TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

ワイヤレスメディアの車載受信性能に関する評価手法の研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-01-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小松, 覚 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1363

「ワイヤレスメディアの車載受信性能に関する評価手法の研究」

小松　覚

学位論文の要約

近年，車を取り巻くワイヤレスの普及はめざましく，図 1-1 に示すような多種多様なメディアが存在する．地上系のワイヤレスメディアとしては，エンターテイメントシステムのアナログ AM/FM ラジオ放送と地上デジタル放送があり，交通情報を配信している Vehicle Information and Communication System(VICS), Dedicated Short Range Communications(DSRC), 高速道路の自動課金として Electric Toll Collection System(ETC), 予防安全システムのミリ波レーダシステム，さらに研究開発が進められている高度道路交通システムとして Intelligent Transport Systems(ITS) がある．また広域通信メディアとしては車載携帯電話システムがあり，高速大容量化が急速に進んでいる．一方，衛星系のワイヤレスメディアにはナビゲーションシステムの Global Positioning System(GPS)などがある．

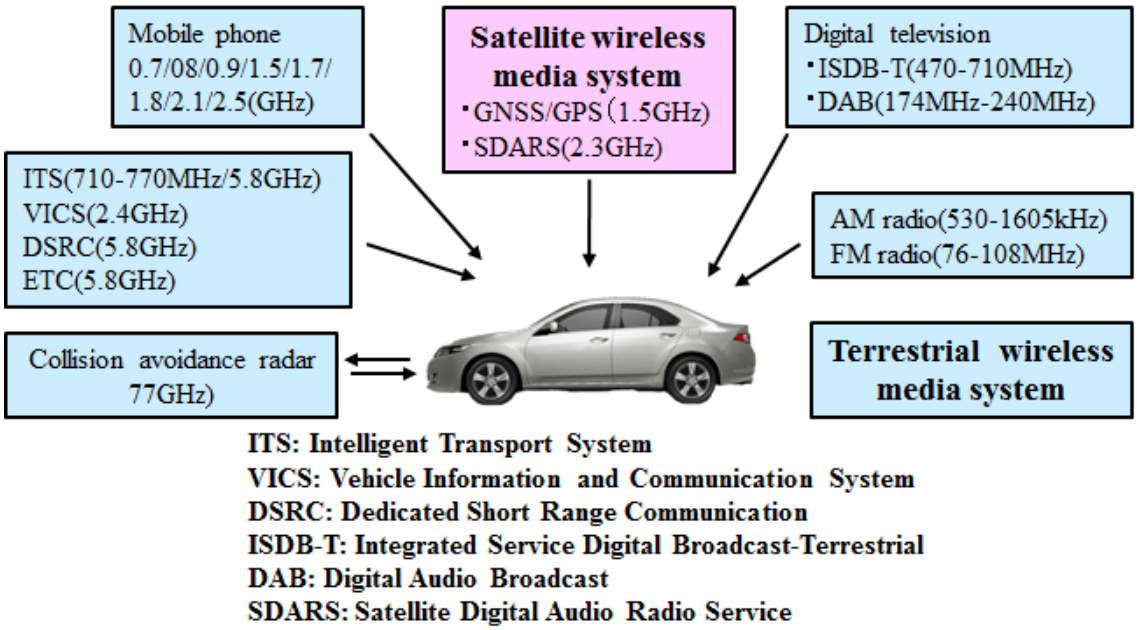

図 1-1 車におけるワイヤレスメディアの現状

これらワイヤレスメディアの特徴は，周波数が AM 放送の 531KHz からミリ波レーダの 77GHz まで，広い周波数帯域を占有していることである．従って，これ

らのメディアから必要な情報を車に取り込むには，図 1-2 に示すような多くのアンテナをルーフに配置する必要があるが，アンテナの林立は車のデザインから商品性の低下を招く．このため，メディアごとにアンテナを準備して，図 1-3 に示すような実証実験で車載受信性能を評価し，メディアごとのアンテナ設計とアンテナのレイアウトに関して最適化を計る必要がある．

図 1-2 車載アンテナレイアウトに関する最適化前の様子

図 1-3　実証実験に関する地域例

一方，ドライバーは各メディアにアクセスし，運転に必要な情報をリアルタイムに入手している．例えば，広域と狭域における詳細な気象情報，及び緊急な災

害情報などについては，ラジオと TV 放送を介して情報を入手し，ドライバーの運転情報として活用している．また GPS を利用したナビゲーションシステムによって，ドライバーは常に自車位置を把握できるようになり，運転中のドライバーの精神的な負担が大幅に減少して交通事故の低減に役立っている．上述より，ワイヤレスメディアの情報はドライーにとって有益であり，今後も車社会においてその必要性は益々増加していくと考えられる．従って，車を取り巻くワイヤレスメディアにアクセスする技術は，車の開発において重要な技術となっている．

