

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

車内で電波を利用する

近年の携帯電話やスマートフォン、タブレット端末などの普及に伴い、鉄道車両内における、メール、インターネット、テレビ視聴などのニーズが急速に高まっています。現在、これらのサービスを利用するためには、一部のサービスを除き、沿線に設置された基地局（送信所）から送信された電波を窓越しに利用することがほとんどです。しかし、それらのサービスは、鉄道車両内で窓越しに利用することを想定して設計されておらず、その伝送品質を詳細に把握することができません。そこで、簡易な測定とシミュレーションにより、鉄道車両内における電波を利用した無線通信の伝送品質を推定する手法と、放送波を例とした車内の受信環境を向上させる手法について検討した結果を紹介しします。

はじめに

近年の移動体通信技術の発展は目覚ましく、いつでもどこでも通信を行うことができる環境が広がっており、携帯電話・スマートフォンなどの移動体通信の契約数は1億5000万件を超えています¹⁾。鉄道車両内においても、携帯電話やスマートフォン、タブレット端末など（以下、携帯端末など）によりメールやインターネット、テレビを利用する姿が数多く見られます。

携帯端末などは、電波を使ってデータの伝送を行っており、鉄道車両内で利用しようとする際の電波のやりとりには、大きく2つの方法があります。1つは、車外から窓越しに車内に侵入してくる電波を、お客様の携帯端末などで直接受信する方法です。もう1つは、車両に設置したアンテナで電波を一旦受信して、中継を行う方法です。

鉄道総研では、後者の方法により、鉄道車両内で電波を利用する場合のデータ伝送品質の評価手法やその品質を向上させる手法について研究を行いました。

公衆無線通信サービスを利用した車内への通信環境の提供

地上と鉄道車両内で無線による通信を行う際に、車両で一旦中継することを想定した、通信品質を評価する手法について紹介します。

この手法は、地上-車両間の通信に、通信事業者が提供する公衆高速無線通信サービスを利用することを想定しています。鉄道環境で公衆高速無線通信サービスを利用しようとした場合、沿線に設置されている基地局の位置やその仕様が公開されていないため、鉄道事業者側でサービスエリアや伝送品質を詳細に把握することは困難です。

そこで鉄道総研では、公衆高速無線通信サービスを含んだ車上の端末と地上に設置されたサーバー間の通信における伝送品質を予測し、その品質から導入したいアプリケーションを導入可能か否かを評価する手法を検討しました²⁾。

公衆高速無線通信サービスを利用した伝送システムの伝送品質予測

鉄道事業者が、公衆高速無線通信サービスを利用した車上の端末と地上



中村 一城
Kazuki Nakamura
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
主任研究員
[専門分野] 無線通信システム, EMC



川崎 邦弘
Kunihiko Kawasaki
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
室長
[専門分野] 無線通信システム, EMC



竹内 恵一
Keiichi Takeuchi
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
主任研究員
[専門分野] 有線通信, 接地, 誘導障害



河村 裕介
Yusuke Kawamura
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
研究員
[専門分野] 大規模問題, データ分析



川村 智輝
Tomoki Kawamura
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
研究員
[専門分野] データ分析, 接地, 誘導障害

