

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560463

研究課題名(和文)小セル構成のための傾斜地伝搬損失補正法の研究

研究課題名(英文)A study of correction method for path loss in a sloped area for small cell structure

研究代表者

市坪 信一(Ichitsubo, Shinichi)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30457452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：携帯電話システムの無線回線設計のためにマイクロセル内にある傾斜地での伝搬損失の推定方法を検討した。基礎データを取得するために、岡山市内の2地区、広島市内の3地区、北九州市内の4地区で傾斜地の伝搬損失を測定した。送受信の角度をパラメータとした4つの推定法を提案した。測定データを用いて提案方法の有効性を検証し、大まかな推定ができることを明らかにした。今後の推定精度向上のためには実際の傾斜地の状況をさらに推定法に反映させることが必要であることも明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Path loss prediction method for a sloped area in microcell was examined for radio link design of the mobile communication systems. To obtain foundation data, path losses of sloped areas were measured in 2 districts in Okayama, 3 districts in Hiroshima and 4 districts in Kitakyushu. We proposed four prediction methods which used the angle parameter of base station or mobile station. The validity of proposed methods was verified based on the measurement data, and it was cleared that those methods can predicted a path loss roughly. For the future improvement of prediction accuracy, it was cleared that the more situations of the real sloped area was necessary.

研究分野：電波伝搬

キーワード：通信工学 通信方式 電波伝搬 移動通信 伝搬損失 傾斜地

1. 研究開始当初の背景

日本の国土は7割が森林であり山や丘陵地が多い。このような傾斜地にも市街地や住宅地が広がっており人々の生活圏になっている。一方、携帯電話システムは日常生活でのインフラとなっているため、このような傾斜地をサービスエリアとすることは重要な課題である。しかし、携帯電話システムの設計では電波伝搬特性が不可欠であるが、傾斜地エリアに対する特性が明らかでない。そこで、傾斜地での無線回線設計を行うためには、傾斜地での伝搬損失推定が必要となる。

従来から携帯電話システムにおける伝搬損失の推定には奥村-秦式等が活用されてきたが、基本的に平坦な地形を対象としてきた。これは、人口密度の高い都市部は一般的に平坦な地形であるためである。伝搬損失を推定する奥村カーブの中には、平地の伝搬損失から丘陵地での伝搬損失を推定する丘陵地補正が示されている。しかし、この補正は1つの基地局がカバーするサービスエリアが数kmから10km程度と広いマクロセルを対象にしており、傾斜角度の範囲も $-1 \sim +1^\circ$ と小さい。近年では周波数の有効利用を図るためにサービスエリアが1km以下のマイクロセルが用いられており、このセル内に存在する傾斜地の傾斜角度は数度と大きい。このため、奥村カーブの丘陵地補正をマイクロセルに適用することができない。また、マイクロセルを対象にした傾斜地補正の検討は以前にはほとんど行われていない。このため、傾斜地での伝搬損失の推定方法が望まれている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、携帯電話システムの無線回線設計のためにマイクロセル内にある傾斜地での伝搬損失の推定方法を確立することである。周波数は携帯電話で用いられるマイクロ波帯を対象にして、また、傾斜地には市街地や住宅地が広がっていて民家やビル

が多数存在する環境を対象にした。

3. 研究の方法

平地の伝搬損失が推定可能であるという前提で、平地の伝搬損失を補正することによって傾斜地の伝搬損失を推定する手法を用いた。平地の伝搬損失は一般的に基地局高、送受信間距離、周波数といったパラメータを用いて推定できる。傾斜地のための補正值を求めるために角度のパラメータに着目して、角度と補正值とを関連付ける方法を検討した。図1に角度のパラメータを示す。図1は大地上に平地と傾斜地があり、基地局が平地上にあり、移動局が傾斜地にある場合である。角度のパラメータとして仰角 θ_m 、入射角度 θ_c 、差分の角度 θ_{md} を検討対象にした。

