

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02136

研究課題名(和文) Radio Signal Scavenging技術：新しい電波伝搬環境計測手法

研究課題名(英文) Radio Signal Scavenging Technology: A New Method of Radio Channel Sounding

研究代表者

高田 潤一 (Takada, Jun-ichi)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：90222083

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自らが電波発射を行わずに既存利用者が発射する電波を用いて電波伝搬特性を測定する手法(Radio Signal Scavenging)を確立し、その応用について有効性を確認した。具体的には、Radio Signal Scavenging システムの応用技術を想定して、その実現に必要な装置構成およびデータ処理技術について検討を行った。

具体的には、第3世代携帯電話信号を使用した端末間電波伝搬特性の測定、第5世代携帯電話信号を使用した樹木による電波遮蔽特性の測定の2つの応用について、いくつかの課題は残るものの装置構成およびデータ処理技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電波伝搬研究は、無線通信サービスの根幹となる通信の可否に関わる重要な技術である。一方で無線通信の逼迫により実サービスへの共用が優先され、電波伝搬研究を行うための電波資源割当は未使用の新周波数帯を除いてほぼ不可能となっている。本研究では、すでに電波発射している既存の無線局の信号を利用して電波伝搬計測を行うものであり、電波伝搬研究の将来展開に向けた有力な手法である。一見自明の手法のように見えるが、電波伝搬特性を装置特性から切り離して取り出すことが本研究の中心的な課題であり、電波伝搬研究の民主化・オープンサイエンス化に貢献する意義のある研究である。

研究成果の概要(英文)：This study focused on the utilization of radio signals already available for other services to conduct the radio propagation measurement without additional transmission of radio signal, which is named radio signal scavenging. Specific applications are considered, then set up of the equipment as well as the data processing have been investigated.

Two applications, i.e. inter-terminal propagation measurement by using 3G mobile radio, and tree obstruction loss measurement by using 5G mobile radio. There are some minor issues, but the equipment setup as well as the data processing schemes have been established.

研究分野：通信工学

キーワード：電波伝搬 ソフトウェア無線 radio signal scavenging 電磁波計測

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

携帯電話や無線 LAN に代表される移動通信の爆発的普及のみならず、放送・固定通信・衛星通信・レーダ・測位・電力伝送など、電磁波（電波）の応用は社会生活の隅々まで広がっている。電波は一旦空間に発射されると、その伝搬を外部から制御することは極めて困難である。複数の利用者が近接した場所で同一周波数の電波を使用すると相互に干渉を生じるため、電波の周波数は用途別に割当てがなされているが、電波利用の増大に伴って新たに割り当て可能な周波数は枯渇しつつある。

本研究では、自らが電波発射を行わずに既存利用者が発射する電波を用いて電波伝搬特性を測定する手法を確立し、その応用について有効性を確認することを目指している。電波利用においては、開空間に向けて電波を送信しているため、本来用途のために受信されるエネルギーは、送信エネルギーに比べて何桁も小さなものとなり、それ以外のエネルギーは有効に利用されていない。捨てられている電波から信号波形の情報を取り出して有効利用するために本手法を radio signal scavenging と呼ぶことにするが、これは捨てられている電波のエネルギーを拾い集めて利用する radio energy scavenging から着想を得ている。

### 2. 研究の目的

本研究では、自らが電波発射を行わずに既存利用者が発射する電波を用いて電波伝搬特性を測定する手法 (Radio Signal Scavenging) を確立し、その応用について有効性を確認することを目指している。この目標を達成するために、具体的な目的を

- (a) Radio Signal Scavenging の実現に必要な装置構成およびデータ処理技術の確立
- (b) Radio Signal Scavenging システムの応用技術の開発・検証とする。

