ディジタルビームフォーミングを用いたマルチビームシステムにおける

混変調干渉波低減に関する研究

日大生産工((院)	〇正木	秀明
日大生産工		田中	將義

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 -ビスエリアをか、一するシステムであり、衛星移動体通 信に使用されている.1つのビームで全てのエリア をカバーするシングルビーム方式に比べてマルチビームシス テ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. 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 築されており回路規模が大きく複雑であり経 済化が難しい. そこで, DSP あるいは FPGA を用いたディジタルビームフォミング (DBF) 型マルチビ -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機 能で経済的なシステムが実現可能である. この通 信システムの最終段に使用される電力増幅器

(HPA)では複数の信号を同時に増幅するために相互変調歪が発生する.

そこで本研究では HPA で発生する相互変 調歪干渉低減の検討を行った.

2. システム構成と原理

Fig1に本研究で対象としている DBF を 用いたマルチビームシステムの構成を示す. マルチビームを 1つのフェイズドアレイで実現し,各ビームの入力信 号は複素重み処理した後, HPA で電力増幅 される.各 HPA では,他の送信信号と合成 され電力増幅器に入力するため,すべての信 号波の共通増幅となり, HPA の非線形特性に より,相互変調歪が発生する.

フェイズドアレイアンテナのアレイファクターFは以下の式で 与えられる





Fig1 デジタルビームフォーミングネットワーク型送信機

A Study on Nonlinear Distortion Interference Reduction in Multibeam System with Beam Forming Technology Hideaki MASAKI and Masayoshi TANAKA

3. 電力増幅器で発生する混変調

複数の信号を同時に共通増幅を行った際, 入力された入力信号の周波数に関係して歪が 発生する.3 波の異なる周波数 f_1, f_2, f_3 が入 力された場合,3 次混変調歪の周波数は次の 式で与えられる.

 $f_{1(IM3)} = -f_1 + f_2 + f_3$ $f_{2(IM3)} = +f_1 - f_2 + f_3$ $f_{3(IM3)} = +f_1 + f_2 - f_3$ (2)

また発生する歪の位相 $\phi_{i(M3)}$ は入力の信号

の位相 ϕ, に依存して次式で与えられる.

 $\phi_{1(IM3)}(\phi_{1},\phi_{2},\phi_{3}) = -\phi_{1} + \phi_{2} + \phi_{3}$ $\phi_{2(IM3)}(\phi_{1},\phi_{2},\phi_{3}) = +\phi_{1} - \phi_{2} + \phi_{3} \qquad (3)$ $\phi_{3(IM3)}(\phi_{1},\phi_{2},\phi_{3}) = +\phi_{1} + \phi_{2} - \phi_{3}$

すなわち歪は式(3)で決定されるビーム方向 に出力される.

共通増幅器より発生する歪と入力の周波数 の関係をあらわすと Fig2 のようになり,信号 の周波数によっては中心の信号周波数と発生 する歪の周波数が同一となり干渉が発生する.



Fig 2 増幅モデル

4. 混変調歪を低減する周波数配置

4.1 信号波と歪の放射パターン

非線形歪の歪成分の位相は式(3)に示すよ うに入力信号の位相に依存する.したがって, フェイズドアレイアンテナを用いた電力合成においては, 入力波の位相関係で決定されるビームに出力さ れる.この特性を利用し干渉波と通信波を異 なるビームに振り分けることにより干渉低減が 可能である.各ビームに周波数を割り当てる際 に,左から低い周波数順に f1,f2,f3と割り当て た場合の信号波のビームと歪波の放射パターンを **Fig3** に示す. 周波数 f1 に注目すると信号波の 主t^{*}-ムと歪の主t^{*}-ムが重なっており発生した 歪と信号波の周波数が同一周波数であるため, 歪のt^{*}-ムが入力の主t^{*}-ムに干渉し通信機能を 劣化させる.



Fig 3 ビーム配列1と放射パターン

4.2 歪の放射パターンの制御

入力波の位相依存性を利用して,信号ビーム と歪ビームを異なる方向に制御すると,干渉を 避けることができる.各ビームへの周波数の割 り当てを左から f2,f1,f3と割り当てた場合の放 射パターンを Fig4 に示す.周波数 f1の主ビームと f1 の歪のビームの向きが異なる方向を向いてお り,主ビームにあたえる影響が少なくなること が分かる.



Fig4 ビーム配列 2 と放射パターン

5. 逐次入替法による準最適な周波数配 置の決定

ビームに割り当てる周波数配列を変化させる ことにより,干渉する歪の量が減少する.この ことを利用し干渉する歪が少なくなる準最適 な周波数配置を以下のアルゴリズムで求めた.