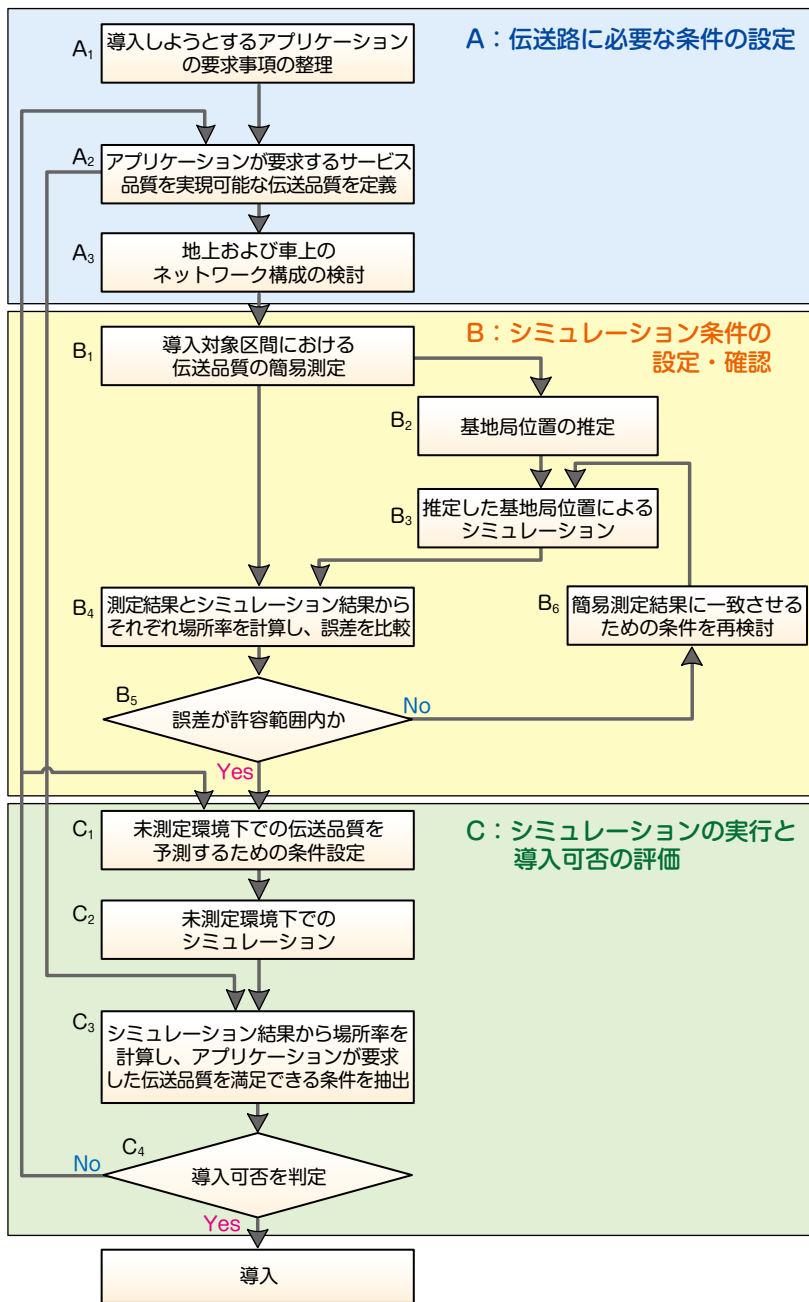


図1 伝送品質予測とアプリケーション導入評価手順

のサーバー間の伝送システムを設計しようとした場合、前述したとおり伝送品質を厳密に予測することは困難です。そのため、必要な品質を線区内で一定の割合以上確保できるかどうかという観点で評価することが望ましいと考えられます。

導入しようとする線区に対する所望の伝送品質を確保できる区間の割合(場所率)を用いて、高速公衆無線通信サービスを利用したアプリケーションの導入の可否を評価する手順を図1に示します。提案する手法では、3つ

のステップ(A~C)で伝送品質の予測(A₁~C₂)とアプリケーション導入可否の評価(C₃~C₄)を行っています。

伝送品質を予測する手順としては、まず鉄道事業者で把握できる要素(スループット(☞参照)や受信電力など)を測定します。例えば、スループットと受信電力の変動はおおむね相関関係にあることから(図2)、どちらかの特性を把握することで、もう一方の特性についてもその概要を把握することができます。

次に、簡易測定の結果から、おおよ

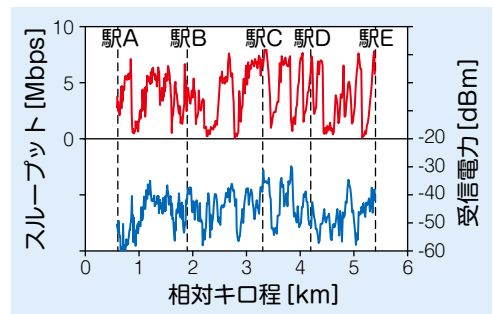


図2 スループットと受信電力の測定結果例

その基地局の位置を推定し、ネットワークシミュレーターによる伝送品質のシミュレーションを行います。このシミュレーションでは、列車の走行に伴う複数基地局の切り替えやフェージング(電波の受信レベルの変動)の影響、雑音の変動などを反映できるようにしました。

