの送出間隔は、100mSec であり、基地局の補足、および切断の検出には数秒を要してしまう。

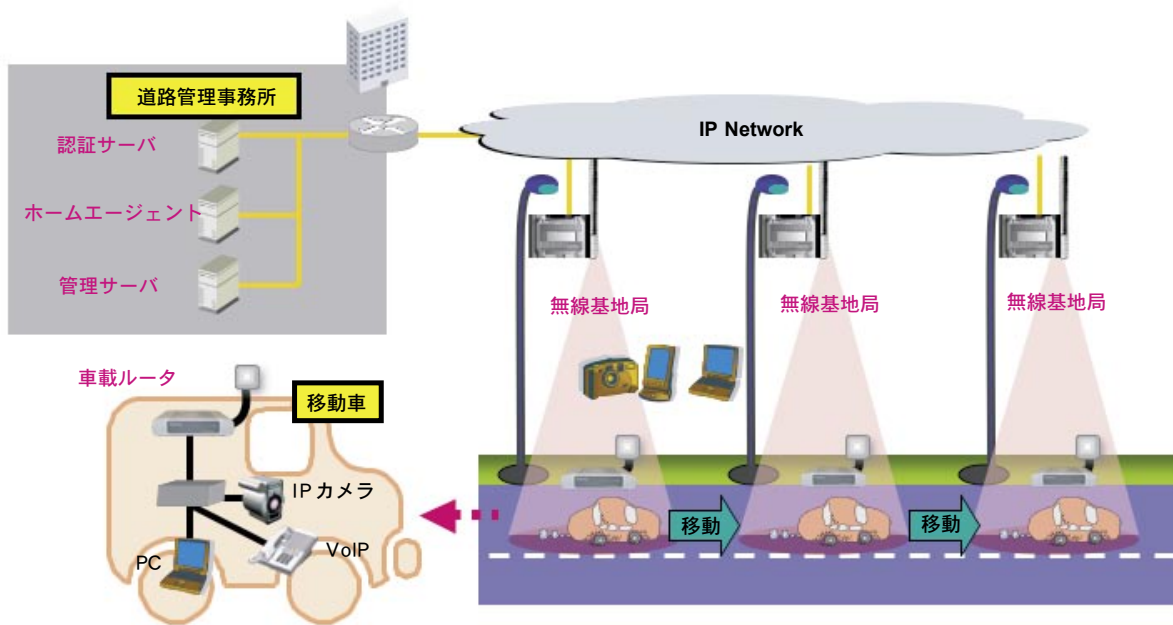


図-1 無線LANとモバイルIPによるITSシステムの構成

認証とセキュリティ

IEEE802.11bでは、認証の有無にかかわらずSSID^{☆1}が同一の基地局にリンク確立を行う。このため、SSIDが同一の基地局が通信可能範囲に設置された場合、移動体側の無線局は、その基地局にリンク確立をしてしまい、正規のネットワークと通信することができない状態（通信の搾取）となってしまう。さらには、WEP^{☆2}による通信の暗号化の脆弱性が広く指摘されている。そこで、IEEE802.1xとEAPの組合せにより、セキュリティの脆弱性を補う方式等も提案されているが、認証、接続確立までのパケット交換数が10パケット以上になってしまう、ハンドオーバー処理時間が長くなり実用的でない。

高速ハンドオーバーに適したプロトコル

前述の課題に対する改善方式として、モバイルブロードバンド協会が制定したMISプロトコルがあり、後述の事例は、このプロトコルを採用している。MISプロトコルでは、IEEE802.11b無線機を使いながら、以下の改良を行い、移動体通信に最適化している。

- (1) ビーコン送出間隔を33mSecにすることで、ハンドオーバー時間を短縮。
- (2) 認証局と移動局の相互認証により、偽基地局による通信の搾取を防止。

- (3) AES128bitによる暗号化と、1分ごとの動的鍵交換による暗号化の強化。
- (4) 認証、鍵交換、IPアドレスの付与、モバイルIPのバインディングアップデートまでを、2回のパケット交換のみで行うことによるハンドオーバー時間の短縮。
- (5) 全基地局をスキャンし、電波強度を比較することにより、最適な基地局の選択を実施。