### 3. 研究の方法

Radio Signal Scavenging の原理を図 1 に示す。送信機 (Tx) は通信用途の実運用に供する無線機である。参照受信機 (Rx) は送信信号をモニタリングするための受信機であり、測定受信機は電波伝搬特性を測定するための受信機である。電波伝搬路の伝達関数 (簡単のため周波数特性がないと仮定) が、参照受信機-測定受信機間で  $H_E$ 、送信機-参照受信機間で  $H_R$ 、送信機-測定受信機間で  $H_M$  であるとし、送信信号 (未知) を  $x(t)$ 、参照受信機および測定受信機における受信信号をそれぞれ  $y_R(t) = H_R x(t)$ 、 $y_M(t) = H_M x(t)$  とする。参照受信機が送信機近傍にある場合には  $H_M \sim H_E$  と見なせる。また  $H_R$  は定数となるので、結局  $H_E = y_M(t) / y_R(t)$  なる関係を得る。

本研究においては、Radio Signal Scavenging の原理を用いて、以下の 3 項目に関する研究を行った。

- (1) 第 3 世代携帯電話信号を使用した端末間電波伝搬特性の測定
- (2) 第 5 世代携帯電話信号を使用した樹木による電波遮蔽特性の測定

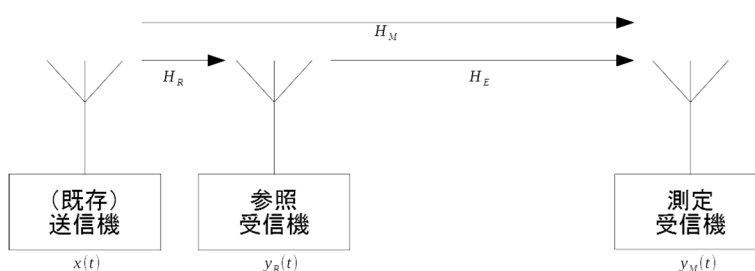


図 1 Radio Signal Scavenging の原理

### 4. 研究成果

- (1) 第 3 世代携帯電話信号を使用した端末間電波伝搬特性の測定

近年 3GHz 以下の UHF 帯は非常に稠密に割当てられており、実験局免許を取得して自由に電波伝搬測定を行うことは極めて困難である。このことから、UHF 帯で運用されている実無線局の信号を用いて電波伝搬特性測定を行う手法の確立が期待されている。以前から実運用局に対して電界強度測定計を用いた電波伝搬試験は広く行われているが、これは運用者が送信機・送信アンテナなどの情報を予め把握した上で行われるものであり、運用者以外の第三者がこのような

情報を取得することはほぼ不可能である．そこで，3 節で説明した Radio Signal Scavenging の手法を用いる．

本研究ではデータ端末(モバイルルータ)から送信される 2GHz 帯の第 3 世代携帯電話信号を使用し，2 台の受信機を使用して端末間電波伝搬特性測定を行う系[1]を構築した．受信機はソフトウェア無線機で構築し，ベースバンド波形を 10 ms 分保存する．第 3 世代携帯電話は符号分割多元接続(CDMA)を使用しているため，複数の端末が同時刻に同一周波数で互いに直交する信号を送信する．このため，受信機のうち 1 台は端末近傍に配置して端末からの送信信号を記録し，電波伝搬測定を行うもう 1 台の受信信号と相互相関をとることで端末から送信された信号成分だけを取り出すことができる．2 台の受信機の粗い同期にはデータ取得時のタイムスタンプを使用し，精密な同期は信号処理においてスライディング相関を用いている．

まず受信信号処理の原理確認のために，同一アンテナで受信した信号を電力分配し，両受信機に直接信号を入力して電力測定実験を行い，スペクトラムアナライザを用いた参照測定結果と 1.2dB の誤差でよい一致を確認した．

通常電波伝搬特性測定装置は電波暗室で校正のための測定を実施するが，本測定系は携帯電話基地局の信号がないとモバイルルータが電波を放射しないため，図 2 のように屋外見通し環境において校正測定を行った．見通し成分に加えて大地反射成分が無視できないことから，受信アンテナの高度を連続的に変化させて受信電力の変化を計測し，大地反射による定在波成分を取り除いた．その結果，自由空間伝搬損失の理論値からの誤差を 1dB 未満に抑えることができた．