実環境での測定データを用いて角度パラメータと補正值とを関連付けることを考えた。このために、各地の傾斜地で伝搬損失測定を実施した。図2に測定を行った主な傾斜地の写真を、表1に傾斜地の諸元を示す。測定を行った傾斜地は図2も含めて、岡山市内の半田山と津高台、広島市内のあさおか台、大字伴、第二竜王団地、北九州市内の志井鷹羽台、椎ノ木町、八幡東、福岡県内の古賀市で、計9か所である。測定方法は、商用の基地局から送信されている共通パイロットチャネルをモニタする方法や実験用電波を送信して受信する方法である。

実際の環境で測定する以外に、傾斜地のミニチュアを作製してそこで伝搬損失を測定するスケールモデル手法も行った。

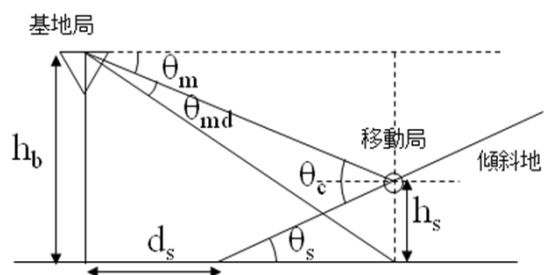


図1 傾斜地伝搬での角度パラメータ



(a) 半田山 (岡山)



(b) あさおか台 (広島)



(c) 志井鷹羽台 (北九州)

図 2 測定を行った主な傾斜地

表 1 傾斜地の諸元

傾斜地	基地局高 h_b (m)	傾斜角 θ_s (deg)	BS-傾斜 地距離 d_s (m)	傾斜地長 D_s (m)
半田山	37.9	4.8	250	550
あさおか台	50.5	6.5	180	720
志井鷹羽台	45	4.9	240	554

4. 研究成果

4.1 仰角補正法の精度向上 (岡山大)

(1) この課題は岡山大が担当した。岡山大学では以前から本研究課題に取り組んでおり、一つの推定方法を既に提案していた。この方法は基地局アンテナから移動局方向の仰角に着目して、この仰角を用いて傾斜地補正を行う方法である。仰角 θ_m は図 1 に示すとおり

である。図 2(a)の岡山市の半田山で測定されたデータを用いて推定式の提案を行ってきた。

(2) 各地の傾斜地での測定で得たデータを用いて仰角推定法による推定精度を評価した。この結果、ある程度の推定は可能であるが推定誤差が大きくなる傾斜地があることが明らかになった。また、比較のためにマクロセルを対象にした従来の奥村カーブの丘陵地補正や Lee モデルの推定精度も評価したが、これら従来法では推定できないことを明らかにした。

(3) 仰角補正法の精度を向上させるために、基地局から傾斜地までの距離と傾斜角度のパラメータを追加して推定式を作成した。4地区の測定データを元に改良した仰角補正法の推定精度を評価した。図 3 に測定値 L_m 、仰角補正 L_s 、改良した仰角補正 L_{sm} のカーブを示す。4地区での推定誤差は 6dB 程度である。

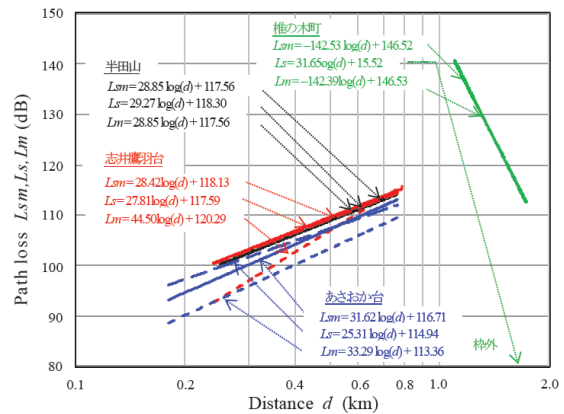


図 3 測定値に対する仰角補正法の推定値

(4) 先の追加パラメータの他に送受信間の見通しの有無の割合は伝搬損失に影響が大きい。地図データから見通しの有無は判別できないが、傾斜地道路の縦コースと横コースの比率であれば求めることができる。見通し率の代わりに縦コースと横コースの比率を新しいパラメータとして用いることを提案した。また、傾斜地の地形の凹凸も影響が大きいことがわかり精度向上のために反映させ