ITSでの導入事例

国土交通省や日本道路公団では、国道（自動車専用道路）や高速自動車道沿いに道路管理事務所と接続した無線基地局を設置し、道路上を走行する管理車両、エリア内の作業者の持つノート型PC、PDA、デジタルカメラなどの情報端末等を無線接続している。

システム構成

図-1にシステムの全体構成を示す。このシステムは、以下の各要素から構成されている。

認証サーバ

車載ルータの認証を行うためのRadius相当の認証サーバで、各無線基地局とは、IPネットワークを使い相互認証の上接続されている。

HA（ホームエージェント）

車載ルータの移動透過性を実現するホームエージェントサーバ。また、車載ルータ配下のネットワークに対す

☆1 SSID=Service Set Identifier, IEEE802.11bに規定される、基地局を識別するためのID。

☆2 WEP=Wired Equivalent Privacy, IEEE802.11bに規定される、データの暗号化方式。



(1) 無線基地局



(2) 車載ルータ

http://www.root-hq.com/products/mobile_ip.html

図-2 使用機器の概観

る経路情報も持ち、上流ネットワークに対し、動的経路交換をする場合には、経路広告を行う。

無線基地局

車載ルータを基幹ネットワークに接続するための無線機能と、ルータ機能を装備した無線基地局、光ファイバ(100BaseFX)により、基幹網と接続される。

無線基地局の概観を図-2(1)に示す。

また、無線基地局側では、主に図-3(1)のカーゴイドアンテナを利用している。

車載ルータ

管理車両に登載する車載ルータでIEEE802.11b無線機とルーティングエンジンから構成され、MISプロトコルを実装している。

車載ルータの概観を図-2(2)に示す。

車載ルータ側のアンテナは、図-3(2)のパッチアンテナを利用している。

携帯端末(ノートPC, PDA, デジタルカメラ)

MISプロトコルを実装した、ノートPC, PDA, デジタルカメラで、車載ルータを介することなく、カバーエリア内で直接に無線基地局に接続することが可能となる。

管理サーバ

システム全体の管理サーバで、稼働状況の監視、各種初期設定、認証用アカウントの管理などを行うデータベースとWebによるユーザインタフェースを具備している。

システムの配置

本システムでは、道路管理事務所に、管理サーバ、認証サーバ、ホームエージェントサーバを設置している。

また、異なる道路事務所が管理する道路間を道路管理車両が往来する場合には、各認証サーバがプロキシ接続



(1) 基地局用カーゴイドアンテナ



(2) 車載用パッチアンテナ

図-3 使用アンテナの概観

することにより、相互乗り入れが可能となっている。

■カバーエリア

無線基地局のカバーエリアは、見通し距離で500m程度であることから、連続したカバーエリアを構築する場合には、1km間隔程度に配置されている。また、山間部などの見通し伝搬の確保が困難なエリアでは、より短い間隔で配置されている。なお、導入個所によっては、離散的に無線基地局を配置している。

■パフォーマンス

本システムでは、管理車両がエリア内において、常時実効スループット5～6Mbpsで基幹IP網に接続されている。また、連続した基地局配置をしているシームレス区間においては、ハンドオーバーにより連続通信を実現している。

■用途

本システムは、以下の用途に利用されている。

道路管理車両からの映像配信

走行する道路管理車両に登載されたビデオカメラで撮影した映像を、MPEG2などのエンコードを使い管理事務所に伝送しモニタリングを行っている。

管理事務所内ネットワークへのアクセス

管理事務所内のネットワークと管理車両や作業員が接続されることにより、各種管理情報などの閲覧や、メール送受信、インターネットアクセス、共用グループウェアなどに対するアクセスが行われている。

