制御誤差を考慮したディジタルビームフォーミングの研究

1 はじめに

衛星移動体通信用のマルチビームシステムの送信機 として、従来、マルチポート増幅器が多数使 用されているがアナログ RF(無線周波数)回 路で構築されており、ビーム数が多くなると回 路は複雑となり、生産コストが高くなり、回 路損による性能劣化がある.一方、ディジタルビ ームフォーミング型マルチビームシステムを構築することによ り、従来のシステムと比較して、回路規模を縮小 することができ、高性能で経済的なシステムの実 現が期待できる[1].本システムでは、フェイズドアレイ を使用するために、アンテナ間隔の偏差、経路の 偏差などにより、位相と利得に誤差が発生す る.そこで、本報告では、本システムにおいて、位 相と利得に誤差が存在する時の放射パターンへ の影響を明らかにする.

2 システムの概要

ビームフォーミング ネットワークを用いたマルチビームシステムの 構成を Fig. 1 に示す. マルチビームを 1 つのフェス・イ ト・アレイで実現しており, それぞれのビームごと に異なる複素重み処理を行い, 複数のアレイアンテ ナ素子に給電される.

3 ビームフォーミングネットワーク型マルチビームシステの 原理

ビームフォーミングネットワークによりマルチビームシステムを実





Fig.1 デジタルビームフォーミングネットワーク型マルチビームの 送信機構成

現するためにフェイズドアレイアンテナが使用される.

フェイズドアレイアンテナは等間隔で複数個のアンテナが 並んだアンテナであり, アンテナ, 位相器, 加算器で 構成されている. 各アンテナ素子に供給する信号 の位相を制御すると任意の方向に信号を収束 させることができる.

電波を方位角 の方向に送信する場合,, アレイファクタ F()は,以下の式で与えられる.[2]

$$F(\theta) = \sum_{k=0}^{K-1} A_k e^{j(hkd_k \sin \theta + k\alpha)}$$
(1)
$$\alpha = -hd \sin \theta_0$$

A Study on Digital Beamforming Network considering Setting Errors Zhi Dong Liu and Masayoshi TANAKA ただし、 A_k 、 $k\alpha$ はそれぞれ k 番目の素子 に掛けられる重みと位相量である。 d_k はアンテ ナ素子の間隔である。 $h = 2\pi/\lambda$ 、 は波長、

は方位角, 。はビームの目標方向である.

ビームフォーミング ネットワークによるマルチビームシステムにお いては,iビームの信号の増幅器への入力信号

 $V(\theta)_{k,i}$ は、以下の式で与えられる.

$$V(\theta)_{i,k} = \sum_{k=0}^{K-1} A_{k,i} e^{j(h_k k d_k \sin \theta + k \alpha_i)}$$

$$h_i = 2\pi / \lambda_i$$
(2)

ここで、 A_{k_i} 、 $k\alpha_i$ はそれぞれ i Lⁱ - 4,k 番目

の増幅器に入力される信号の重みと位相量で ある.

(2)式によって3つの異なる周波数で,異なるビニム方向にビニムを放射させる例を Fig.2 に示している. Fig.2 においては,誤差を0とした理想的の状態である.3 つの異なる周波数で,それぞれ-20度,0度,20度の方向にビニムを放射させた.



Fig.2 3 つの異なる周波数で,異なる方向に 放射させたビームパターン(8 素子, d = 0.5)

4 設定誤差を考慮した放射パターン

ー次元配置マルチビームシステムにおいて, アンテナ間 隔の偏差, 各経路長偏差等の誤差を考慮した ビームフォーミングの放射パターンを検討した.

メインローフ のビ ーク値と半値幅, サイト ローフ のビ ー ク値に注目し, 設定誤差を与えてビ ームフォーミンク パ ターンの変化を解析した.

設定誤差として,利得は1dB,位相は10度 を仮定した.

