

DSP を用いたマルチビーム形成法の検討

— 可変ビーム・可変電力配分 —

日大生産工（院） ○ 佐藤 公則

日大生産工 田中 将義

1. はじめに

マルチビーム通信システムは、複数のビームを用いてサービスエリアを加えるシステムであり、衛星移動体通信に使用されている⁽¹⁾。1つのビームですべてのエリアを加えるシングルビーム方式に比べてマルチビーム方式では周波数の再利用ができ、また放射電力密度が増加するため伝送容量の増加、小型端末の利用等の利点がある。一方、マルチビームシステムでは、ビーム間のトラフィックが変動し、さらにサービスエリアごとに伝搬環境が異なるために、送信電力を可変にすることが望まれている。個別に電力増幅器を設ける構成では電力効率が低下するため、ビーム間で電力を有効に配分することが重要となる。この解決策としてマルチビーム増幅器が使用されている⁽¹⁾。さらに、トラフィック需要に応じてビームの方向を可変できる機能も期待されている。

そこで本研究では、フェイズドアレイアンテナを用いて、可変ビーム、ビーム間での電力配分が可変であるマルチビームシステムについての検討を行った。

2. 可変ビームと可変電力配分

フェイズドアレイアンテナ(Fig.1)は、複数のアンテナ素子を並べたアンテナである。それぞれの素子の入力信号の位相を変えて、指向性を変化させることが可能である。しかし、フェイズドアレイアンテナを実現するためには、分配回路(DIV)、可変位相器(VPS)を必要とし、回路規模が大きく、回路損失も大きくなる。一方、可変電力システムと

して、Fig2に示すマルチビーム増幅器(MPA)がある。各ポートをビームに対応させると、電力増幅器(HPA)を複数のビームで共用するためにビーム間のトラフィック変動に柔軟に対応可能であり、電力の有効利用が実現できる。このMPAを用いて可変ビームを実現するためには、HPA以降に多数のDIV、VPSを必要として、回路規模ならびに回路損失が大きくなり現実的ではない。

そこで、DSP(Digital Signal Processor)を使用して、演算処理により可変ビーム、可変電力配分を可能とするシステムの検討を行った。

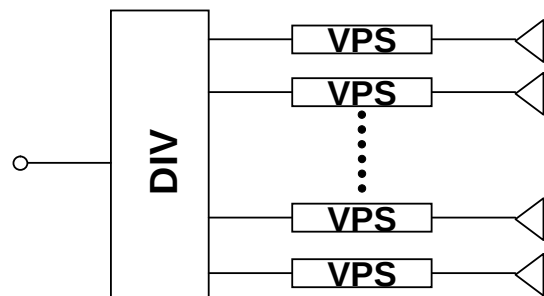


Fig.1 フェイズドアレイアンテナ

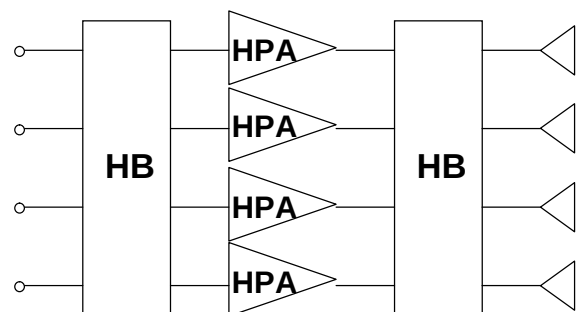


Fig.2 可変電力マルチビームシステム

A Study on Multi-Beam Forming using DSP

- Variable Beam Pattern and Variable Transmitting Power-

Kiminori SATOH and Masayoshi TANAKA

3. DSP を用いる利点

DSP(Digital Signal Processor) はアナログ回路をデジタル信号処理で実現することができる。また、従来のアナログ回路ではできない処理を行うことも可能である。

Fig3 のように DSP を用いたシステムでは、HPA 後にアンテナに直結することが可能となり、等価放射電力 (EIRP) を高めることが可能である。

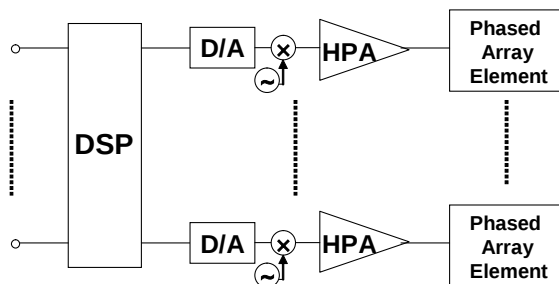


Fig.3 DSP による可変マルチビームシステム

4. DSP 制御フェイズドアンテナによるマルチビームシステム

4.1 MMSE(最小2乗誤差)法によるビーム間干渉の低減

フェイズドアンテナは、それぞれのアンテナ素子に入力する位相を変化させることにより指向性を変化させると同時に、所望の方向の利得を低減できる。本研究では、MMSE 法⁽²⁾を用いたフェイズドアンテナによる可変マルチビームの検討を行った。