作業者とのVoIPによる音声通信

PDAやノートPCを利用して、作業員間のVoIPによる音声通信を行っている。

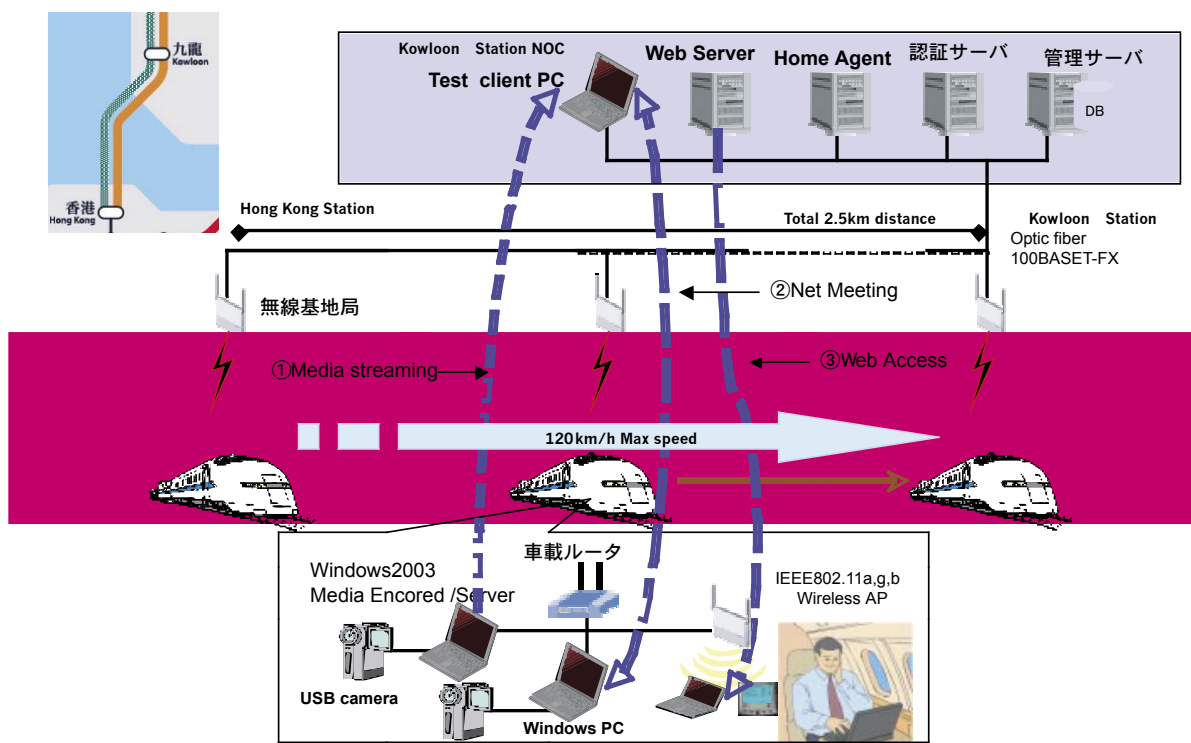


図-4 地下鉄における実証システム

デジタルカメラによる現場映像の共用

無線LAN内蔵型デジタルカメラにより、災害、事故現場での撮影映像を即時に管理事務所に送信することで、即応性のある状況確認を実現している。

整備状況

現在、これらのシステムは、おおよそ1,000カ所、総延長1,000km程度に整備され、今後さらにその整備エリアの拡大が計られている。

また、上記の用途以外にも、車両の位置に依存した情報の提供や、車両間通信、アドホックな基地局設置によるエリア拡大などが計画されている。

電車モニタリングシステム実験

香港地下鉄会社では、新路線や延伸に合わせて、無線LANとモバイルIPによる移動体通信システムを、列車モニタリング(CCTV)に利用することを検討し、図-4に示すような実証実験を行った。

システム構成

前述のITS事例と同様のシステムを、香港一九龍間2.5kmの海底トンネル路線に整備した。また、管理サーバ、認証サーバ、ホームエージェントサーバの各サーバ類を九龍駅構内の事務所に設置した。

なお、トンネルは急峻なカーブが多く、見通し伝搬が確保できる距離は最長でも400m程度であり、平均すると200m程度となることから計10カ所の基地局をトンネル壁面に設置した。

アンテナは、列車の進行方向が片方向であることから、進行方向と逆方向(列車の来る方向)に向けてパッチアンテナを配置し、列車側は運転席内に進行方向に向けてパッチアンテナを配置した。

実験内容と結果

本実証実験では、以下の3つの主観評価を行った。

車両内のモニタリング

車両内のネットワークに、ビデオカメラおよびWindows Media Encoderを接続し、車両内の映像を駅側にTCP/IPにより送信し駅側でモニタリングを行った。