Fig.3 は利得設定誤差の分布パターンを示す. ルイ素子の位置に対応して中間に小,両端に 大とした.

Fig.3 に示す利得設定誤差のみを考慮した 時の放射パターンを Fig.4 に示す. Fig.4 より, 誤差が存在する時のサイドローブのピーク値は理想 状態の時より大きくなることが分かる.しか し, メインローブへの影響は小さいことがわかる.



Fig.3 利得設定誤差の分布パターン



Fig.4 利得設定誤差を考慮した時の放射 パターン



Fig.5 位相設定誤差の分布パターン

Fig.5 は位相設定誤差の分布パターンを示す. ルイ素子の位置に対応して真ん中から一辺は 大とし,他の一辺は小とした.

Fig.5 に示す位相設定誤差のみを考慮した 時の放射パターンを Fig.6 に示す. Fig.6 より, 誤差が存在する時の位相と理想状態の時と差 は小さく,送信信号への影響は小さいことが わかる.

Fig.7 は利得と位相を同時に考慮した時の 放射パターンである.誤差のメインロープに対する影響が小さいことがわかる.しかし,サイト・ロープ が変化していることがわかる.

Fig.8 は送信信号の目的方向を 20 度にビー



Fig.6 位相設定誤差を考慮した時の放射 パターン(主ビーム方向は0度)



Fig. 7 利得と位相の設定誤差を考慮した 時の放射パターン(主ビーム方向:0度)

ム変化させた時の利得と位相の設定誤差を考慮した放射パターンである.これより,誤差の影響は非常に小さいことが分かる.

表1に利得と位相の設定誤差が存在する時 のメインローブへの影響をまとめたものを示す. 理想状態と比べ,利得1[dB],位相10度の誤 差が存在する時は,メインローブのピーク値の差は 約 -0.06[dB],半値幅の差は約 -0.85[deg], ビーム方向の差は約 0.06[deg] である.これよ



Fig.8 利得と位相の設定誤差を考慮した時の 放射パターン(主ビーム方向:20度)

り, 誤差の影響は非常に小さいことが分かる.

表 2 は利得と位相の設定誤差が存在し,送 信信号の目的方向を 20 度にした時のメイループ への影響をまとめたものを示す.表 1 と同様 に影響は非常に小さい.送信信号の目的方向 を変えても送信信号への影響がないことが分 かる.

5 まとめ

フェイズドアレイアンテナで3つの異なる周波数で,異 なるビーム方向にビームを放射させる例を示した. さらに 制御誤差を考慮したビームフォーミングを検 討した結果, ビームフォーミングに対する影響が非 常に小さく, 無視できる範囲内にあることを 明らかにした.

6 今後の課題

マルチビームシステムの送信器においては、多ビームの信号が同時に電力増幅される際に、増幅器の非線形特性により相互変調歪が発生し信号干渉を起こす。今後の課題としては誤差と増幅器の非線形特性を考慮して相互変調干渉の低減に取り組む。

表 1.誤差によるメインローブィ	への影響
------------------	------

誤差		理想状態との差		
利得	位相	ピーヶ値	半値幅	ビーム方
[dB]	[deg]	[dB]	[deg]	向[deg]
1	10	-0.06	-0.85	0.06

(主t^{*}-4方向:0度)

表 2. 誤差によるメインローブへの影響 (主ビーム方向:20度)

誤	誤差 理想状態との		差	
利得	位相	ピーク値	半値幅	ビーム方
[dB]	[deg]	[dB]	[deg]	向[deg]
1	10	-0.06	-0.85	0.06

「参考文献」

1) M, Tanaka, Multibeam Mobile Satellite Communication Payload with Beam -forming Network, AIAA, 25thICSSC, AIAA-2007-3179, 2007

2) John & Lo Litva Titus, Titus Kwok-Yeung Lo, "Digital Beam-forming in wireless communications", Artech House, Hardcover, Published September 1996