

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信
情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

無線の伝送品質を予測する

携帯電話や無線LANなど、最先端の無線通信技術を手軽に利用できるようになり、いつでもたくさんの情報を送受信することができます。鉄道でも、無線を利用したシステムが多数導入されており、さまざまなアプリケーションへの応用が期待されています。無線を使って情報を相手に確実に届けるためには、無線通信システムをきちんと設計する必要があります。ここでは、無線の伝送品質を確保するために欠かせない無線回線設計の考え方や、鉄道総研が開発している無線伝送品質のシミュレーターを紹介します。



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,
EMC

無線通信システムの概要

無線通信システムとは、音声や画像、データ等の情報を、無線を使って離れた場所に伝送するシステムで、その多くは電波を利用しています。無線通信システムは、送信したい情報を電波に乗せるための送信機と、電波から情報を取り出すための受信機、そして電波を空中に放射、あるいは空中の電波をとらえるためのアンテナから構成されています(図1)。

た情報に対してどのくらい忠実かを表すための指標です。音声などをアナログ信号のまま送る場合には、SNR(信号電力対雑音電力の比)や、SINAD(雑音のほか、歪成分の大きさも含めて音質を数字で表したもの)などが使われています。音声や画像などをデジタル化してデータとして送る場合には、受信したデータに含まれる誤りの数(ビット誤り率、フレーム誤り率など)や、無くなってしまいうデータの数(フレーム損失率、パケット損失率など)、そして伝送の遅れ時間(伝送遅延時間、ジッタなど)が使われます。

