

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	25 GHz帯における伝搬チャネルの動的遮蔽特性と移動物体の同時測定
Title	Dynamic Shadowing Channel Sounding at 25 GHz band together with Posture Capturing
著者	康 哲嘉, 张 恩琪, 高田 潤一
Authors	CheChia KANG, Enqi ZHANG, Jun-ichi TAKADA
出典	電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 121, no. 393, SRW2021-71, pp. 14 - 16
Citation	IEICE technical report, vol. 121, no. 393, SRW2021-71, pp. 14 - 16
発行日 / Pub. date	2022, 2
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は電子情報通信学会に帰属します。 Copyright(c) 2022 IEICE

25 GHz 帯における伝搬チャネルの動的遮蔽特性と移動物体の同時測定

康 哲嘉[†] 張 恩琪[†] 高田 潤一[†]

[†] 東京工業大学 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1

E-mail: [†] {kang, zhang.e}@ap.ide.titech.ac.jp, [†] takada@tse.ens.titech.ac.jp

あらまし 第五世代移動通信システム(5G)において超高速通信(eMBB)を実現するためにミリ波 (24 - 71 GHz) 帯域を開拓してきた。ミリ波の強い伝搬損失は見通し線チャネルにアレーアンテナの主輻射方向を向けることによって補償される。しかし、人体といった移動物体が基地局-端末間の見通し線に侵入すると遮蔽による信号強度低下のために通信途絶が生じる問題がある。こういった動的遮蔽特性を評価・予測するためにチャネル特性と移動物体を同時に測定し、両者の測定時刻を同期させる必要がある。本研究ではスペクトルアナライザの測定開始トリガに可視光レーザセンサを採用するとともに、遮蔽により移動物体上に点として現れるレーザ光点を深度映像を撮影するRGB-Dカメラで捉える。撮影された移動物体上に最初にレーザ光点が現れるフレームをチャネル測定の開始時刻とすることで、異種の測定器の時刻同期を実現する。

キーワード ミリ波通信システム, 動的伝搬路測定, RGB-D カメラ

Dynamic Shadowing Channel Sounding at 25 GHz band together with Posture Capturing

CheChia KANG[†] Enqi ZHANG[†] and Jun-ichi TAKADA[†]

[†] School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550 Japan

E-mail: [†] {kang, zhang.e}@ap.ide.titech.ac.jp, [†] takada@tse.ens.titech.ac.jp

Abstract Millimeter wave (mmWave) band has been deployed in the 5th generation mobile communication system to realize the enhanced mobile broadband service (eMBB). Though severe propagation loss at mmWave is compensated by pointing the main beam of the base station antenna to the line of sight (LoS) toward the mobile stations, there is a deep shadow fading, when a moving object such as a human body, blocks the LoS. To evaluate and predict the impact brought by the dynamic blocking object, simultaneous dynamic channel sounding and posture capturing using RGB-D video camera, in which the measurement time stamps must be synchronized, is needed. This study proposes the synchronization algorithm between two different instruments by using a visible laser. The blocking sensor of the laser beam triggers the spectrum analyzer. This trigger timing is synchronized with the first video frame of the appearance of the laser spot on the surface of the blocking object.

Keywords Millimeter wave communication system, Dynamic channel sounding, RGB-D camera

1. はじめに

第五世代移動通信システム(5G)においては、超高速通信(eMBB)を提供するために、広い帯域幅が利用できるミリ波帯通信システムが開発された。ミリ波は伝搬損失が大きく、回折性が弱いため、伝搬損失を補償するために massive multi-input and multi-output (Massive MIMO)技術が開発され、送受信アンテナ間の見通し伝搬路に常にアレーアンテナの主輻射方向を向けている[1]。