校正手順が確立したことから，今後は実環境における伝搬測定を引き続き実施する予定である．

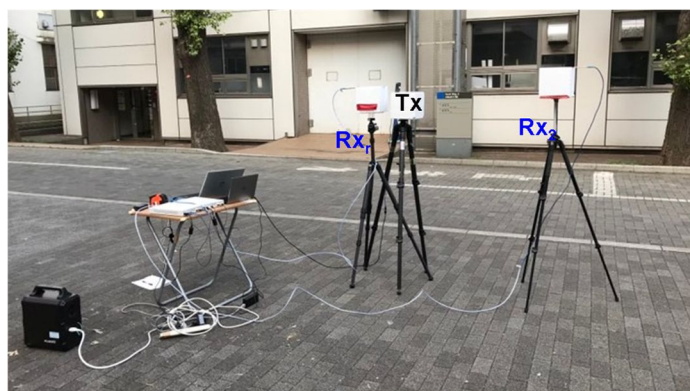


図 2 端末間電波伝搬特性測定のための校正測定

## (2) 第 5 世代携帯電話信号を使用した樹木による電波遮蔽特性の測定

最近導入された第 5 世代携帯電話では，これまで使われてきた UHF 帯よりも 1 桁以上高い周波数帯であるミリ波帯が初めて導入された．伝送速度が周波数帯域幅に比例するため，中心周波数を高くすることが高速伝送に必須となるためである．一方で，波長が短くなるにつれて電波の直進性が高まり，小さな障害物であってもその後ろ側で電波が遮蔽される課題がある．

本研究では 28GHz 帯の第 5 世代携帯電話基地局から送信される信号を使用し，Radio Signal Scavenging の手法により樹木による電波遮蔽特性の測定方法を検討した．

当初は(1)で使用したソフトウェア無線機に周波数変換装置を取り付け，(1)と同様の方式で測定系を構築する予定であったが，第 3 世代携帯電話システムに比較して信号形式が非常に複雑となり，そのためのソフトウェア構築を外注なしに行うことは困難であると判断したため，方針を変更して第 5 世代携帯電話システム専用の電界強度測定装置であるエリアテスタを新たに受信系として導入した．

図 3 に示すように高所設置基地局からの電波が樹木の樹冠部で遮蔽される様子を，図 4 に示す受信機の移動測定により観測した．中心周波数は 27.150GHz，基地局アンテナ高 12m で測定を行った．図 5 には電界強度分布を示す．Radio Signal Scavenging の手法でいえば参照信号を取得し，樹木による減衰損失を抽出する必要があるが，送信アンテナ・受信アンテナ共に指向性が鋭く，特に基地局側のアンテナ指向性については十分な情報が不足しており，校正測定に必要な参照信号の取得方法については引き続き検討課題となっている．