一方，地上系メディアのアナログ FM、地デジなどの車載受信性能の評価は，実証実験の繰り返しにより行われてきた．しかしながら，実放送波を使い実証実験の繰り返しによる定量評価は，下記に示す課題から容易ではなかった．

(1)市街地などにおける実放送波は，周囲の建物に反射してマルチパス波となる．
(2)走行中における放送波と車両の位置関係が変化し，さらに路面からの反射波の大きさが瞬時的に変化して到来する．
(3)交通状況によって車を取り巻く周囲の電波環境特性が変化する．

従って，放送波を受信する電波環境は，自車位置ごとに受信特性が大きく変化するマルチパスフェージング環境となるため，実証実験による車載載受信性能の評価は，電波環境特性の再現性に関し課題があった．さらにアナログ FM においては，上述のフェージング環境における車載受信性能と，スピーカから出力される音質の関係を定量的な評価として対応付けることが困難であった．このため，走行中の車載受信性能に関する音質評価については，限られた被験者による主観的な評価に陥り，音質評価に関し客観性の点から課題があった．

衛星系メディアである GPS の受信性能の評価は，自車の位置精度を評価指標として実証実験によって検証してきた．しかしながら, GPS は複数の周回衛星を使った測位システムであるため衛星配置が測位時刻ごとに変化し，測位時刻が変わると同じ場所で測定しても位置精度が変わる．また市街地の上空にある GPS 衛星からの電波は，建物に反射してマルチパス波となって到来するため位置精度が大きく変わる．一方，市街地の交通量から，長時間にわたる実証実験は容易でなかった．このため，長時間にわたる位置精度の検証報告は少なく，長時間にわたる位置精度の検証に課題があった．

今日における開発環境は，デジタル技術を駆使して著しい進歩を見せている．しかし，総合的な車載受信特性の評価段階になると，実証実験による評価検証の繰り返しに陥り，評価検証に関する再現性と客観性の点から課題があった．このため，現状の車を取り巻くワイヤレスメディアの開発概要と，評価手法に

関する先行研究の詳細について，それぞれ第 2 章と 3 章で述べる．

本研究の目的は，電波環境特性が変動する実証実験に代わり，仮想電波環境特性，及び実測した電波環境特性を PC 上に構築して，机上でワイヤレスメディアに関する車載受信性能の評価手法を構築することである．具体的には，市街地などの交通状況から実証実験が難しい電波環境に代わって，机上で仮想電波環境特性を用いて車載受信性の評価を可能とする．同時に車載アンテナ特性と受信機特性など，車載特性に関するパラメータ変化に対しても，車載受信性能の評価が可能となり，開発効率の上でも期待できる．さらに，従来の限定された実証実験環境だけではなく，仮想電波環境特性を用いたシミュレーションによって，より広範囲な電波環境における定量評価と物理的なメカニズム、及び受信性能の予測が可能にすることを目指した．

近年，無線分野では無線端末の高速大容量化に伴い，複数のアンテナを使って送受信を行う Multi-Input Multi-Output(MIMO)と呼ばれる技術が使われている．これはマルチパス環境を利用して複数の独立な伝搬路を手に入れることによって，マルチストリーム伝送による大容量通信を可能とするものである．この MIMO アンテナの評価では，アンテナ特性が実際の電波環境によって大きく影響を受けるため， 実際の電波環境で評価すべきである．しかし，実験の困難性や再現性の課題から，無線端末などの周辺に実際の電波環境を模擬した状態を構築し, Over the Air (OTA)と呼ばれる電波を飛ばして無線端末の RF 性能を評価する手法が盛んに使われるようになってきた．このため地上系のワイヤレスメディアに関する車載受信性能の評価については，上述の手法を応用して PC 上に実際の電波環境特性を再現できる機能と，大型暗室で測定した車載アンテナ指向特性を記録する機能を持たせ，これらの特性を用いて畳み込み演算をすることにより，任意の電波環境特性における車載受信特性の評価を可能にした評価手法を開発した(Two-Stage 法と呼ぶ).

ここで本研究を進めるにあたり，地上系ワイヤレスメディアとしてアナログ FM を選び，衛星系ワイヤレスメディアとして GPS を選んだ．また FM 放送波の受信特性に関しては，音質評価に重要な影響を与えるマルチパスひずみに着目し，このマルチパスひずみに関する評価指標として，マルチパスひずみ率を定義した. Two-Stage 法とマルチパスひずみ率を用いることにより，任意の FM 電波環境特性において，再現性のある車載受信特性の評価を可能にした．FM に関する実際の電波環境特性の測定には，仮想アレーアンテナを用いた Multiple Signal Classification (MUSIC 法と呼ぶ) を新たに開発した．

