

高効率空間重畳型32APSK通信の研究

日大生産工(院) ○渡辺 伍

日大生産工 田中 將義

1. はじめに

32値振幅位相変調(32APSK)等の多値変調は1シンボル当りの情報量が多く1度に多くの情報が伝送可能となり、周波数の有効利用が可能である。その反面、被変調波の振幅変動が大きくなるため電力増幅器(HPA)に高い線形性が要求され、線形性確保のため出力をバックオフする結果、電力増幅効率が低下する課題がある。

この問題を解決する方法として筆者等は、多値変調波を振幅変動の小さい複数の変調波に分割し、個別に高効率電力増幅後に空間でベクトル合成する空間重畳型多値変調を提案しており⁽¹⁻⁷⁾、32値振幅位相変(32APSK)波についても空間重畳に適した空間配置を明らかにし、高効率動作が可能であることを明らかにした⁽⁸⁻¹²⁾。

今回、新信号空間配置の多値変調波を一括で増幅する方法と空間重畳で実現する方法を組み合わせ、Bent-pipe型の衛星通信システムの低消費電力化の検討を行い、実現可能な見通しを得たので報告する。

2. 多値変調通信システムの概要

2.1 通信システムの概要

Fig.1に衛星通信のシステム構成を示す。まず、デジタル信号を変調(Mod)し、その後フィルタ(Filter)によって送信波形を整形し、電力増幅器(HPA)によって増幅し、受信側のフィルタで再度フィルタリングを行い復調(Demod)してデジタル信号を受信する。

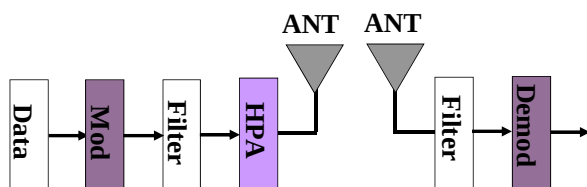


Fig.1 Conventional satellite communications system.

2.2 電力増幅器の入出力特性と効率

ワイヤレス通信において、送信機の最終段に位置するHPAでレベルを高め、アンテナから送信する(Fig.1参照)。送信機器の中でHPA消費電力の占める割合が大きく、HPAの効率が全体の消費電力を決定している。

Fig.2に電力増幅器の入出力特性と効率を示す。効率は非線形領域にいくにつれて高くなり、線形領域では効率は低下する。HPAに高い線形性が要求される場合、出力バックオフをする結果、電力増幅効率が低下する。

したがって、非線形特性による伝送特性の劣化を抑えつつ、非線形領域で動作させることが可能となれば、高効率動作が実現する。

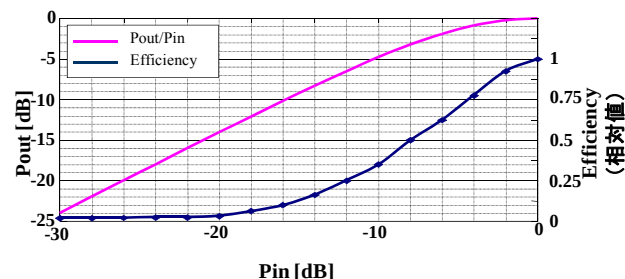


Fig.2 HPA characteristics and power efficiency.

2.3 従来型32APSKシステムの課題

従来の32APSKの信号空間配置とシステム構成をFig.3に示す。

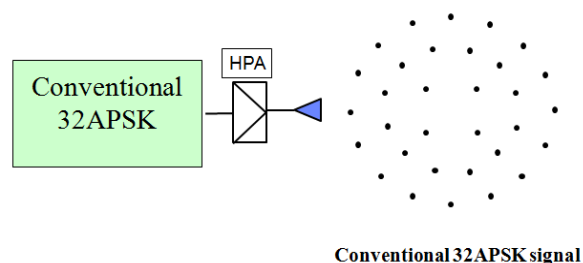
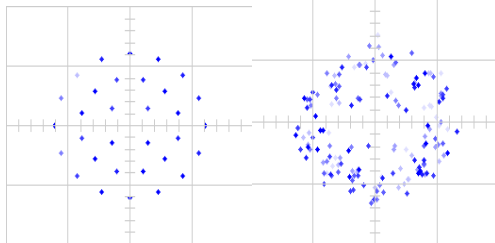


Fig.3 Configuration of conventional 32APSK system.

32値多値変調波信号配置は同心円上に配置され、一括電力増幅後に送信される。Fig.4 (a)と(b)にこの32APSKの線形動作(出力バックオフOBO=5dB)と非線形動作時(OBO=1.5dB)の電力増幅後の信号空間配置図を示す。電力効率の良い非線形領域で増幅すると、各信号点が大きく変動し伝送特性が劣化することが分かる。



(a) linear (OBO=5dB) (b) nonlinear (OBO=1.5dB)

Fig.4 Influence of non-linear effect on signal constellation.