る必要があることを示した。

(5) これまでは平地に基地局があって傾斜地を見上げる場合を対象にしていたが、基地局が傾斜地の上であって傾斜地エリアを見下ろす場合の検討も行った。その結果、見下ろす場合でも仰角補正法を適用できることを示した。

4.2 合成角度や差分角度による補正法（広島市立大）

(1) この課題は広島市立大が担当した。基地局と移動局との位置関係による角度をパラメータに用いる方法として図1に示す合成角度 θ_c や差分角度 θ_{md} を用いる方法を提案した。合成角度 θ_c は仰角 θ_m と傾斜角度 θ_s との和であり電波が移動局へ届くときの接地角度である。差分角度 θ_{md} は基地局と移動局との位置関係と基地局から傾斜地までの距離を反映させた角度であり、傾斜地が平地になると $\theta_{md}=0$ となる。

(2) 差分角度を用いる垂直角度差分補正法を提案して、各地の傾斜地の測定データを用いて推定精度を評価した。この結果、差分角度を推定に用いても有効であることを明らかにした。

(3) 送受信間の見通しの有無の割合は伝搬損失への影響が大きいことがわかった。そこで、送受信間の見通しの割合に相当する道路の縦コース比率のパラメータを垂直角度差分

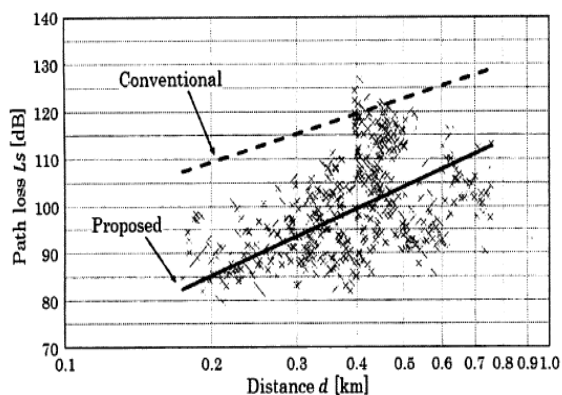


図4 測定値に対する垂直角度差分補正法の推定値

補正法に追加する方法を提案した。3地区の傾斜地の測定データを元に検討して、縦コース比率の有効性を明らかにした。一例としてあさおか台での測定結果と提案法の推定結果を図4に示す。図中の×が測定値で Proposed が提案法である。

4.3 基地局アンテナ高による推定法（九工大）

(1) この課題は九工大が担当した。一般的に電波が移動局へ同じ接地角度 θ_c で入射すれば移動局周辺の建物による損失は同じになると仮定できる。このため、接地角度を用いて補正する方法を提案した。具体的には図5に示すように接地角度 θ_c が同じで移動局と基地局が同じ平地上にあると仮定したときの基地局高 h_b' を用いて補正値を求める方法（等価基地局高による補正法）である。この方法は送受信間に見通しがいい場合のみを対象にしている。

(2) 提案方法を検証するためにスケールモデル実験を行った。広場に1/70の住宅地を作製して、平地にある場合と傾斜地にある場合の伝搬損失を測定してその差分を実験的に求めた。この結果、測定値は等価基地局高補正と同じになることを明らかにした。

(3) 3つの傾斜地の測定データを用いて提案法の推定精度を評価した。この結果、提案法で概ね推定できることを示した。一例として、図6に椎ノ木町の傾斜地での測定値（黒線）と提案法による推定値（青線）を示す。