キャリアを周波数順に順次ビームに配列した場合を Fig5に記す.一方,このアルゴリズムにより求め た準最適キャリア配列での干渉数を Fig6に記す. 両者を比較すると、本アルゴリズムによりキャリアを 順次配列した場合より3次混変調歪が減少し 約10dBの改善効果が得られる.

キャリア数をN, ビーム数とMとした場合, 最適 なキャリア配置を求めるには N^M回の処理が必要 であり, 準最適アルゴリズムでも N×M 回と多く の処理が必要となる.

6. ランダム配置による効率的な周波数配置の決定

キャリア配列を効率的に求める方法としてキャリア 配置を数回のランダ、ム配置で決定する方法を検 討した. ランダ、ム配置での結果を Fig7 に記す. Fug.5 と比較すると,約8.8dBの改善効果が 得られる. Fig.6 の準最適配列と比較すると 改善効果が少し低下するが処理回数が大幅に 減少し,十分な改善効果が得られることが分

7. 二次元マルチヒ[゙]ームにおける周波数配置 法

かる.

ビームの所望方向を Fig.8 に記すような二次元 に放射しする場合の検討を行った.1 次元と 同様に各エリアに割り当てるキャリアを順次配列し た場合の3次混変調歪の干渉量を Fig9 に記 す.





Fig6 準最適配列 (100 キャリア, 8 ビーム構成)



Fig7 ビームランダム配置 (100 キャリア, 8 ビーム構成)

7.1 二次元マルチビームにおける周波数再利用の 配置法

次隣接ビームにおいてキャリアの再利用の検討を 行った.ビーム#1, #3, #5 の領域,ビーム#2, #4, #6 の領域,ビーム#7 の領域で区切りそれ ぞれの領域では同一キャリアの再利用を行い.各 キャリアに干渉する3次混変調歪の干渉量の検討 を行った.7ビーム構成で33キャリアを次隣接領 域で再利用する検討を行った.1 次配列同様 にビーム配列を準最適アルゴリズムで決定したキャリア 配置の結果を Fig10 に示す.また, キャリア配置 を数回のランダム配置により求めたものを Fig11 に示す.

二次元ビーム配列において次隣接ビームで周波 数の再利用を行い,順次配列を行った場合と 準最適アルゴリズムで求めた配列,ランダムビーム配列 で求めたものと比較した場合,準最適配置で は約 6dB の改善効果があり, ランダム配置では 約 5.3dB の改善効果が得られた.一次元配列 と同様にキャリア配列では準最適配置より改善効 果が減少するが処理回数が大幅に減少し,+ 分な改善効果が得られることが分かる.

8. 考察

ビームフォーミング ネットワークを用いた送信機では,各 ビームへの周波数割り当てを適切にすることに より電力増幅器で発生する3次混変調歪を主 ビーム以外の方向に制御可能であり,干渉を低 減できること明らかとした.

9. むすび

本論文では、二次元ビーム配列での送信信号 の主ビームと干渉を与える同一周波数の3次混 変調歪のビームを分離する方法を明らかにした. この結果、3次歪の影響が緩和され電力増幅 器を効率の良好な飽和点近傍で動作させるこ とが可能となり、送信機の低消費電力化が可 能となる.今後は、主ビームへの影響を抑えて、 歪のレベルを低減するアレイアンテナの各素子の重 み最適制御法を明らかにしていく.

参考文献

[1] 正木,田中"ディジタルビームフォーミングを用いたマルチビー ムシステムにおける相互変調干渉の低減方法,通信ソサイエテ ィ大会,B-3-8,2006

[2]正木,田中"マルチキャリア増幅時の相互変調歪低減法の 検討",37回日本大学生産工学部第学術 講演会,P83 2-22

[3]佐藤,田中"DSP を用いたマルチビーム形成法の検討", 第 36 回日本大学生産工学部学術 講演会, P95 2-26, 2004 [4]佐藤,田中,"DSP を用いた衛星マルチビームシステムの検討 -可変ビーム可変電力配分-",信学総全大,B-3-20, 2005 [5]John Litva T.K.Lo, Digital Beamforming in Wireles Communications,Artech House,1996



Fig 8 二次元ビーム配列



Fig 9 順次配列 (100 キャリア, 7 ビーム構成)



Fig 10 準最適配置 (100 キャリア, 7 ビーム構成)



Fig 11 ランダムビーム配列(100 キャリア,7 ビーム構成)