MMSE 法を用いて他ビームへの干渉を抑圧する所望パターンと実際の出力信号との差(誤差信号)を最小にすることによって、最適な重みを決定した。この方式を用いることにより、アダプティブマルチビームと同時にあダプティブビームフォーミングを行うことが可能となる。

この MMSE 法を用いて、同一周波数での4ビーム、異なる周波数での4ビーム、そして、可変電力についての検討を行った。

4.2 4ビームの構成例

本検討では、フェイズドアンテナで4ビームのマルチビームを作成するシステム検討を行った。Fig.4 に検討したシステムの構成図を示す。

このフェイズドアンテナは、素子数12のアンテナである。4ビーム形成のために、4つの制御システムを使用している。それぞれ4つの制御システムの出力をアンテナ素子ごとに加算することによって、4ビームを実現している。

4.3 4ビーム可変電力機能の実現

次に、4ビームの送信電力の配分を可変にする場合について検討を行った。

全ビームの出力電力の総和が一定になるように、Fig.4 に示す電力調整をすることにより、各ビームごとに重み付けをして、電力を変化させている。

電力を可変にすることにより、ビームごとに送信電力を可変にすることが可能である。例えば、降雨地域に向かって電力を大きく、晴天地域の電力を小さくすることなどが実現可能である。

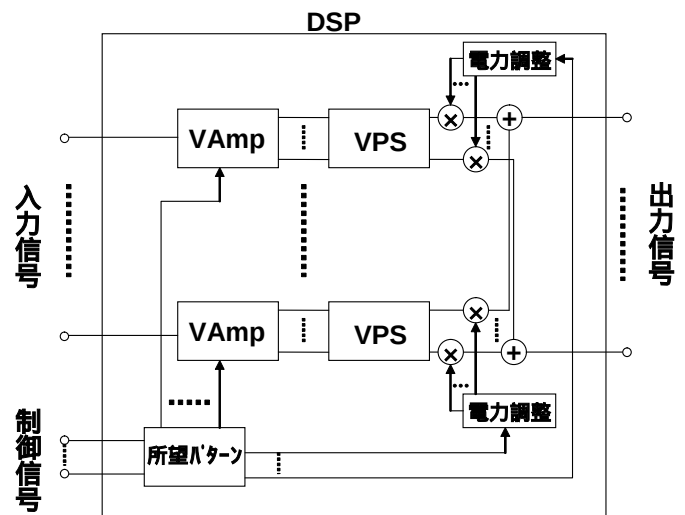


Fig.4 DSP によるフェイズドアンテナ（可変電力）

5. 検討結果

5.1 4ビームの形成

ファストアライメントの所望のビーム方向を-60度、-30度、0度、30度に設定した。干渉を避けるために他ビームに対しては刈点となるように設定した。

Fig.5 に指向性を0度に向けた場合の放射特性を示す。この放射特性は、MMSE法を用いて-60度、-30度、30度に刈スタックしたものである。それぞれの角度に刈点が生み出ているのが分かる。

Fig.6 はそれぞれビーム方向を左から順に、-60度、-30度、0度、30度に設定した場合の放射特性を同時に示す。それぞれの指向性が、刈点の上に形成されていることが分かる。また、Fig.7 に4ビームを合成した放射特性を示す。

Fig.8, Fig.9 は同一周波数で2ビームを形成した例である。Fig.10 はその二つを合成し、近接するビームで周波数を変えて4ビームを形成した例である。

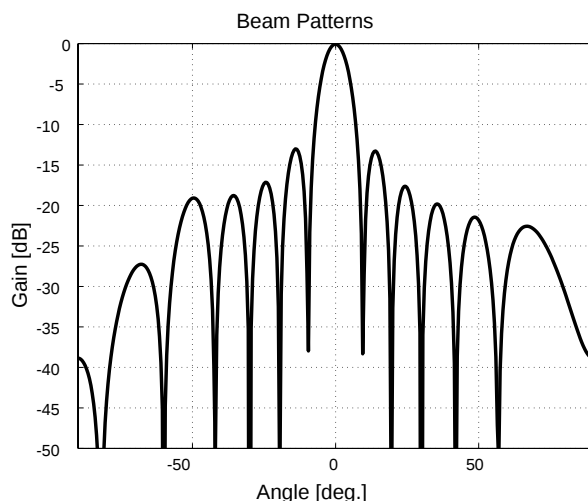


Fig.5 所望方向を0度、他のビーム方向を刈点としたパターン

4.2 4ビーム可変電力

Fig.11, 12 に4ビームそれぞれの電力を可変にした場合の放射電力(EIRP)特性を示した。Fig.11 は同一周波数の時の指向性を可変電力にしたものである。左から、15%、20%、35%、30%と電力配分したものである。Fig.12 は、

