

次世代ミリ波アクセスリンクにおける通信環境計測によるアンテナビームの動的制御法の開発

代表研究者 金 ミンソク 新潟大学 自然科学系

1 はじめに

スマート端末機器の普及に伴い移動通信トラフィックはますます増大され、2020年頃には2010年対比1100倍に達すると予想されている[1]。このように大容量高速データ伝送を実現するためには、広帯域が確保できる高周波数帯（30 GHz～300 GHz）の開拓が必修とされている[2, 3]。しかし、高周波数帯においては従来のマイクロ波帯に比べて伝搬損失が大きいいため、アンテナビームを見通し波方向に形成し利得を向上させる方法が主に想定されている。このように、見通し波方向へのビーム形成により、通信エリアの確保や隣接セルの干渉が低減できるが、人体の遮蔽により通信品質が急激に劣化することが問題となり、見通し波のみならず反射波の活用について検討する必要がある。本研究では、レイトレーシングに基づくスイッチングビーム形成法（SW-BF）を提案し、超高速無線 LAN（IEEE802.11ay）の屋内利用シナリオにおける性能評価を行い、提案手法の有効性を確認した。

2 提案手法

ミリ波帯は伝搬損失が大きいいため、狭いエリア内においてアンテナビームを見通し波方向に形成し利得を向上させる方法が主に想定される。しかし、見通し波方向にシングルビームを形成する Radial-BF [4]を用いる場合、人体による遮蔽が起きた場合に損失が大きくなり通信品質が急激に劣化してしまう。一方、複数の多重波経路に対して複数のビームを形成し最大比合成により受信 SNR 特性を改善する Multi-BF が考えられるが、同相合成するために正確なチャンネル推定が必要となる。本研究では、レイトレーシングを用いてマルチパスの情報を常に把握し人体遮蔽が発生した際に速やかに最善の多重波経路へビームを切り替えることにより通信品質の急激な劣化を防ぎ、一定の品質が維持できる SW-BF 法を提案する。これを実現するためには、ビデオセンサなどを用いて端末の位置や遮蔽状況（遮蔽物の位置）を実時間にモニタリングし、その際の多重波経路情報（方向と電力）を実時間に計算するレイトレーサなどが用いられるものと想定する。SW-BF では、受信電力が閾値以下になるとき、ビーム方向をレイトレーシングの計算上一番利得の高い経路にスイッチする。以上で説明した3つの手法を図1に示す。本研究では、この3つの手法に対する屋内利用シナリオにおけるレイトレーシングシミュレーションを行い、提案手法である SW-BF の有効性を確認する。本研究では、アクセスポイント（AP）側でアンテナアレイビーム形成により送信し、ステーション（STA）側で無指向性アンテナにより受信する下り回線を想定した。

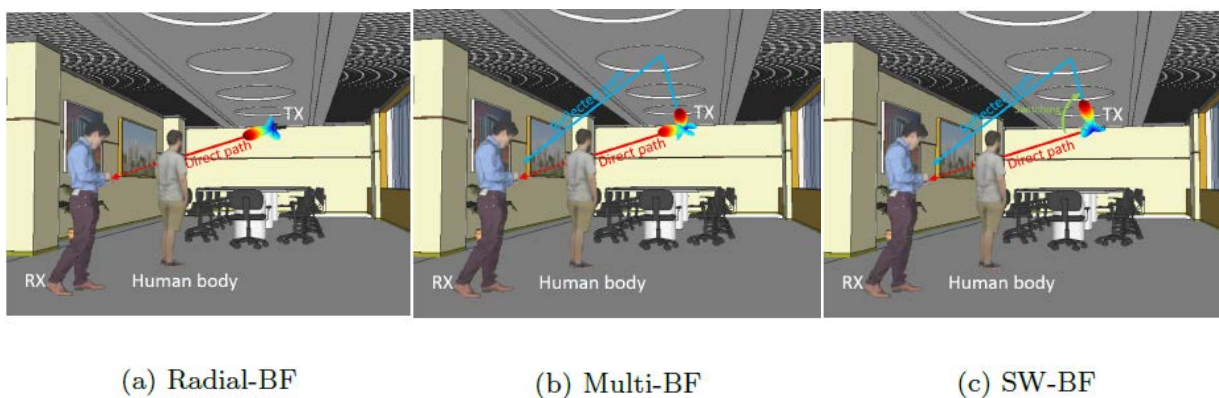


図1 ビーム形成手法

3 性能評価

3-1 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルと人体モデルを図2に示す。このモデルは、IEEE802.11ad channel model [5]の会議室環境 (STA-AP 間) を参考にしている。部屋の大きさは $4.5\text{ m} \times 3.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$ であり、真ん中に会議用テーブルが配置されている。AP は天井付近に取り付けられ、アンテナ高は 2.9 m で、STA は机の上のノートPC を想定しておりアンテナ高は机の表面から 10 cm と設定している。人体は平板として表現しその寸法は図2(b)に示す。人体の遮蔽による減衰を計算するために回折損失を計算する[6]。これはMETIS 回折モデル[7]を拡張したものであり、アンテナ指向性が反映できる。シミュレーションに用いたパラメータは、搬送波周波数 60 GHz 、送信電力 0 dB 、帯域幅 2640 MHz 、雑音電力 -80 dBm 、壁材は石膏ボードとした。

