

室内環境におけるビーム変調によるミリ波通信にむけた基礎検討

佐々木 ほか[†] 小林 真[‡] 新 浩一[‡] 西 正博[‡]
[†] 広島市立大学情報科学部 [‡] 広島市立大学大学院情報科学研究科

1 はじめに

IoT (Internet of Things) の普及にともなって何十億ものデバイスがネットワークに接続されて、既存の Wi-Fi や携帯電話のネットワークでは帯域不足になると予測されている [1]. 帯域不足問題を解決する手法としてミリ波帯の活用が注目されている. ミリ波帯は広い周波数帯域を確保できることから大容量通信に適しているものの、消費電力が高いため低電力の IoT センサに既存のミリ波通信技術は適していない [2]. そこで、IoT デバイスのためのミリ波を用いた低電力なビーム変調による通信方式を提案されている [3]. ビーム変調は、異なる信号ビームに対して符合を割り当てることで、情報を伝達する手法である. 本稿では、ビーム変調を用いたときの、選択するアンテナと送受信機の設置場所に対する受信電力についてレイトレースシミュレーションを用いて評価する.

2 ビーム変調によるミリ波通信

センシングデバイスのような IoT ノード (送信機) と AP (受信機) 間通信を想定した、ビーム変調によるミリ波通信が提案されている [3]. ミリ波は伝搬損失が大きく、指向性が強いという特性を利用して、ビーム変調は情報ビットを2本のビームに変調する [3]. 送信機では、位相器や増幅器を使用せずに、送信に用いるアンテナを変更することでビームを切り替える. 受信機では、受信電力差によって復調をおこなう.

具体的には、送信機は2つのアンテナを用いる事で異なる送信ビームを形成して、それぞれのアンテナから形成された送信ビームに“0”と“1”の符号を割り当て、送信したい情報に対応したアンテナを選択することで変調を行う. 図1に、ビーム変調の一例を示す. 送信機が、Beam0 および Beam1 を切り替えて変調を行う. 例えば、ビット“0”伝送する場合は Beam0 を選択して、ビット“1”伝送する場合は Beam1 を選択してミリ波の特定の周波数の電波を送信する. 送信された電波はビームごとに異なる伝搬経路を通ることから、受信機は受信電力の違いを検出することで“0”と“1”の信号を復号することができる.

3 シミュレーション環境

室内の会議室を想定して、送信機アンテナと送受信機の設置場所を変化させて、ビーム変調を用いたミリ波通信のレイトレースシミュレーションを MATLAB を用いて行った. 図2にシミュレーション環境を示す. 5.7m × 5.7m × 4.75m の会議室を想定した. 最大反射回数は2回、壁の材質は木材とした. 部屋中央の床部分を座標で (0, 0, 0) として、送信機を (x, 0, 2) 座標の x 軸上を移動する. 受信機を、天井の点 A (0, 0, 4.75)、壁面の点 B (2.85, 0, 2)、床の上の点 C (0, -2.85, 0) に設置して、受信電力を MATLAB を用いた

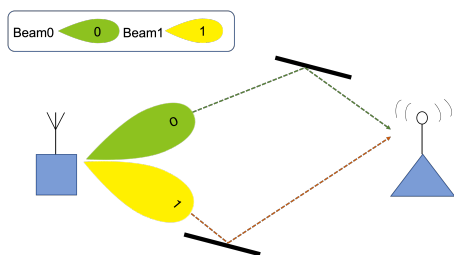


図 1: ビーム変調

送信アンテナ (半値幅方位角, 半値幅仰角)
ショートダイポールアンテナ
NR アンテナ (45, 15)
NR アンテナ (45, 45)
NR アンテナ (135, 15)

シミュレーションにより評価した.