アプリケーション導入可否の評価

ここでは、車上で撮影した画像を指令や保守区などのサーバーに伝送するシステムを例として、図1に示す評価手順に従ってアプリケーション導入の可否を評価した事例を図3に示します。

この事例では、車上アンテナの位置による伝送品質の違いから、アプリケーションが導入可能かどうかを評価しています。評価の結果、全てのアンテナ位置で②中品質(標準画質)および③低品質(携帯電話用)の画像を伝送することはできるが、アンテナを屋根上に設置しても、①高品質(例えばハイビジョン画像)を伝送するために必要なスループット、遅延時間は確保できないと判定できます。このように、提案する手法を用いることで、所望のアプリケーションが導入できるかどうかを評価することができます。

ここでは、車上で撮影した画像を地上に伝送することを想定した例を示し

☞ スループット
単位時間当たりのデータ伝送量。

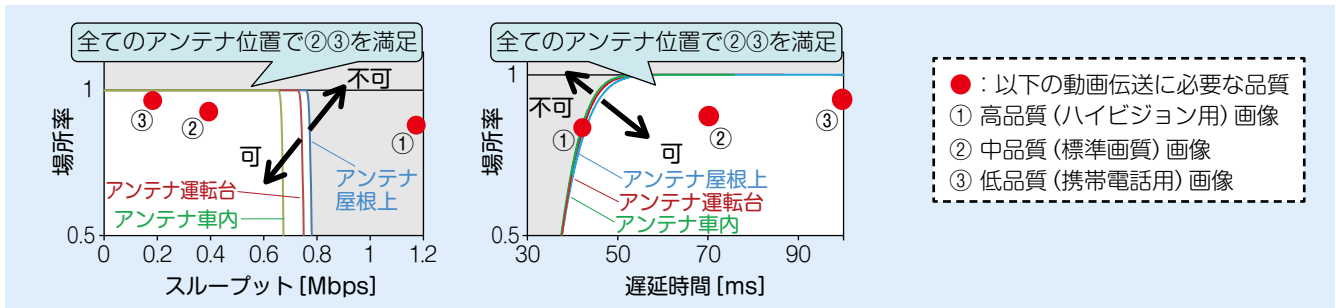


図3 アプリケーションの導入評価事例

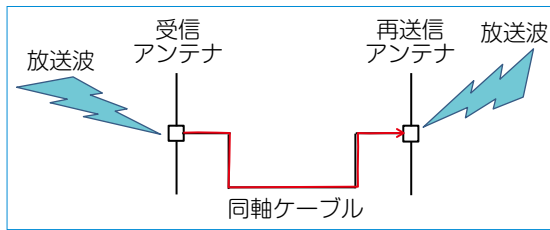


図4 無給電再送方式の構成例

ましたが、乗車しているお客様が車上に設置したアクセスポイント（簡易基地局）を通して、地上と通信する際の品質も、同様に評価することができます。

車内における電波利用環境の向上手法

次に、車外からの電波を車両に設置したアンテナで一旦受信して、車内に再送信することによって受信環境を向上させる手法について紹介します。

車内の受信環境を向上させようとした場合、車両で一旦受信した電波を増幅・再送装置により車内へ再送信する方法が最も有力な手法であると考えられます。近年、鉄道車両内で提供されている車内インターネット接続サービスも、この方法により一旦車両で電波を中継（変換）して、サービスが提供されています³⁾⁴⁾⁵⁾。この方法であれば、車内の受信環境について、鉄道事業者が設計することができます。

ところが、放送波の場合は、固定地点からの送信を前提としており、鉄

道をはじめとする移動体の車内において一旦受信した信号を一定レベル（微弱無線局といいます）を超えて増幅して再送信する装置の設置が、法律で認められていません（新幹線の車内で提供されているFMラジオの再送信サービスは微弱無線局の範囲内で行われています）。一方、地上波テレビ放送に使われている周波数帯は、FMラジオ放送の周波数帯に比べて、微弱無線局として認められている出力が低いため、ラジオ放送と同様の品質で再送信サービスを行うことができません。そこで、鉄道車両内で実現できる受信品質向上手法について、地上デジタルテレビ放送の移動体向け放送として提供されているワンセグ放送（☞参照）を対象として検討を行いました⁶⁾。