また、STA のアンテナとして無指向性アンテナを想定し、AP のアンテナとして、利得が 24 dB のガウシアンビーム [5] を用いた。これは、 8×8 平面アレーアンテナの利得に相当する。ここで、Radial-BF は、AT-STA 間に見通しが確保されているかどうかに関わらず、AP は一つのビームを STA 方向に形成する。Multi-BF は、利得の高い複数の多重波経路に対して最大比送信ビーム形成 (MRT) を行う。実用的なビームの数は $2 \sim 4$ であるが、ここでは 2 つのビームを用いた。前述のように Multi-BF においては、各多重波経路に対する正確なチャンネル推定が必要である。

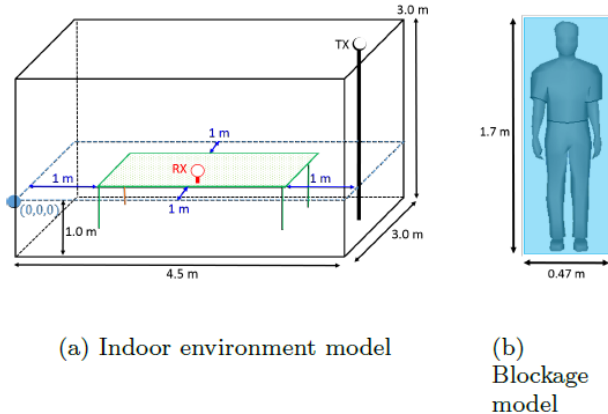


図2 会議室モデル

3-2 シミュレーション結果

モデルシナリオの概念図を図3に示す。ここで、AP は天井付近に固定しており、図4のようにテーブル上の複数の測定点 (11×9 ポイント) に対して STA の位置を変化させて受信特性を評価した。また、人がテーブルの端に着席しており、STA の位置によっては AP からの直接経路が遮られる状況である。図5に測定点における各 BF 手法の SNR 変化を示す。ここで、人体近傍の測定ポイントである #33, #44, #55, #66, #77 においては、人体による遮蔽の影響で Radial-BF の性能が大きく劣化していることが確認できる。しかし、Multi-BF と SW-BF においては、遮蔽発生時に多重波経路へビーム切り替えを行うことから Radial-BF より遮蔽時約 30 dB 以上の性能改善が認められる。また、Multi-BF と SW-BF の両者を比較すると、Multi-BF の性能が全体的に若干良くなっていることが分かる。これは、Multi-BF は複数の多重波経路を用いるため自明な結果であるが、多重波経路の利得が見通し波に比べて非常に小さいことから複数経路を合成することにより得られる利得改善は小さいものと考えられる。よって、Multi-BF と SW-BF の性能差が僅かになっていることが分かる。Multi-BF は、各多重波経路に対する正確なチャンネル推定が必要であるだけでなく、隣接セルからの干渉の影響を受けやすく SINR 性能が劣化するとの報告[4]もされていることから、提案の SW-BF が実用的に有効であるといえる。

また、SW-BF における多重波経路のメカニズムを図6に示す。多重波経路は、図5のように A~D 壁からの1回反射波とテーブルと天井による1回反射波となっている。SW-BF で選択された多重波経路が○マークで表されている。見通し波 (direct path) が存在する場合は、それを選択しており、遮蔽発生時には、A または C 壁からの多重波経路を選択していることが分かる。その場合、ビーム形成により利得が向上されていることに注意されたい。