電波環境特性の推定法として，従来からアレーアンテナを使った MUSIC 法があり, Direction of Arrival(DOA)、Time of Delay(TOA)などを同時に推定できる特長がある．しかしながら，この手法を用いて FM 放送波の到来波推定をするには,

長いアレーアンテナと沢山のアンテナ素子数が必要で，さらに各アンテナ素子の性能変動に対し長時間の補正を必要する課題があった．この課題を解決するため，二本のアンテナで構成する仮想アレーアンテナを用いた MUSIC 法を実現した．この手法によって，アレー素子数とサブアレー素子数の組み合わせを任意に作り出す構成が可能となり，市街地におけるマルチパス波の検出が実現できた．また 3D 地図とレイトレーシング法を用い，実際の市街地の受信環境をモデル化することにより DOA に関する数値計算を実施し，仮想アレーアンテナを用いた MUSIC 法の妥当性を検証できた．

一方，ナビゲーションの世界的な普及と共に，グローバルセンサーとして GPS を代表とする衛星測位の重要性が広く浸透し，また ITS においても其々の自車位置情報をワイヤレスで繋ぎ自動運転に利用しようとしている．しかし，都市部においてはビルの遮蔽によって生じる可視衛星数の減少と，マルチパス環境などによる位置精度の劣化と利用範囲の低下が避けられない．このため 3D 地図とレイトレーシング法を用いて，位置精度と利用率の変化をシミュレーションによって予測しようとする研究が進められている．このため衛星系のワイヤレスメディアに関する車載受信性能の評価については，上述の手法を応用して 3D 地図とレイトレーシング法を使い，位置精度に関するシミュレーションを実施した．また実測データの取得に際しては，高精度 3 軸ジャイロセンサーと Real Time Kinematic(RTK 方式)を用い，これらのセンサーをテスト車両に搭載して高精度位置計測システムとして実現した．高精度位置計測システムの位置精度は，X 軸, Y 軸共に±0.12(m)であり，これを自車位置における基準座標の原点とすることにより，市販 GPS 受信機とシミュレーションで得られるそれぞれの自車位置は，この基準座標からの位置精度として表した．実証実験とシミュレーションに関する位置精度については，基準座標と時刻を一致させることによって比較することできた．シミュレーションと実証実験において，時刻と場所を一致させた条件の基で，位置精度を比較して，シミュレーションの精度を検証し，シミュレーションで様々な場所と時刻での精度予測ができるようになることを目指した．

図 1-4 に，地上系と衛星系のあらゆるワイヤレスメディアの評価を可能とする，統合評価手法の構成図を示す．これは Two-Stage 法と呼ばれる構成であり，車載アンテナを計測する第 1 ステージと，実際の電波環境の特性を推定し，この特性を PC 上に生成する第 2 ステージから成立している．各メディアおいて実際の電波環境特性を推定する手法としては, (A)3D 地図とレイトレーシング法を用いたシミュレーション, (B)実証実験をベースにした MUSIC 法などが考えられる．これらの手法は互いに補完的な関係であるが，実際の電波環境と測定条件などによって最適な推定手法を選ぶことになる．

入力信号にはそれぞれのメディアに適した変調信号を用い，出力端末にはソフトウエア受信機を用いることによって，地上系と衛星系のあらゆるメディアに関するアプリケーション層の評価も可能となる．
従って，図 1-4 に示す統合評価手法の構成を用いることにより，今後の車々間通信など ITS システムの研究開発に適用できると考える．