しかし、移動通信においては見通し伝搬路が通行人や

車両といった移動物体に遮蔽される可能性が高い。移動物体により見通し伝搬路の第1フレネルゾーンが遮蔽されると、減衰が大きくなり通信が途絶する可能性が高い。第1フレネルゾーンの半径は波長と比例するため周波数の高いミリ波では、人体程度の大きさでも簡単に見通し伝搬路が遮蔽される[2]。あるいは、見通し伝搬路近傍に移動する物体が存在する場合、移動体による散乱波が見通し波と干渉し、レベル変動が発生する[3]。

一方で、見通し伝搬路に移動物体が侵入することを

予測し、遮蔽が発生する前に反射波伝搬路方向に指向性を切り替えるような対策が議論されている。特に反射方向をアレーアンテナ素子などを用いて自由な方向に制御できる Reflective Intelligent Surface (RIS) は、ミリ波帯での遮蔽対策のために近年盛んに検討が行われている。このような予測を行うためには、移動体の幾何的な状況と電波伝搬特性の関係を明らかにすることが有用である。

本研究では、実無線機を用いた伝搬損失測定と RGB-D (red, green, blue and depth) カメラを用いた移動物体の幾何形状の同時測定を行い、動的な遮蔽をエミュレーションするチャンネルモデルの構築を目指している。本報告では、伝搬損失測定と幾何形状測定の時刻同期を実現する方法を提案する。過去の検討では、見通し伝搬路を遮る動作トリガを採用し、伝搬路と幾何形状の急激な変化の時刻を同期していた [4]。

本報告ではより信頼性の高い方法として、レーザビームを用いた方法を提案する。レーザセンサを信号の受信強度を測定するスペクトラムアナライザのトリガとして使用する、レーザ光が遮蔽された際には RGB-D 映像で移動物体上に映るレーザ点を目印に測定開始時刻を割り出す。この手法によりチャンネルの時間応答を録画した幾何形状の時間変化に紐づけることができ、移動物体の形状や姿勢によるチャンネルへの影響の評価・予測が可能になる。

2. 伝搬特性と幾何形状の同時測定システム

複雑な形状の物体を含むチャンネル特性の予測には物体の形状の時間変化の情報が不可欠である。また、予測の妥当性を検証するためには、伝搬特性の実測値が比較対象として必要である。この際、動的な伝搬特性と移動物体の幾何形状の同時測定は RGB-D カメラに時刻同期を行う機能が無いため、予測値と測定値との比較を行うためには、電波伝搬特性と幾何形状の時刻同期が必要となる。本報告ではスペクトラムアナライザと RGB-D カメラの時刻同期を行う方法を提案する。見通し線に平行に一定の距離離れた場所でレーザ光を送信側から発射し、光センサによりレーザ光の遮断、すなわち移動物体の侵入を検出して、スペクトラムアナライザに測定開始のトリガを送る。一方、同じレーザ光を移動物体が遮蔽した際には移動物体にレーザ光の点が照射されるため、RGB-D カメラの撮影した映像で最初にレーザ光を検出した時刻が、スペクトラムアナライザにトリガを送った時刻とほぼ同時であると考えられるため、両者の時刻を揃えることで時刻同期が確立される。

2.1. 動的遮蔽特性と動体の同時測定系

図 1 に示すように電波伝搬損失と移動物体の幾何形

状の同時測定系を考える。左右にスペクトラムアナライザ (Rx) と市販の免許不要の小電力無線機 (Tx) を配置し、RGB-D カメラは移動物体が写るよう配置する、可視光レーザ光源はレーザ光が見通し伝搬路と平行になるように配置し、反対側にはレーザ光を受光する光センサを配置する。移動物体が進出してレーザを遮ると、光センサはトリガパルスを出力し、スペクトラムアナライザにチャンネル測定開始のトリガとして入力される。RGB-D カメラは連続的に動画を撮影しているが、画像内の散乱物体上にレーザ光点を検出した最初のフレームを測定開始時刻とする。