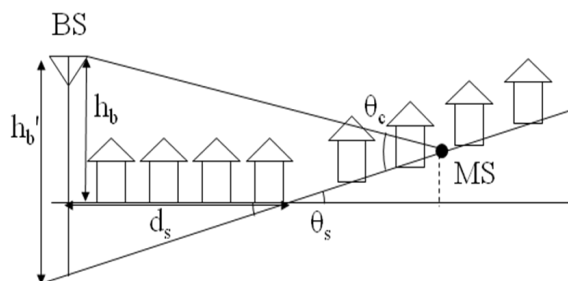


図5 等価基地局高による補正法

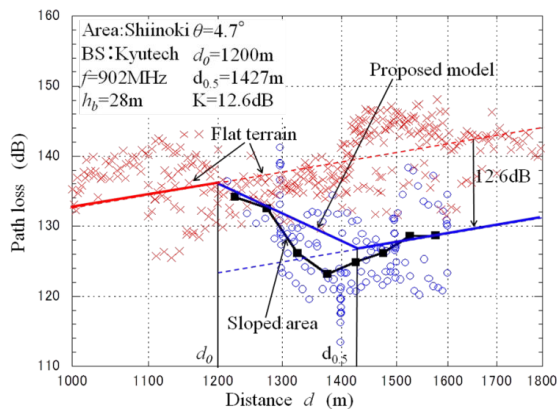


図 6 測定値に対する等価基地局高補正法の推定値

(4) 提案法は送受信間に見通しがない場合にしか適用できないので、見通しがある場合の推定法も検討した。見通しがある傾斜地で測定を行い、平均的に自由空間損失から損失が 10dB 増加することを明らかにした。

4.5 検討

傾斜地の伝搬損失を推定するために 4 つの方法を提案して検証し、さらに改良を行った。基地局と移動局と傾斜地との位置関係を表わすために角度のパラメータを用いることが有効であることは示された。また、角度パラメータの他に送受信間の見通しの有無も伝搬損失に大きな影響を与えることが明らかになった。見通しの有無も考慮して推定精度を向上させる方法も検討した。しかし、推定精度はどの方法も同程度であり、決定的な方法を見つけ出すまでには至っていない。これは実際の傾斜地は多種多様であり、角度や見通しといったパラメータだけで推定するのは難しいためだと考えられる。実際の傾斜地では、傾斜角度が均一でなく場所により傾きが異なる場合や湾曲している場合がある。また、建物の密度や高さ分布、見通しの割合などもばらばらである。基地局から傾斜地までの環境もまちまちである。これらのことは実際に傾斜地で測定することによって明らかになった。今後、推定精度を向上させ

るためには、実際の傾斜地の状況をさらに反映させる必要があることも明らかになった。

まとめ

携帯電話システムの無線回線設計のためにマイクロセル内にある傾斜地での伝搬損失の推定方法を確立することを目的に検討を行った。検討内容と明らかになったことは次のとおりである。

- ・各地の 9 つの傾斜地で伝搬損失を測定して傾斜地での大まかな特性を明らかにした。傾斜地の環境によって特性は異なるが、大まかに傾斜地では平地に比べて伝搬損失が 10 ~ 20dB 程度少なくなる。
 - ・角度パラメータを用いた推定方法を各大学で提案した。岡山大は仰角補正法、広島市立大は垂直角度差分補正法、九工大は等価基地局高補正法である。
 - ・測定データを元に各提案方法の評価を行った。これにより角度パラメータを用いた推定法は有効性あることを明らかにした。
 - ・送受信間の見通しの有無は伝搬損失に大きな影響を与えることがわかった。これを用いて推定精度を向上させる方法を示した。
 - ・これらの検討によって傾斜地での伝搬損失をある程度推定できることを示した。しかしながら、各提案法の推定精度は同程度であり、決定的な方法を見つけ出すまでには至らなかった。
- 今回の研究を通して、傾斜地での伝搬損失の推定精度をさらに向上させるには、基地局と移動局と傾斜地の位置関係だけでなく実際の傾斜地の状況をさらに反映させる必要があることも明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 26 件: 主な 15 件を以下に示す)