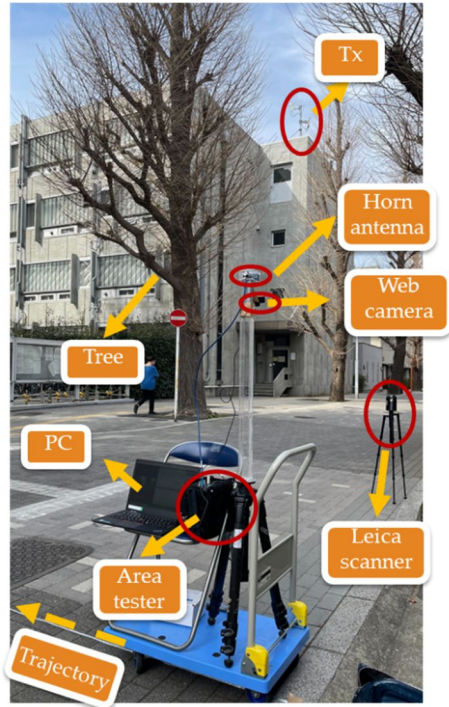


図3 樹木遮蔽損失測定環境

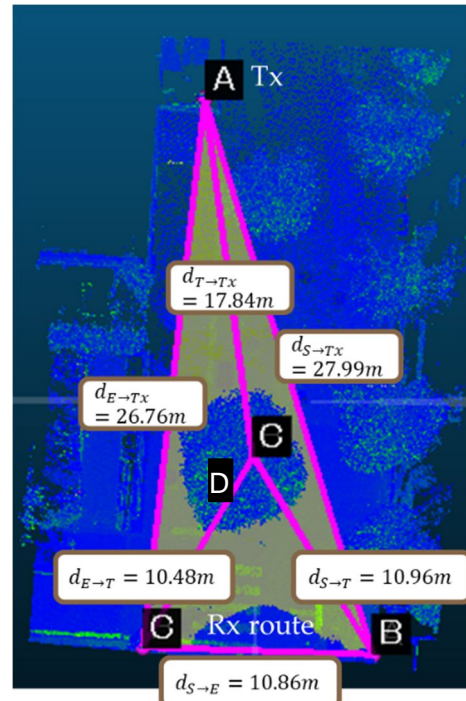


図4 測定ルート .

A : 基地局 , B-C : 受信機測定ルート , D : 幹の中心

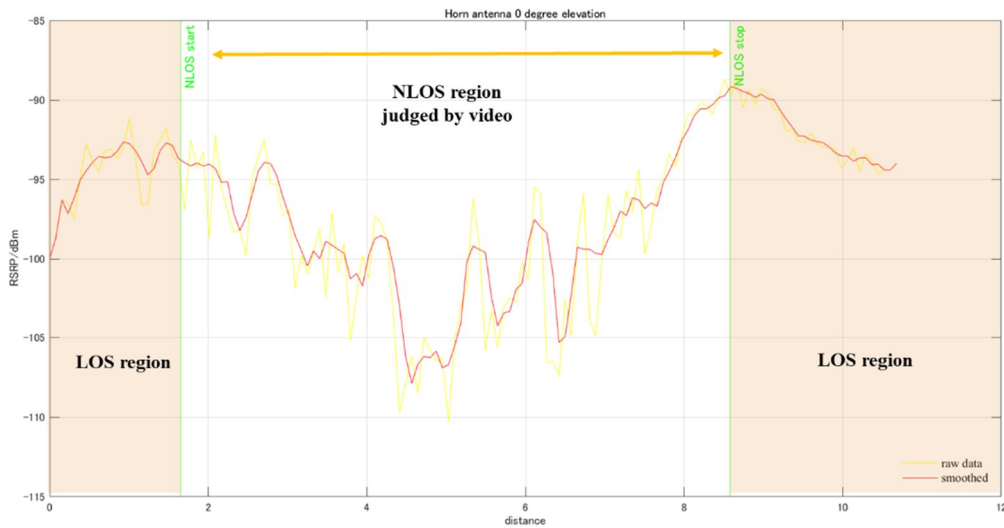


図5 遮蔽部における電界強度測定結果

### 参考文献

- [1] D. Gautam, K. Saito, and J. Takada, "Development of Software Defined Radio based Cellular Signal Measurement System to Construct Interference Map for Spectrum Sharing," IEICE Technical Report, SR2019-97, Dec. 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Deepak Gautam, Kentaro Saito, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 Development of Software Defined Radio based Cellular Signal Measurement System to Construct Interference Map for Spectrum Sharing
3. 学会等名 電子情報通信学会スマート無線研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Deepak Gautam, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 Measurement of Path Loss in Line-of-Sight Condition for Passive Channel Sounder verification
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京工業大学環境・社会理工学院高田研究室 <a href="http://www.ap.ide.titech.ac.jp/">http://www.ap.ide.titech.ac.jp/</a> 東京工業大学移動通信研究グループ <a href="http://www.mcrg.ee.titech.ac.jp/">http://www.mcrg.ee.titech.ac.jp/</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋藤 健太郎 (Saito Kentaro)  (40756665)	東京工業大学・環境・社会理工学院・助教  (12608)	2020年度まで

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------