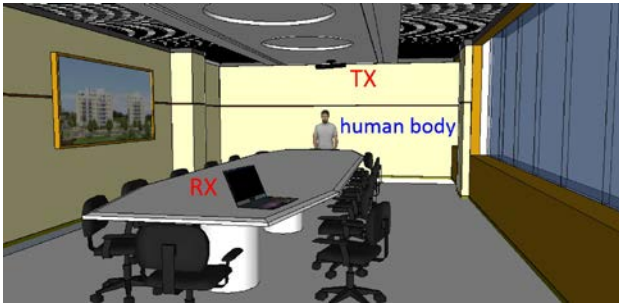


図3: モデルシナリオ

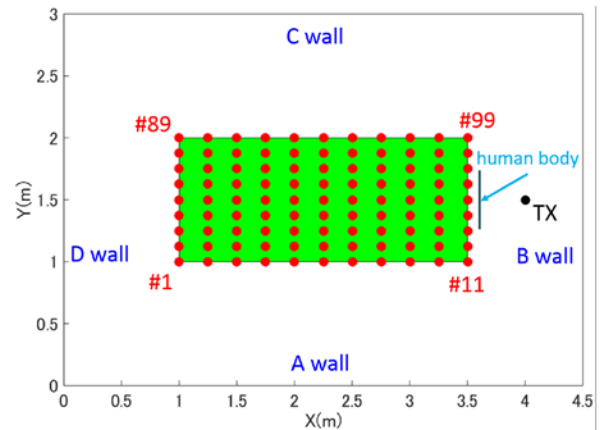


図4: 平面図

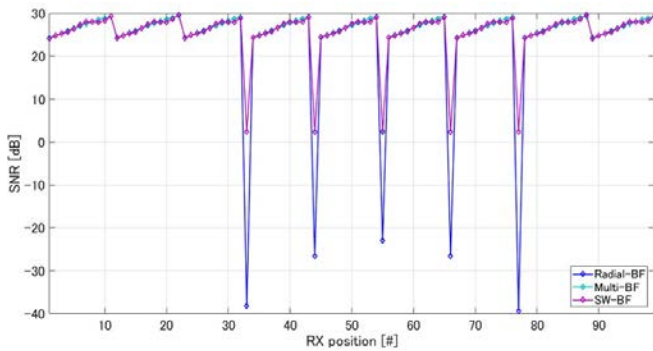


図5: 測定ポイントにおけるSNRの変化

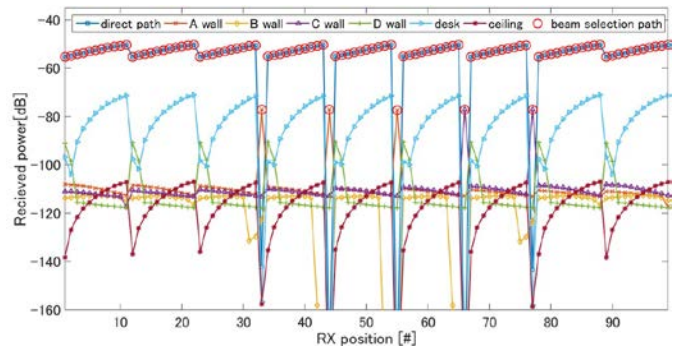


図6: SW-BFにおける多重波経路の受信電力変化

4 むすび

本研究では、人体遮蔽時に速やかなビーム制御を行うためにレイトレーシングに基づく SW-BF 法を提案し、IEEE802.11ad チャンネルモデルで想定されている会議室環境において、レイトレーシングを用いた性能評価を行った。結果から、Multi-BF の方が SW-BF より SNR 性能は若干優れているが、受信側で同相合成を行うためには正確なチャンネル推定を必要とする点から SW-BF が実用的な利点があるといえる。また、SW-BF は、最善の多重波経路にアンテナビームを走査するため、マルチセル環境におけるセル間干渉の影響が Multi-BF より小さくなり、SINR 基準で評価する場合、SW-BF のメリットはより顕著である。

現在の標準規格における BF の仕組みは、コードブックに基づいたトレーニングとトラッキングを想定しているが、exhaustive search の膨大な計算量とオーバーヘッドは製品開発において問題となっている。本研究で提案するレイトレーシングに基づく SW-BF 法を実現するために、RGB-D 深度センサーを用いた伝搬環境計測と実時間レイトレーシングについて基礎検討を行ったが、ハードウェアによる実装は今後の課題となっている。

【参考文献】

- [1] NTT DOCOMO white paper, “75G Radio Access: Requirements, Concept and Technologies,” Sept. 2014.
- [2] H. Zhang, C. Wu, et al., “Low Complexity Codebook-Based Beam Switching for 60 GHz Anti-Blockage Communication,” J. Commun., vol. 8, No. 7, Jul. 2013.

- [3] S. K. Yong and C.-C. Chong, "An overview of multigiga bit wireless through millimeter wave technology: potential and technical challenges," EURASIP J. Wirel. Commun. Netw., vol. 2007, pp. 1-10, 2007.
- [4] V. Degli-Esposti, "Ray-Tracing-Based mm-Wave Beamforming Assessment," IEEE Access, Oct. 2014.
- [5] IEEE 802.11ad, "Channel Models for 60 GHz WLAN Systems," May 2010.
- [6] G. R. Maccartney, S. Sun, "Millimeter-Wave Human Blockage at 73 GHz with a Simple Double Knife-Edge Diffraction Model and Extension for Directional Antennas," 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference, Sept. 2016
- [7] METIS2020, "METIS Channel Model," Tech. Rep. METIS2020, Deliverable D1.4 v3, Jul. 2015.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
ミリ波帯ビームフォーミングシステムの特 性評価	電子情報通信学会総合大会, B-1-31	2017年3月
Ray Tracing Assisted Mm-Wave Switched Beamforming	The 32 nd International Technical Conference on Circuits, Systems, Computers, and Communications of 2017 (ITC-CSCC 2017)	2017年7月