無線の伝送品質

伝送品質とは、受信機で電波から取り出された情報が、送信機に入力され

これらの伝送品質は、送信機から届

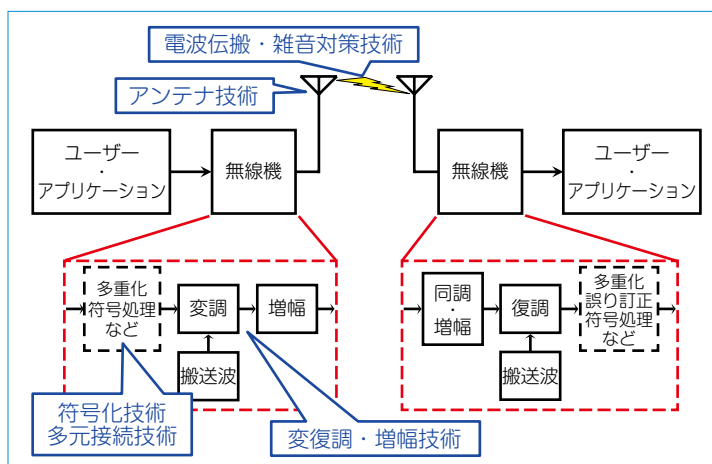


図1 無線通信システムの基本的な構成と使われている技術

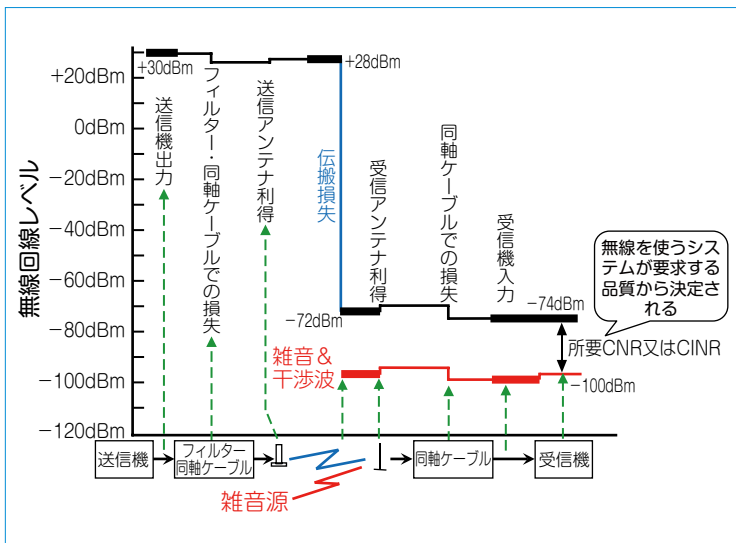


図2 無線回線設計とレベルダイヤの例

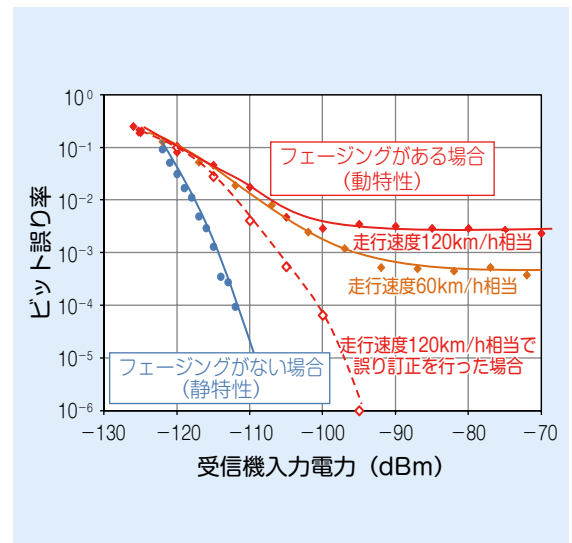


図4 フェージングによるビット誤り率の劣化 (ビット誤り率=誤ったビット数/伝送したビット数)

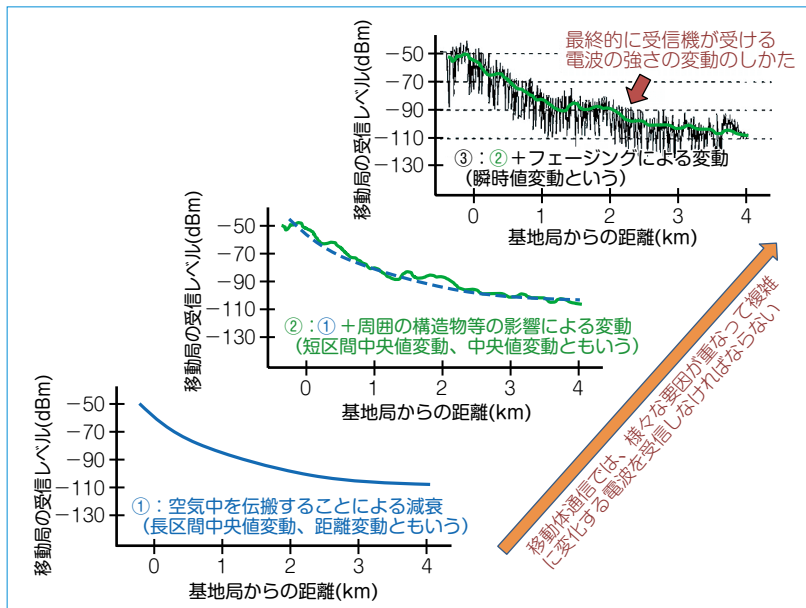


図3 電波伝搬の特徴とフェージング

いた電波の強さ (C) と、雑音 (N) や干渉波 (I) の強さとの比によって変わります。これらの比は、CNR (搬送波電力対雑音電力比) や、CINR (搬送波電力対干渉波電力・雑音電力比) といった値で示されますが、伝送品質を高く保つためには、これらの比が大きい値になるようにしなければなりません。このCNR (あるいはCINR) とビット誤り率などの伝送品質との関係は、使用する無線機の変復調方式や符号化の方式などによって決まります。

無線回線設計

無線通信システムをつくるときには、使う人やアプリケーションが必要とする伝送品質が、使いたいエリア (= サービスエリア) の中できちんと得られるよう、無線機の仕様と性能、アンテナの性能や配置を適切に設計する必要があります。これを無線回線設計と呼びます。無線回線設計を行うには、まず必要なサービスエリアと伝送品質が定義されている必要があります。例えば、新幹線列車無線の指令通話用に対して

は、サービスエリアは全線の99.99%、伝送品質はSNR ≥ 40 dBとされており、無線式列車制御システムの制御電文の伝送用に対しては、サービスエリアは全線の100%、伝送品質は電文の損失率 $\leq 10^{-3}$ とされています (値は一例)。