アンテナの指向性の変化と受信電力との関係性を評価するために複数種類の送信アンテナを用いた. 表1に、送信機に用いたアンテナを示す. 送信機の送信アンテナとして、ショートダイポールアンテナと 3GPP TR 38.901 仕様に記載されている 5G アンテナエレメントである NR アンテナ [4] を用いた. NR アンテナでは、半値幅 (方位角, 仰角) [度] を (45, 15), (45, 45), (135, 15) とした. 図3に、各アンテナの指向

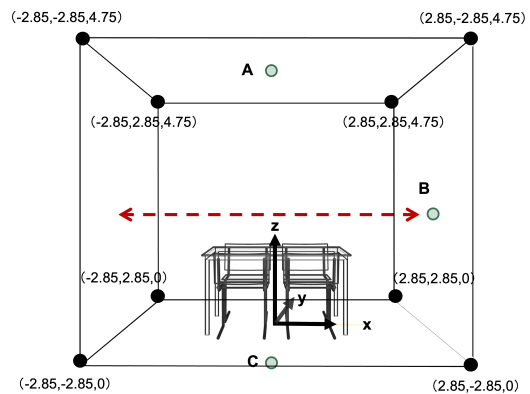
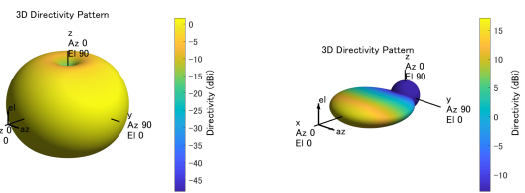
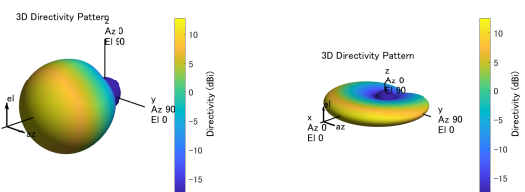


図 2: 室内環境



(a) ショートダイポールアンテナ (b) NR アンテナ (15, 45)



(c) NR アンテナ (45, 45) (d) NR アンテナ (15, 135)

図 3: 指向性

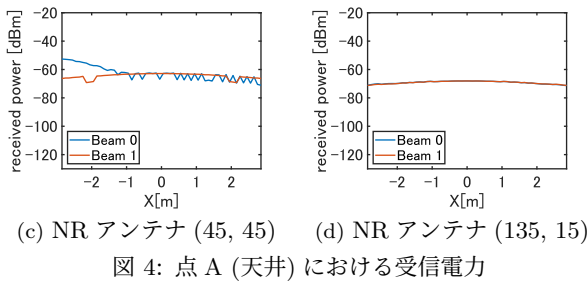
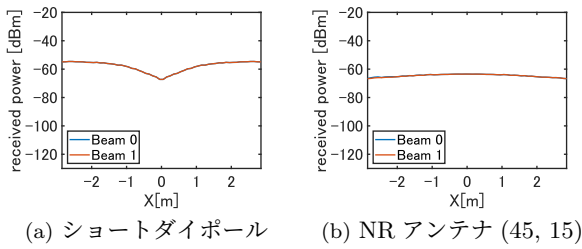


図 4: 点 A (天井) における受信電力

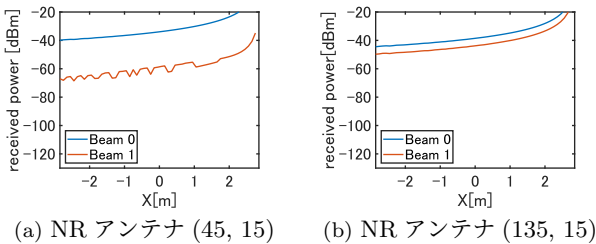


図 5: 点 B (壁) における受信電力

性パターンを示す。受信機には等方向性アンテナを用いた。2つのビームを異なる方向に形成するために Beam0, Beam1 の方位角をそれぞれ0度, 90度として、仰角はどちらのビームも90度とした。

4 伝送特性の評価

ビーム変調を用いたミリ波通信において送信アンテナの種類、送受信機設置場所を変更した時の伝送特性について評価した。受信機が天井に存在している事を想定して、受信機を点 A に設置して、送信機を $(x, 0, 2)$ に設置したときの2方向のビームの受信電力を評価した。 x は、部屋の端から端までを想定して、 -2.85 から 2.85 まで変化させた。