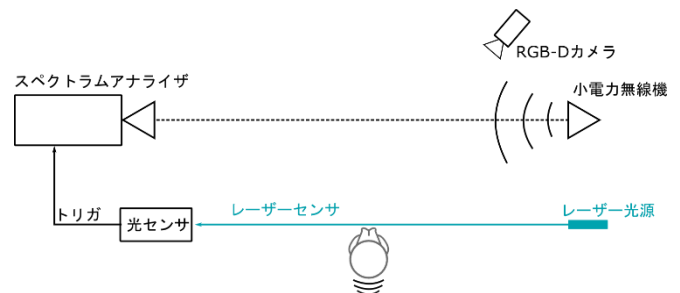


図 1 動的遮蔽特性と動体の同時測定系

2.2. 25 GHz 動的遮蔽特性の測定

動的遮蔽利得 $G_s(t)$ は次式のように動的遮蔽物によるチャンネルの超過利得(通常は 1 より小さい)の時間変化として測定される。

$$G_s(t) = P_r(t)/P_{\text{Los}} \quad (1)$$

$P_r(t)$, P_{Los} はそれぞれ時刻 t で測定した受信電力、見通し内伝搬路における受信電力である。実験局免許の取得が不要となるよう、送信機には市販の 25 GHz 小電力データ伝送装置 (JRC NTG-2501) を使用した。受信側にはスペクトラムアナライザ (R&S FSU43) を使用する。小電力伝送装置は中心周波数 25.2 GHz、帯域幅 20 MHz の QPSK 信号を連続に送信する。スペクトラムアナライザでは中心周波数 25.2 GHz、分解能帯域幅 10 MHz でゼロスパンにより受信電力の時間変動特性を測定する。QPSK 信号のため送信電力は時間変動しているため、図 2 のように受信電力の上部包絡線として測定を行う。

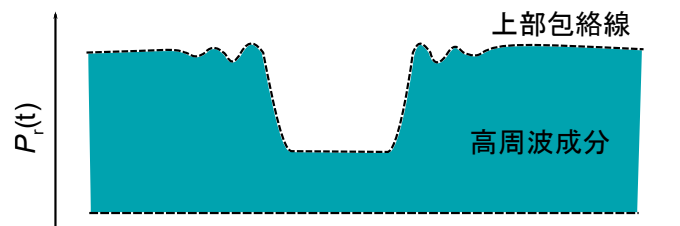


図 2 高周波成分を含む受信電力の測定値

2.3. RGB-D カメラによる動体の形状・姿勢測定

動的な電波伝搬の測定と同時に人体などの動的遮

蔽物の3次元形状をRGB-D (Microsoft Azure Kinect) で撮影する．特に移動物体が人体である場合，RGB-D とカメラの映像は図3のようにMicrosoft社のAzure Kinect Body Tracking SDKによりBVHファイル形式のボディフレームに変換される．ボディフレームは人体を骨と関節の階層構造としてモデル化し，効率に人体の動作を表すことができる[5]．更にボディフレームはe frontier社のPoserにより電磁界シミュレータが使えるような多面体人体モデルに変換される[4]．

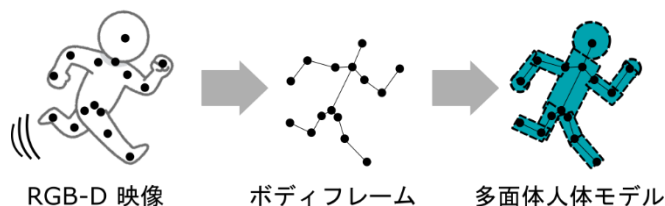


図3 シリンダボディモデルに変換されるRGB-D映像

2.4. レーザセンサによる両デバイスの時刻同期

遮蔽体が進入してくる様子を図4で示し，測定時刻に対する各デバイスの状態変化は図5に示す．測定開始時($t=0$)にスペクトラムアナライザがトリガ待ち状態でRGB-Dカメラの録画を始め． $t=t_1$ の時刻で遮蔽体が進入してレーザセンサを遮断したとする．この瞬間，レーザ光を失ったレーザセンサは出力電圧がHighになり，スペクトラムアナライザの測定を開始させる．同時に，RGB-Dカメラに遮蔽物の表面にレーザ点映る．従ってRGB-D映像の最初にレーザ点検出されるフレーム($t=t_1$)はスペクトラムアナライザの最初の測定時刻に同期される．