伝送品質はCNRやCINRによって変化しますので、無線回線設計では、サービスエリアから決まる伝送距離において、送信機から送信された電波の強さと、受信機に入ってくる雑音や干渉波の強さの比が所望の伝送品質が得られる値になるように、送信機・受信機・アンテナの仕様、基地局配置 (アンテナを置く位置や間隔)などを設計します。図2は、レベルダイヤと呼ばれるもので、送信機の出力から受信機の入力に至るまでの電波の強さの変化をグラフとして描いたものです。

無線回線設計を行ううえで、最も重要で難しい作業が、送信アンテナ～受信アンテナ間での伝搬損失と、雑音や干渉波の強さの見積もりです。さらに、列車～地上間のような移動体通信の場合には、CNRの大きさだけでなく、フェージングと呼ばれる受信レベルが非常に激しく変動する現象も考慮する必要があります (図3)。フェー

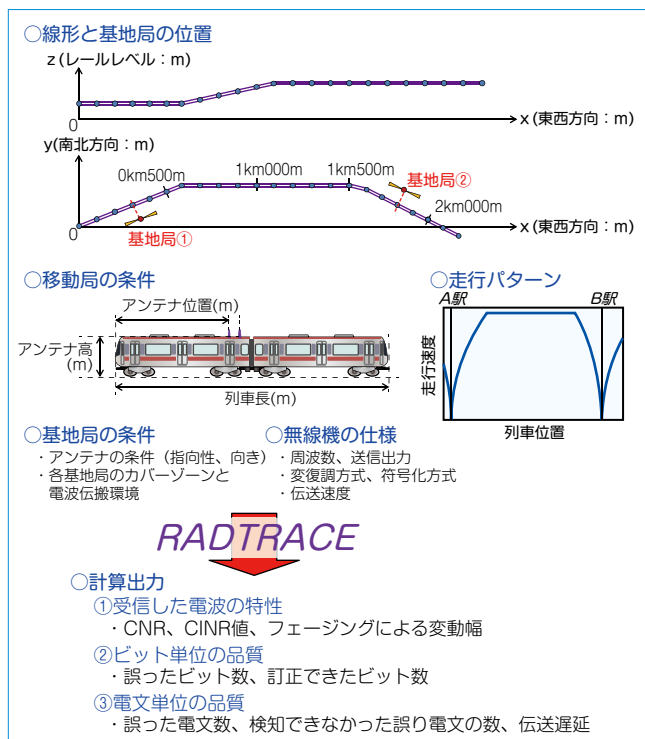


図5 RADTRACEの入力パラメーターと計算出力

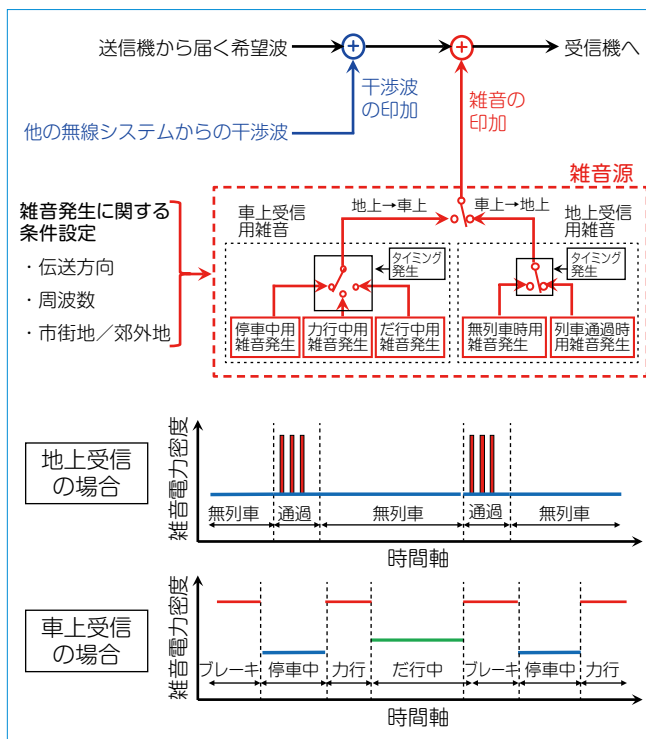


図7 RADTRACEの雑音と干渉の計算モデル

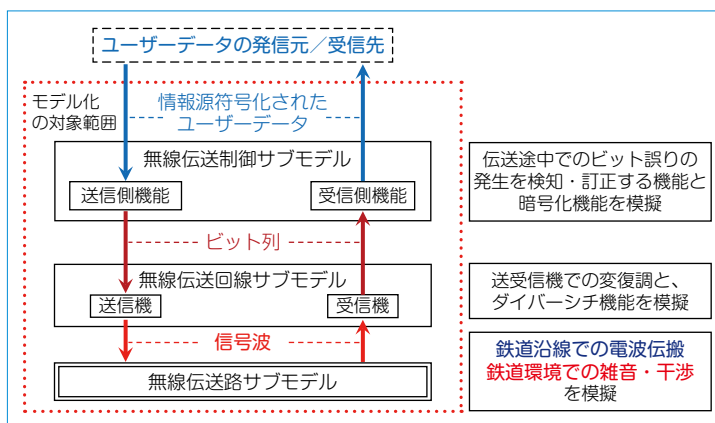


図6 RADTRACEのシミュレーションモデル

フェージングによる受信レベルの変動の速さは、使う電波の波長(=光速/周波数)と移動体の速度の比で決まり、周波数が高いほど、また移動体速度が速いほど、受信レベルの変動が早くなります。フェージングがおきると、受信レベル

