

準ミリ波・ミリ波帯高速無線システム用給電回路の研究

日大生産工(院) ○金原 朋也 日大生産工 新井 麻希, 黒岩 孝

1. まえがき

近年の無線通信端末の急激な普及に伴い, 無線通信のさらなる大容量化が求められている. 大容量無線通信の実現のため, 広帯域を持つ高周波数帯の利用が検討されている. 著者らは準ミリ・ミリ波帯での大容量通信に向けて, 通信エリア内に極小セルを高密度に配置するマルチビーム伝送システムを提案し, 通信エリア内の通信路容量向上の検討を進めている[1], [2]. 多数のアンテナ素子及び誘電体レンズ給電回路 [3] により狭ビームを形成することで極小セルを高密度に配置することが可能である一方で, セルの密度が高くなるにつれて狭ビームのサイドローブの影響によるユーザ間干渉の影響が大きくなり, 通信路容量の劣化が生じる. さらなる通信路容量向上のため, ユーザ間干渉低減を考慮した誘電体レンズ給電回路の設計が必要である. 本稿では, ユーザ間干渉低減が可能な給電回路構成の基礎検討として, 狭ビームを形成するアナログのビームフォーミング (BF) と同時にデジタルBFも行うハイブリッドBFを適用し, ユーザ間干渉低減による通信路容量改善効果を数値解析によって検討したので報告する.

2. システムモデル

2.1 システムモデル

提案するマルチビーム伝送システムモデルを図1に示す. 高周波数帯では伝搬損失が大きく電波は強い直進性を持つことから, 見通し内での通信が必要となるため, 頭上方向に基地局 (BS) を設置し, 地上のユーザ端末へ向けて複数のビームを照射する. 本システムでは図2のように基地局側において誘電体レンズ回路によるアナログBFとデジタルBFを組み合わせたハイブリッドBFを用いることを想定している. このとき, BSから全ユーザ端末までの受信信号 $\mathbf{y}$ は次のように表される.

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{W}_a\mathbf{W}_d\mathbf{s} + \mathbf{n} \quad (1)$$

ここで, $\mathbf{H}$ は基地局アンテナから全ユーザ端末までの見通し伝搬路行列, $\mathbf{W}_a$ はアナログBFウェイト行列, $\mathbf{W}_d$ はデジタルBFウェイト行列である. $\mathbf{s}$ は送信信号, $\mathbf{n}$ は雑音を表す.

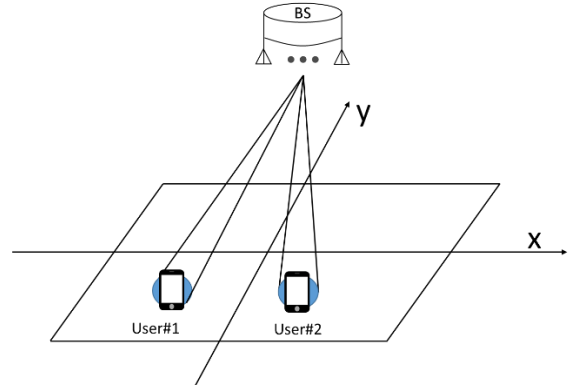


図1 マルチビーム基地局システムモデル

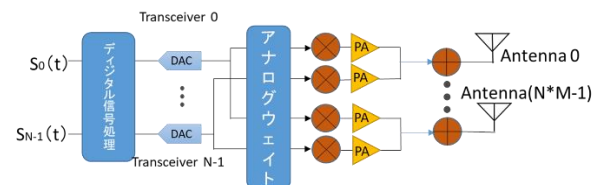


図2 ハイブリッドBF構成図

2.2 BFウェイトの計算

本検討では, アナログBFウェイト行列の一例としてDFT行列を用いる. そしてデジタルBFウェイトはZF及びMMSEの2通りについて考える. 見通し伝搬路行列とアナログウェイト行列の積 $\mathbf{H}\mathbf{W}_a$ に対して, ZF [4]及びMMSE [4] によるウェイト行列 $\mathbf{W}_{ZF}$, $\mathbf{W}_{MMSE}$ をそれぞれ次のように求めた.

$$\mathbf{W}_{ZF} = \frac{(\mathbf{H}\mathbf{W}_a)^{-1}}{\|\mathbf{H}\mathbf{W}_a\|_F} \quad (3)$$

$\|\cdot\|_F$ はフロベニウムノルムを表す.

$$\mathbf{W}_{MMSE} = \frac{\mathbf{H}\mathbf{W}_a(\mathbf{H}\mathbf{W}_a(\mathbf{H}\mathbf{W}_a)^H - \alpha\mathbf{I})^{-1}}{\|\mathbf{H}\mathbf{W}_a(\mathbf{H}\mathbf{W}_a(\mathbf{H}\mathbf{W}_a)^H - \alpha\mathbf{I})^{-1}\|_F} \quad (4)$$

2.3 システム通信路容量の計算

通信エリア内の全ユーザ端末に対する通信路容量をシステム通信路容量と呼び, 式(1)及びシャノンの定理に基づき下記のように求める.

$$C = \log_2 \det(\mathbf{I} + (\mathbf{H}\mathbf{W}_a\mathbf{W}_d)(\mathbf{H}\mathbf{W}_a\mathbf{W}_d)^H) \frac{P_s}{P_n} \quad (5)$$

ただし, $\mathbf{I}$ は単位行列, P_s はストリーム当りの送信電力, P_n は雑音電力である.