図 4 に、送信機のアンテナそれぞれに対する点 A における受信電力を示す。図 4a に示した、ショートダイポールアンテナでは、Beam0 と Beam1 とで受信電力に差が生じなかった。ショートダイポールアンテナでは方位角方向に指向性がないため、アンテナを選択するビーム変調を用いたとして、受信電力に差が生まれにくいことが分かる。受信電力差が小さいと伝送容量が少なくなることから、ショートダイポールアンテナのような指向性が少ないアンテナでは、ビーム変調の性能は低下すると考えられる。

図 4b, 4d から、NR アンテナの半値幅仰角が15度の状況では、Beam0 と Beam1 とで受信電力の差が大きくなること分かる。これは、どちらのアンテナも天井方向への利得が小さかったためであると考えられる。さらに、図 4c から、NR アンテナの半値幅仰角が45度のとき、送信端末の X 座標が小さくなるほど Beam0 の受信電力が大きくなっていく。これは、方位角方向の指向性によるものであると考えられる。

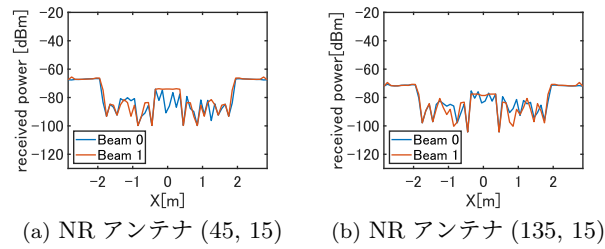


図 6: 点 C (床) における受信電力

さらに、壁に受信機が存在している状況を想定して、受信機を点 B に設置して、送信機を $(x, 0, 2)$ に設置したときの2方向のビームの受信電力を評価した。点 A に設置した際の評価を踏まえて、送信アンテナとして NR アンテナ (45, 15) と NR アンテナ (135, 15) を用いた。図 5 に、送信機のアンテナそれぞれに対する点 B における受信電力を示す。どのビームも、送信機が壁に近づくに従って、受信電力が上昇していることが分かる。

最後に、床に受信機が存在している状況を想定して、受信機を点 C に設置して、送信機を $(x, 0, 2)$ に設置したときの2方向のビームの受信電力を評価した。従来人が利用することを前提とした無線ネットワークでは、天井や壁にアクセスポイントが設置されることが多かった。しかし、IoT デバイスでは設置場所が人の体格を想定する必要は無い。図 6 に、送信機のアンテナそれぞれに対する点 C における受信電力を示す。どの受信電力も、 $-2 < x < 2$ のときに、机や椅子に遮られることで約 20 dB 低下していることが分かる。ミリ波では直接波が届かなくなることで受信電力が大きく低下する。ビーム変調を用いたミリ波通信では、障害物の影響を考慮していく必要がある。

5 まとめ

本論文では、室内環境でビーム変調を用いたミリ波通信を想定して、送信機に使用するアンテナの種類や受信機の設置場所を変更した時の伝送特性の評価を行った。今後は、室内環境におけるビーム変調の制御手法について検討をおこなう。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 19K24352, 20K19787 の支援のもとに行った。

参考文献

- [1] E. Nisselson, A. Hunter-Syed, and S. Shah, "45 billion cameras by 2022 fuel business opportunities," Technical report, LDV Capital, New York, NY, Aug. 2017.
- [2] Z. Pi and F. Khan, "An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems," IEEE Communications Magazine, vol.49, no.6, pp.101–107, June 2011.
- [3] M.H. Mazaheri, S. Ameli, A. Abedi, and O. Abari, "A millimeter wave network for billions of things," Proceedings of the ACM Special Interest Group on Data Communication, pp.174–186, Aug. 2019.
- [4] 3GPP, "5G: Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz," 3GPP TR38.901 Version 14.0.0 Release 14, pp.1–90, 2017.