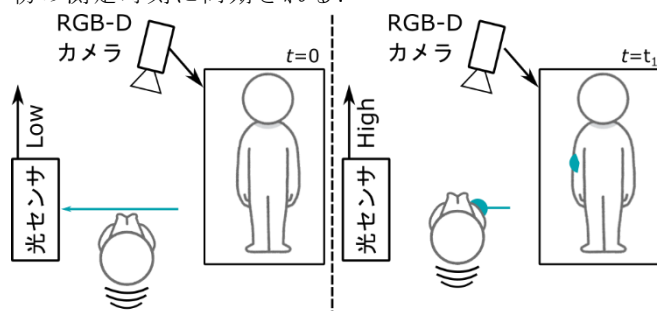


図4 $t=0$, t_1 の光センサの状態とRGB-Dカメラに映る遮蔽体

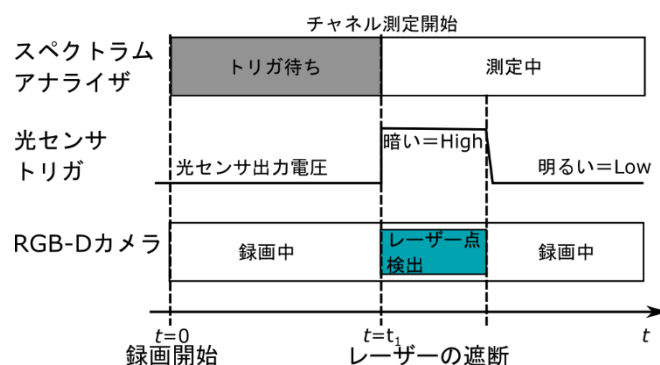


図5 測定開始後遮蔽体の進入に対する各デバイスの状態変化

3. 結 論

本報告では可視光レーザをセンサとして使用し，伝搬利得を測定するスペクトラムアナライザと遮蔽物体の形状を測定するRGB-Dカメラの同期方法を提案した．提案システムでは，レーザと光センサにより移動物体がレーザ光を横切る瞬間に測定トリガをスペクトラムアナライザに入力するとともに，RGB-Dカメラに記録された移動物体表面にレーザ光が最初に検出されたフレームを特定し，このフレームをトリガと同期するものである．

現在，システムの試作を行っており，金属平板を用いた遮蔽実験により検証を行う予定であり，その進捗状況については研究会当日に報告する．

謝 辞

本研究の一部はNICT革新的情報通信技術研究開発委託研究Beyond 5Gシーズ創出型プログラム(02701)の成果である．

文 献

- [1] 中里 学，“2020年の5G実現に向けた取組，”総務省https://www.soumu.go.jp/main_content/000593247.pdf, 参照 Feb. 4, 2022.
- [2] 高田 潤一，“電波伝搬の基礎理論，”映像情報メディア学会誌，vol.70，no.1，pp.142-148，2016. DOI: <https://doi.org/10.3169/itej.70.142>
- [3] Andreas F. Molisch, “Statistical Description of the Wireless Channel” in Wireless Communications, 2nd ed., pp. 69–99, John Wiley & Sons, USA, 2011.
- [4] G. Chen, “Radio Propagation Mechanisms for Wireless Body Area Network,” M.A. thesis, Tokyo Institute of Technology, Japan, 2016.
- [5] M. Meredith, and S. Maddock, “Motion capture file formats explained,” Production, 2001