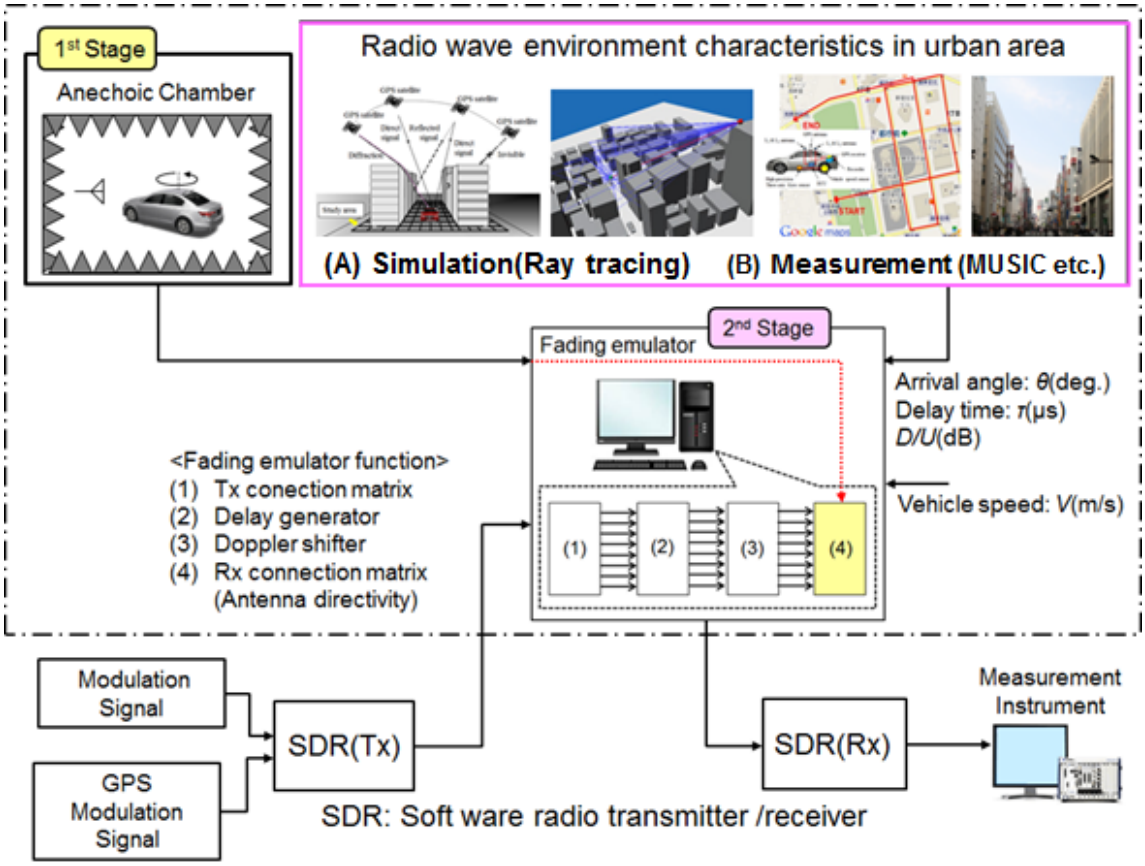

図 1-4 車のワイヤレスメディアに関する評価手法の構成図
(地上系と衛星系に関する評価手法の統合)

本論文は第 1 章として本研究の背景と目的，及び構成について述べる．
第 2 章では，車のワイヤレスメディアに関する開発概要を述べ，車のワイヤレスメディアに関する現状，開発の実例としてアナログ方式と 地デジ方式の車載テレビ受信システムに関する開発工程を示し，開発における技術課題を提示する．また本研究における地上系ワイヤレスメディアの中心テーマである FM 受信に関する基礎，及び基本特性とマルチパスひずみについて述べる．また衛星系ワイヤレスメディアの中心テーマである GPS に関する測位の基礎，GPS 測位の誤差と要因, GPS 衛星配置と航法メッセージについて述べる．

第 3 章では，車のワイヤレスメディアに関する評価手法として，地上系メディアに関する先行研究の動向と，課題について述べる．この課題に対する解決手法として，Two-Stage 法を用いた評価手法の研究動向を示し，Two-Stage 法を用いた FM 受信への応用，手法の構成と性能検証について述べる．次に衛星系メディアである GPS に関する評価手法の先行研究の動向と課題について述べる．この課題に対する解決手法として，高精度位置計測システムを用いて自車位置における基準座標を作り，この基準座標を基にして 3D 地図とレイトレーシング法を用いたシミュレーションにより位置精度を算出する．実証実験では，シミュレーションと時刻，場所，基準座標を同一条件にすることによって位置精度を実測する．

第 4 章では，高分解能な到来波推定法として従来から用いられてきた，MUSIC 法の原理と課題について述べる．この課題に対する解決手法として，仮想アレーアンテナを用いた MUSIC 法を示し，本研究における仮想アレーアンテナを用いた MUSIC 法による FM 放送波の到来波推定への応用，手法の原理と構成，特長，及び動作検証について述べる. MUSIC 法のアルゴリズムの動作検証は，PC 上に任意の到来方向と遅延時間を有する到来波モデル作成し，MUSIC 法を用いてこの到来波モデルを推定することにより実施する．

第 5 章では，仮想アレーアンテナを用いた MUSIC 法により，披露山公園(逗子)と Bakersfield(US)，及び東京海洋大キャンパスにおける到来波推定の結果を示す．市街地における到来波の推定を正確に行うため，相関抑圧処理として(1)SSP の適用なし，(2)SSP の適用あり，(3)MSSP の適用ありに分けて，到来方向と遅延時間に関する相関抑圧効果を比較する．

第 6 章では，本研究で提案した評価手法を用いた評価結果について述べる．地上系メディアのアナログ FM の評価に対し, Two-Stage 法を用いることにより，仮想電波環境特性と実際の電波環境特性における FM のマルチパスひずみ率の評価結果について説明する．

衛星系メディアの GPS の評価に対して，実証実験と 3D シミュレータを用いることにより，測位率と測位誤差，及び様々な電波解析条件に対する評価結果について説明する．

第 7 章では，本研究の結論と今後の研究課題について述べる．