この実験では、毎秒30フレームの映像の伝送を行ったが、ハンドオーバー時のパケットロスなどは、TCP/IPの再送バッファ制御により吸収され、切れ目のない良好な画質がモニタリング可能となった。ただし、バッファリングによる遅延が8秒程度生じている。

車両内からのWebアクセス

車両内ネットワークに、市販のIEEE802.11b/g/a対応の無線LANアクセスポイントを接続し、PDAやノー

ト型パーソナルコンピュータにより駅側に設置された Web サーバへのアクセスを行った。この場合、PDA やノート型パーソナルコンピュータは、モバイル IP スタックを実装する必要はなく、モバイル IP を意識することなく利用可能である。

車両との双方向ビデオ会議

車両内ネットワークに接続されたパーソナルコンピュータと、駅側に設置されたパーソナルコンピュータ間で、ネットミーティングによる TV 会議を行った。

この場合、両コンピュータ間の通信は、UDP により行われるため、ハンドオーバー時に若干のブロックノイズが発生したが、セッションが途切れることなく、走行中の車両と駅の間で継続してネットミーティングの使用が可能であった。なお、このときの遅延時間は、限りなく小さく、実時間による会話が可能であった。

今後の課題

本稿で解説したように、IEEE802.11b 無線 LAN とモバイル IP を利用した移動体通信システムは、すでに広く実用化されつつある。

このようなシステムは、冒頭に述べたように廉価に高速移動体通信網を構築可能であり、かつ IP 通信によりきわめて多様に利用可能であるが、その普及には以下のような課題がある。

ISM バンドの限界

本稿で紹介した事例は、IEEE802.11b 2.4GHz ISM^{☆3} バンドを利用している。無線基地局と移動局は、相互認証によりリンクレベルでの干渉（誤接続による通信の搾取）を防止しているが、物理層での電波干渉は回避できない。IEEE802.11b では、CSMA による多重化が行われるため、IEEE802.11b の無線局同士では、干渉により実効速度の低下が発生することはあっても、接続性を失うほどの干渉は発生しない。しかしながら、2.4GHz ISM バンドは、電子レンジや他の通信方式、医療機器などとの共用周波数であることから、ITS などの本格的利用には、通信専用周波数の割り当てが望まれる。我が国においては、5GHz 帯や 4.9GHz 帯において専用的に利用できる周波数の割り当てが進んでいるが、周波数が高くなることにより、通信エリアが狭くなるというデメリットもある。

☆3 ISM=Industry Science Medical 産業、科学、医療用に割り当てられた周波数帯域であり、通信以外の電子レンジ、工業用機器、医療機器などと周波数を共用している。

期待される市場

最後に、IEEE802.11b 無線 LAN とモバイル IP を利用した移動体通信システムの利用が期待される市場シーンを以下に示す。

■ ITS 分野

移動車両のブロードバンド接続を実現することにより、道路管理の高度化や、緊急車両通信の高度化などが期待できる。また、将来において一般車両への通信サービスとして、カーナビゲーションシステムへの情報提供や、交通情報の供給、地域ガイダンスなども期待できるが、ビジネスモデルの側面からの検討がきわめて重要となる。

■ 鉄道通信

本稿のシステムでは、時速 300km を超える移動体にも適用可能なことから、新幹線のような高速鉄道車両に対するインターネット常時高速接続を実現することが可能となる。現在、駅などでホットスポット的なサービスが展開されているが、移動中の車両内にも同様のサービスが展開可能となる。

■ 溝内移動体通信、無人化施工

大型プラントやコンテナヤードなどの広い構内において、どこでも作業者や作業車両が基幹ネットワークに接続する環境を構築することが可能となる。

災害復旧工事などの危険地域における工事を、遠隔監視、制御による無人化工法により施工する取り組みがあるが、画像伝送、マニピレータ操作などを IP 通信に集約し利用することで、無人化施工システムの高度化が期待できる。

このほかにも、高速な移動体通信を廉価に構築、運用したいという需要は、さまざまな市場に潜在していると考えられる。今後は、より実用的な利用シーンの創造と普及に期待するところである。

参考文献

- 1) IEEE802LAN/MAN Standards Committee, <http://www.ieee802.org/>
- 2) <http://www.ietf.org/rfc/rfc3344.txt>
- 3) <http://www.mbassoc.org>

(平成 16 年 7 月 8 日受付)