Study on Power Supply Circuits for Quasi-millimeter-wave and Millimeter-wave Band High-speed Wireless Systems

Tomoya KANAHARA,
Maki ARAI and Takashi KUROIWA

3. 数値解析結果

3.1 数値解析条件

本検討における数値解析諸元を表1に示す。ユーザ数を4~100まで変化させ、ユーザ同士の間隔を一定とした。

表1 解析諸元

中心周波数	25 GHz
帯域幅	2 GHz
雑音電力	-80 dBm
送信電力	10 mW
エリア面積	$10 \times 10 \text{ m}^2$
基地局の高さ	10 m
基地局アンテナ素子間隔	$\lambda/2$, 2λ
送信アンテナ	1024 本
受信アンテナ	1ユーザー当たり1本
ユーザー数	4~100

3.2 数値解析結果

図3に基地局アンテナの素子間隔が $\lambda/2$ のときのアレー指向性パターンを示す。ここで λ は中心周波数における波長を表す。図中の黄色く描かれているメインローブが約25dB、サイドローブが-10dBと抑圧されていることがわかる。

ユーザ数に対するシステム通信路容量の解析結果を図4に示す。同図(a)のアナログウェイトのみの場合は干渉の影響が大きく通信路容量がユーザ数を増やしても増加せず、ZF, MMSEを用いたハイブリッドBFではアナログウェイトのみに場合に比べ通信路容量が大きい。一方で、ユーザ数が増えすぎるとサイドローブが抑圧されていても干渉成分の総和が大きくなるため、ハイブリッドBFでも通信路容量が劣化すると考えられる。基地局アンテナ素子間隔を変更した(b)では(a)と比べ、ユーザ数に対して通信路容量が大きくなっている。

4. まとめ

本稿では、準ミリ・ミリ波帯の運用に適したマルチビーム伝送システムにおいてユーザ間干渉低減のためハイブリッドBF構成を適用した場合の通信路容量特性について検討を行った。数値解析により、ユーザ間干渉低減のためのハイブリッドBFによる通信路容量の改善を確認できた。また、アンテナの素子間隔を変えることで、通信路容量が大きくなることが分かった。今後は得られた解析結果をもとに、基地局アンテナの最適素子間隔の導出及び誘電体レンズ給電回路の設計に関する検討を行う。

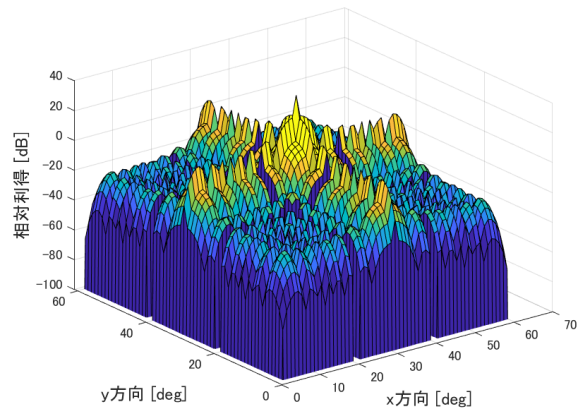
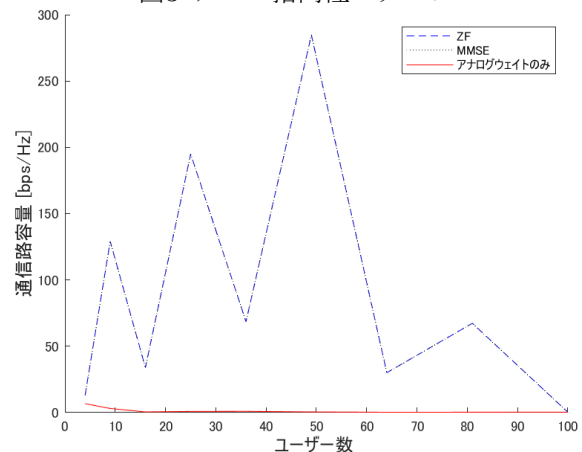
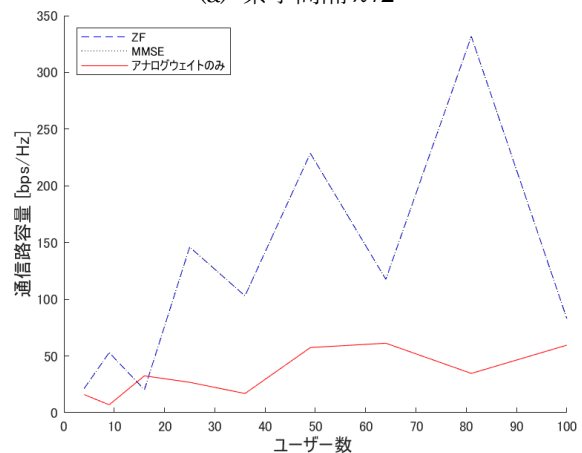


図3 アレー指向性パターン



(a) 素子間隔 $\lambda/2$



(b) 素子間隔 2λ

図4 ユーザ数に対するシステム通信路容量

参考文献

- [1] 加瀬他, ミリ波マルチビーム基地局における放射指向性の影響に関する検討, 2018 信学ソ大, B-19-2.
- [2] Y. KASE et al, "Study on the Number and Size of Cells Composed of Multiple-beam Transmission Base Station System," APMC2018, Nov.2018.
- [3] 関 他, 誘電体レンズを用いたマルチビーム給電回路の基礎検討, 2016 信学ソ大, B-1-122.
- [4] 西森健太郎, マルチユーザ MIMO の基礎, コロナ社, 2014 年, pp.89-90.