複数周波数の指向性を可変電力にしたものである。これも、同一周波数の時と同じ割合の電力配分とした。同一周波数を使用するビーム間では、理想的には互いに刈点であるために干渉は発生しない。

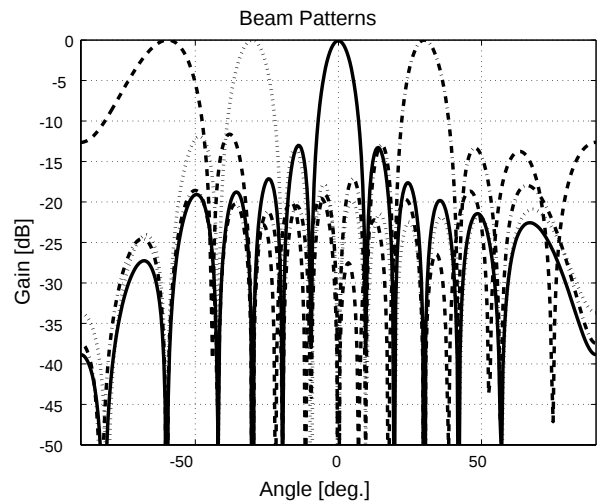


Fig.6 所望方向を-60、-30、0、30度、それぞれ他のビームの方向を刈点としたパターン

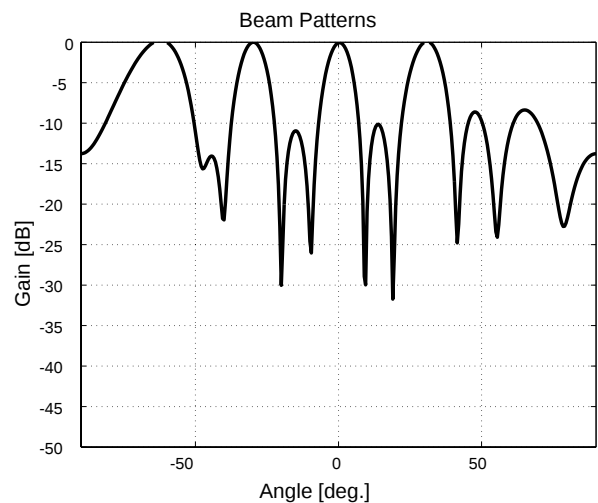


Fig.7 同一周波数による4ビーム形成(4ビーム合成波)

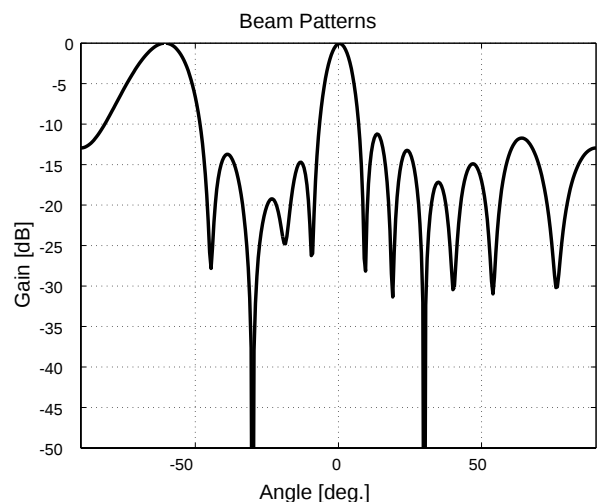


Fig.8 異なる2周波数による4ビーム形成(1)(2ビーム合成波)

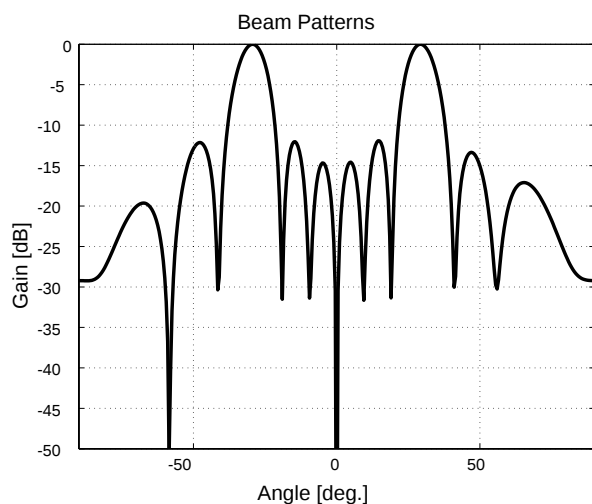


Fig.9 異なる2周波数によるビーム形成(2ビーム合成波)