を上げて伝送品質が良くならない現象(フロア現象)が現れます(図4)。これを解消するためには、誤りを訂正する技術やダイバーシチ(☞参照)などの対策を導入する必要があります。

☞ ダイバーシチ

2つ以上のアンテナを用いて電波を受信することによって伝送品質を改善する方法。アンテナを空間的に離して配置する空間ダイバーシチ、周波数が異なる電波を受信する周波数ダイバーシチ、異なる方向からくる電波を受信する角度ダイバーシチなどがある。また、最も強く受信されたアンテナからの信号を使う(選択合成)、複数のアンテナからの信号を合成して使う(等利得合成、最大比合成)など、受信した信号の合成方法にもさまざまな方式がある。

鉄道用無線データ伝送回線シミュレーター【RADTRACE】

電波の伝搬損失は、周囲の状況、電波の使用条件、送受信点の移動速度など、多くのパラメーターが組み合わさって大きく変化するため、正確に見積もることは大変困難です。そのうえ、雑音や干渉波による影響を考慮して所望の伝送品質が確保できるように設計する作業は、電波に関する多くの知識と経験が必要で、また時間とコストのかかる伝送実験を何度か実施する必要もあります。そこで、鉄道総研では、誰でも無線回線設計を効率的に行えるよう、無線機の仕様・性能と沿線の伝搬環境、列車の走行速度などを入力することにより、無線の伝送品質を予測計算するシミュレーター「RADTRACE」¹⁾²⁾を2007年度から開発してきました(図5)。このシミュレーターでは、無線通信システムを図6に示すような3つのサブモデルに分けて、無線機の中の符号化・復号化と変復調の機能、電波の伝搬過程での現象を計