新浩一、道路地理情報を考慮した傾斜地における市街伝搬損失推定に関する一検討、電

子情報通信学会アンテナ・伝播研究会、2015年1月22-23日、愛媛大学(松山市)

高橋宏之、セルラ基地局が傾斜地エリアを見下ろす場合の伝搬損失補正式の検討、電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会、2014年11月12-14日、山形大学(米沢市)

Takanori SEO, Path Loss Prediction Model for a Sloped Area in Microcell Based on Scale Model and Real Environment Measurements, IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile 2014, APWiMob 2014, 28-30 Augustus 2014, Bali (Indonesia)

平井尊教、異なる市街地の傾斜地エリアにおける伝搬損失特性の比較検討、2014年電子情報通信学会総合大会、2014年3月18-21日、新潟大学(新潟市)

瀬尾高德、傾斜地伝搬損失推定に対するスケールモデルと実環境測定に基づく補正方法の検討、電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会、2014年1月22-24日、宝山ホール(鹿児島市)

林和貴、傾斜角を考慮した携帯電話の電波伝搬損失特性の検討、15th 学生シンポジウム HISS (Hiroshima Student Symposium)、2013年11月16-17日、鳥取大学(鳥取市)

平井尊教、傾斜地エリアに対する伝搬損失補正式の適用性の比較検討 岡山と小倉の場合、15th 学生シンポジウム HISS (Hiroshima Student Symposium)、2013年11月16-17日、鳥取大学(鳥取市)

大西浩平、傾斜地伝搬損失補正における要素パラメータの事前推定法の検討、15th 学生シンポジウム HISS (Hiroshima Student Symposium)、2013年11月16-17日、鳥取大学(鳥取市)

林和貴、複数の傾斜地を考慮した携帯電話の電波伝搬損失特性の検討、情報処理学会第68回MBL研究会、2013年11月14-15日、広島市立大学(広島市)

高橋宏之、傾斜地エリアを見下ろすセルラ基地局に関する伝搬損失特性の検討、平成25年度(第64回)電気・情報関連学会中国支部連合大会、2013年10月19日、岡山大学(岡山市)

平井尊教、セルラ方式における傾斜地エリア伝搬損失推定法の比較検討、第14回IEEE 広島支部学生シンポジウム、2012年11月17-18日、岡山県立大学(岡山県・総社市)

林和貴、傾斜地における携帯電話の電波伝搬損失特性の実験的検討、平成24年度電気・情報関連学会中国支部連合大会、2012年10月20日、島根大学(松江市)

Tomohiro Ohira, A Study of Mobile Path Loss Estimation Models for a Sloping Terrain Area in Cellular System, 18th Asia-Pacific Conference on Communications, APCC2012, 15-17 Oct. 2012, Jeju Island (Korea)

行衛秀明、傾斜地における伝搬損失特性、平成24年度電気関係学会九州支部連合大、2012年09月24-25日、長崎大学(長崎市)

大平智弘、市街地における傾斜地エリア伝搬損失特性の実験的検討、平成24年度電気関係学会九州支部連合大、2012年9月24-25日、長崎大学(長崎市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市坪 信一 (Ichitsubo, Shinichi)
九州工業大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：30457452

(2) 研究分担者

秦 正治 (Hata, Masaharu)
岡山大学・自然科学研究科・教授
研究者番号：50335577

富里 繁 (Tomisato, Shigeru)
岡山大学・自然科学研究科・准教授
研究者番号：60362951

西 正博 (Nishi, Masahiro)
広島市立大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号：30316137

新 浩一 (Shin, Koichi)
広島市立大学・情報科学研究科・講師
研究者番号：10509053