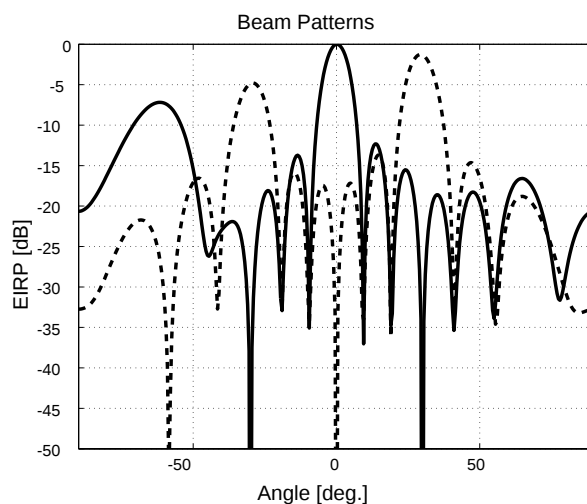


Fig.12 異なる2周波数による可変電力ビーム形成

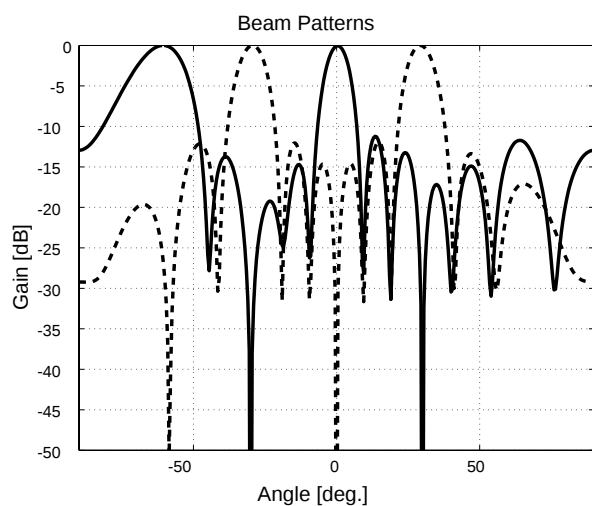


Fig.10 異なる2周波数によるビーム形成

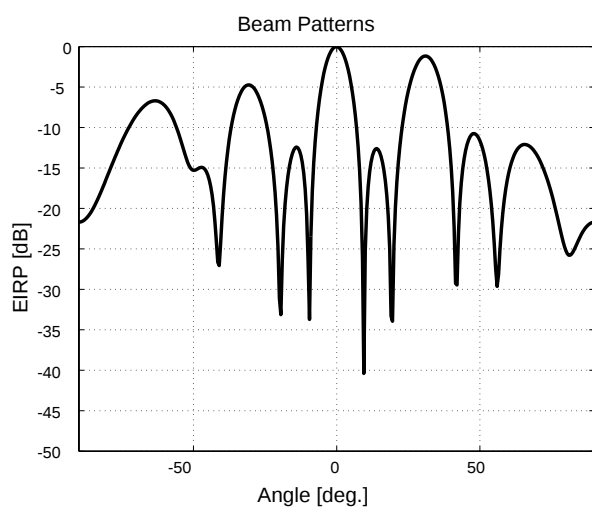


Fig.11 同一周波数の可変電力ビーム形成

6. 考察

今回の研究では、DSP を用いた可変ビーム・可変電力のビームシステムを検討し、MMSE 法のビームステアリングを使用することにより、特定の角度に零点を作りだし、同一周波数を使用するビーム間の干渉低減を実現した。

可変電力についても、任意の割合で電力配分が可能となり Fig.3 のシステムの実現性を確認できた。

7. むすび

本研究では、DSP を用いてビームシステムを形成するシステムについての検討を行い、従来マイク波帯のアナログ回路で実現していた機能を、DSP を用いて演算処理で実現することを目指した検討を行った。その結果、可変ビーム、ビームステアリングならびに可変電力配分が実現可能である見通しを得た。

よりビームを細くすることにより、狭いビーム幅での通信を可能にするシステム構成実現が今後の課題である。

参考文献

- (1)M.Tanaka and K.Yamamoto, AIAA-98-1248, pp190-200, 1998.
- (2)菊間信良, “アダプティブアンテナ技術”, オーム社