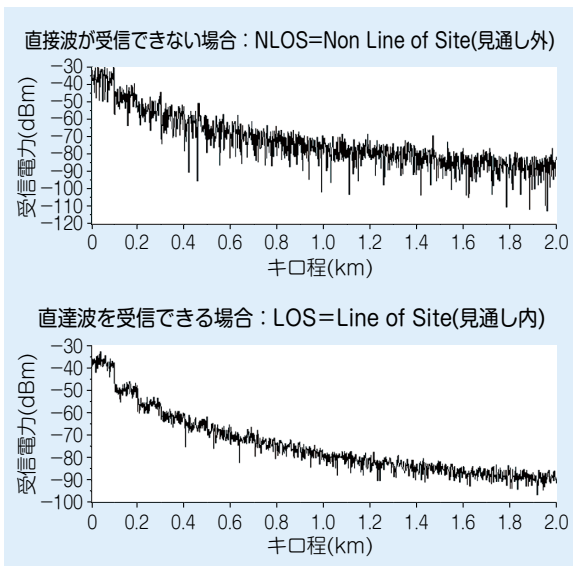


図8 RADTRACEで再現したフェージングの例

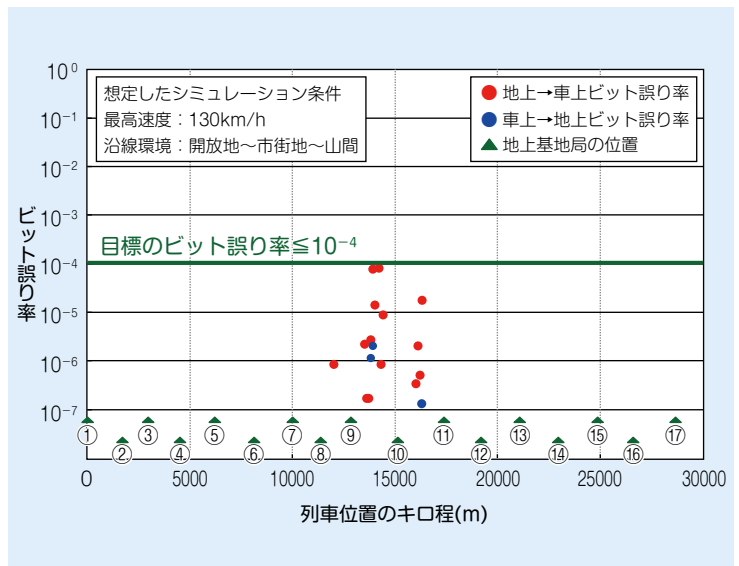


図9 シミュレーション結果の例

算式としてモデル化し、伝送品質の予測を行います。

RADTRACEの最大の特徴は、電波伝搬過程を計算する無線伝送路サブモデルにおいて、鉄道沿線の環境を考慮できるように工夫をしている点です。鉄道沿線では、列車の走行や沿線の電波環境の影響によって伝送品質が変動します。このため、雑音に関しては、実測調査に基づいて、図7に示すように、列車の運転モードや列車通過に伴う時間変化を再現できるモデルを実装しています。さらに、沿線に存在する他の無線機からの干渉や、自システム内の同一周波数を使う無線機同士の干渉も考慮できるようになっています。

なお、電波伝搬による減衰やフェージングは、一般的な確率分布による手法を用いて計算しており、送受信点間が全く見通せない条件（携帯電話の基地局の設計時によく使われます）から、送受信点間が見通せる条件（鉄道はこのような条件の方が多い）まで柔軟に再現できます（図8）。また、レイトレーシング法と呼ばれる三次元コンピューターグラフィックの手法を応用した外部の高度な電波伝搬シミュレーターの計算結果や、実測結果を読み込んで、

伝送品質を計算することもできます。

RADTRACEによるシミュレーション結果の例を図9に示します。図9は、全長約30kmの線区を対象に、沿線に基地局を17局配置した場合に列車上で受信されるデータのビット誤り率を計算した結果です。この例では、全区間において、ビット誤り率が目標値である 10^{-4} 以下となっており、無線回線設計が妥当であることが確認できます。

今後の展開

RADTRACEは、無線式列車制御システムを構成する無線通信ネットワークの設計支援に適用することを目的に開発を始めました。無線式列車制御に利用される無線システムには、鉄道専用に割り当てられた電波を使って狭帯域で小容量の伝送を行うもの（JR東日本のATACSはこのタイプ）や、無線LANのように広帯域で大容量の伝送を行うもの（CBTCで使われる）などさまざまなものがあります。RADTRACEも代表的な無線システムに対応できるようになっていますが、さらに多くの無線方式に対応できるように、現在も機能の拡張を進めています。

また、将来的には、無線式列車制御

以外の鉄道用の無線通信システムを扱えるようにし、複数の無線システムが混在する、より現実的な環境条件の下でのシミュレーションが行える総合的な鉄道用通信回線シミュレーターに発展させることを目指しています。

このようなシミュレーターが利用できるようになれば、専門的な知識がなくても、適切な無線システムを短期間で効率よく設計でき、また実機や実車による実験も必要最小限の期間とコストで済ませることが期待できます。

今後も、現実とシミュレーションとの差異を検証しながらシミュレーターの精度と機能を向上させ、実際の設計作業に導入して活用いただけるよう、開発を進める予定です。RRR

文献

- 1) 中村一城, 川崎邦弘, 関清隆: 鉄道沿線における無線伝送回線シミュレーターの開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.3, pp.47-52, 2010
- 2) 菅原宏之, 川崎邦弘, 祇園昭宏, 中村一城: 無線式列車制御システム用通信ネットワーク性能評価シミュレーターの開発, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.35-40, 2012