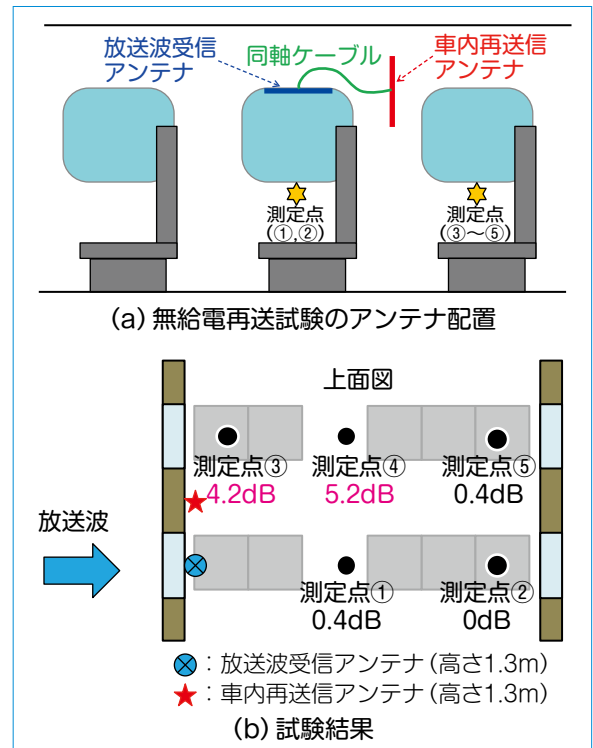


図5 無給電再送方式による受信電界強度の向上

無給電再送方式によるワンセグ放送の受信環境向上

前述したように、車内で増幅して再送信することができないため、増幅せずにそのまま再送信する方法（無給電再送方式）を提案しました。

提案する無給電再送方式の構成イメージを図4に示します。この手法は、受信アンテナを車上の放送波が受信しやすい場所に設置し、同軸ケーブルで接続した車内のアンテナで再送信する方法です。なお、同軸ケーブルが長くなると信号が大きく減衰して車内への再送信信号のレベルが小さくなってしまいうため、放送波の受信用アンテナと車内への再送信用アンテナの距離を短くする必要があります。

☞ ワンセグ放送

日本の地上デジタル放送は、1チャンネルを13個のセグメントに分けて伝送する方式となっており、そのうちの1つ（1セグメント=ワンセグ）を携帯端末での受信用に割り当てて、簡易動画、音声、データのサービスを提供しています。

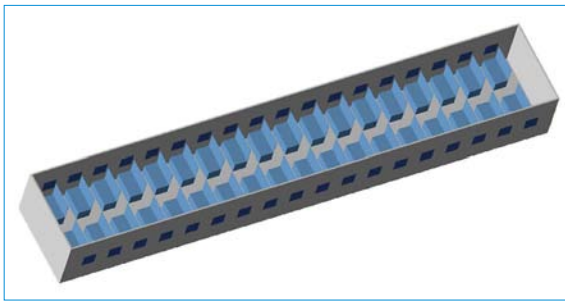


図6 車両内電波伝搬特性シミュレーションモデル

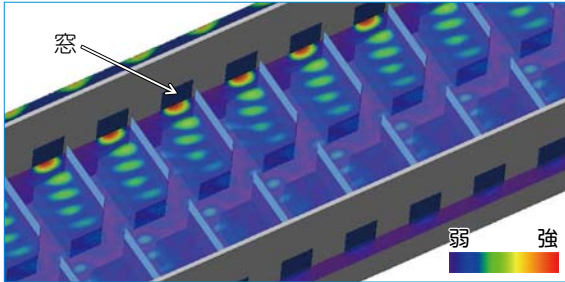


図7 車内におけるワンセグ放送波の伝搬例

提案した手法の効果を確認するため、実際の車両内にて無給電再送方式による実験を行いました。実験では、車外から疑似的に送信した放送波を車両の窓の内側に設置した標準ダイポールアンテナで一旦受信し、壁の内側に設置した標準ダイポールアンテナで放送波を再送信しました。試験時のアンテナ配置と、無給電再送方式の導入による受信電界強度の増加量を図5に示します。図5より、車内再送信用アンテナの近くにおいて、受信電界強度が向上しており(測定点③④)、無給電再送方式に効果があることが確認できました。

鉄道車両内におけるワンセグ放送波の伝搬シミュレーション

前章までに検討してきた車両内でワンセグ放送の受信電界強度を向上させるための手法の効果を車両全体で確認するため、時間領域差分法(Finite-Difference Time-Domain method: FDTD法)(参照)によるワンセグ放送波の鉄道車両内電波伝搬特性シミュレーションを実施しました。

放送波が、図6に示す車両モデルの側面から平面波にて入射するものと仮定した場合のシミュレーション結果を

の内側付近は、入射波が遮られ、電波の弱いエリアとなっていることが分かります。

次に、本シミュレーション手法を用いて、無給電再送方式により、車内全体の受信品質を向上させる方法について検討を行いました。その結果、送受信アンテナの利得の合計を20dBi以上とすることで、放送波の入射側とは反対側の座席まで、大幅な増幅効果がみられ、所望受信電界強度以上とすることができることが分かりました(図8)。しかし、提案した手法で受信レベルを向上させることができる範囲は限定されることから、車内全体の受信環境を向上させようとした場合には、受信アンテナと再送用アンテナを、全ての窓ごと、もしくは1つおき程度の間隔で設置することが望ましいといえます。

なお、紹介した手法は車外から到来する電波に対して有効であり、ワンセグ放送だけでなく、ほかの放送や通信に対しても適用することができると考えています。

時間領域差分法

解析したい領域全体を細かい領域に分割して、時間領域で解く計算法。

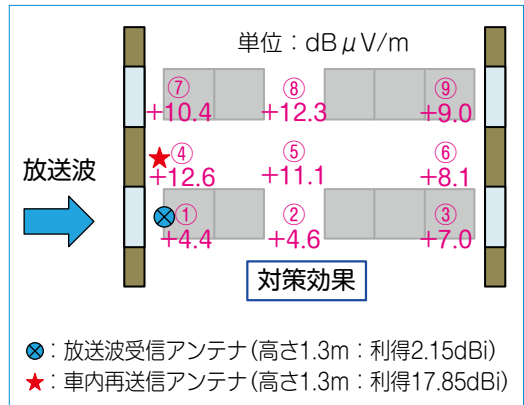


図8 FDTD法による提案手法の効果の予測結果

図7に示します。

おわりに

この結果より、窓の延長線上には放送波が侵入している一方で、窓と窓の間の壁

鉄道車両内で公衆無線通信サービスを利用する場合の品質評価方法やワンセグ放送を対象とした受信品質の向上手法について紹介しました。

鉄道車両内での電波利用については、今後も需要が増えると考えられます。快適な鉄道の旅を楽しんでいただけるように、今回紹介したような手法を活用して鉄道車両内のよりよい電波利用環境の構築を支援していきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 総務省：電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表(平成27年度第1四半期(6月末)), 2015
- 2) 中村一城, 河村裕介, 川崎邦弘, 関清隆, 松原広：鉄道における公衆高速無線通信サービス導入時の伝送品質評価手法, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.47-52, 2012
- 3) 晝間良雄：つくばエクスプレス車内無線LAN, 鉄道と電気技術, Vol.17, No.4, pp.32-36, 2006
- 4) 杉山寛之：東海道新幹線車内インターネット接続サービスの導入, 鉄道と電気技術, vol.19, no.11, pp.10-14, 2008
- 5) 例えば, 小田急電鉄株式会社：無料Wi-Fiサービス「odakyu Free Wi-Fi」を開始します, 小田急電鉄ニュースリリース, http://www.odakyu.jp/program/info/data.info/8192_2258560_.pdf, 2014
- 6) 中村一城, 竹内恵一, 山口大介, 川村智輝：鉄道車両内におけるワンセグ受信環境向上手法の検討, 鉄道総研報告, Vol.28, No.11, pp.37-42, 2014