3 提案システム

筆者等が提案する信号空間配置をFig. 5に示す。この信号空間配置の32APSK波を空間重畳型と32値一括増幅型で送信するシステムを実現する。

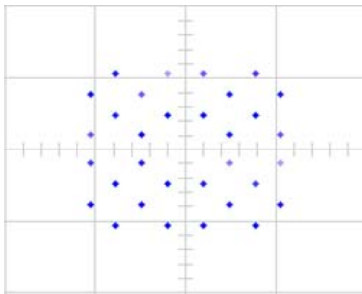


Fig.5 Constellation of proposed 32APSK signal

3.1 空間重畳型多値変調

(1) 特徴

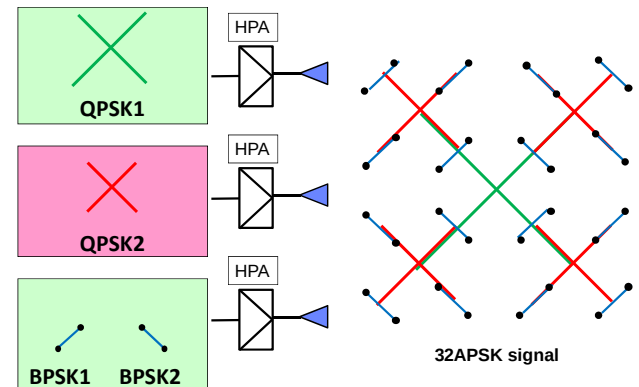
多値変調波を振幅変動の小さい複数波に分離した後、それぞれ個別に非線形高効率電力増幅し、空間でベクトル合成することにより、周波数の有効利用と消費電力の低減を同時に実現する。

(2) 原理

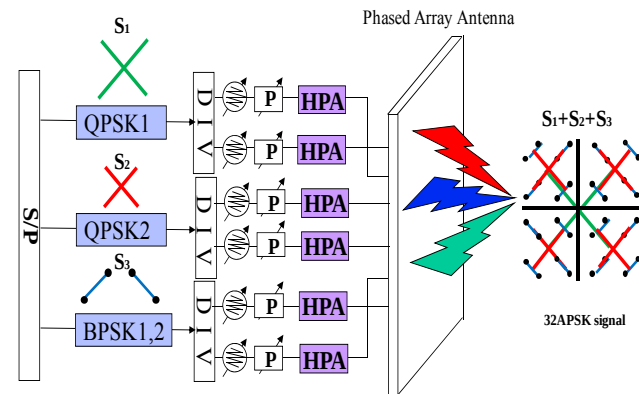
Fig.6(a)と(b)に空間重畳型32APSKの原理と構成例を示す。

レベルの異なる2波のQPSKと1波のBPSK変調を行い、その後各々個別に高効率電力増幅を行う。その後フェーズドアレイアンテナから3波を放射し、空間でベクトル重畳合成し、Fig.5に示した

信号空間配置を有する32APSK波を実現する。



(a) Principle



(b) Configuration

Fig.6 Spatially superposed 32APSK modulation system.

3.2 32値一括多値変調

提案する信号空間配置を1波で実現する構成をFig.7に示す。

32値多値変調波を線形領域で電力増幅を行う。その後アンテナから放射し、新しい信号空間配置の32APSK波を実現する。

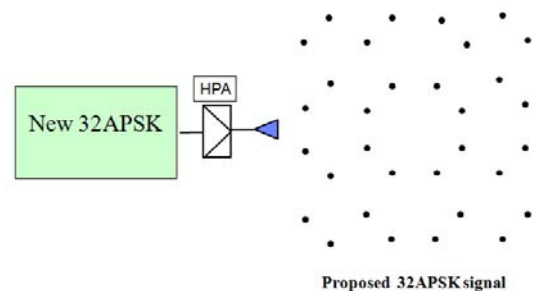


Fig.7 Configuration of new 32APSK using one wave.

4. 32APSK変調の特性評価

提案した32APSK波を空間重畳した場合と32値一括変調する場合について、Bit Error Rate(BER)特性を解析により評価し、従来方式と比較を行った。さらにHPAでの消費電力を評価し、Fig.3に示した従来方式の消費電力と比較を行い、消費電力の低減効果を検討した。

4.1 空間重畳型の特性

(1) BER特性

非線形動作であるHPAの1.5dB出力バックオフ(OBO)点における空間重畳型32APSKと線形動作時の従来方式のBER特性の比較をFig.8に示す。

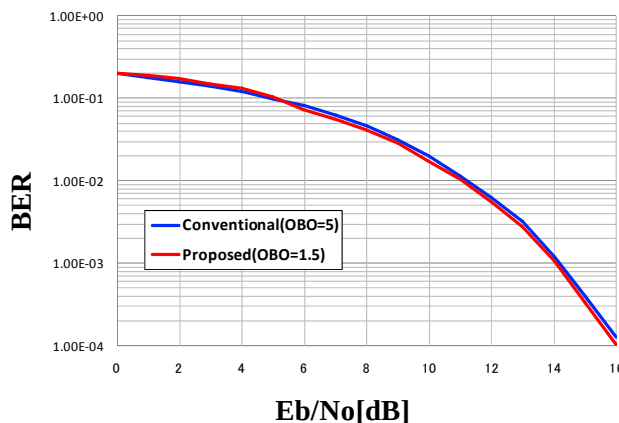


Fig.8 Comparison of BER performance between proposed system (nonlinear) and conventional system (linear).

高効率・非線形動作である提案システムと従来の線形動作のBER特性がほぼ同一であることから、提案システムは従来方式よりも高効率動作が実現できることを示している。

(2) HPA消費電力比較

上記の検討で、提案システムはHPAの高効率動作である非線形領域での増幅が可能であることが分かった。これによる低消費電力化の効果を評価した。HPAの消費電力 P_{dc} は以下の式で与えられる。

$$P_{dc} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (1)$$

ここで P_{out} は出力、 η は電力効率である。

Table 1は空間重畳型32APSKと従来の32APSKの消費電力の比較を示す。Fig.8でBER特性が一致した時のOBO点において、空間重畳型32APSKをOBO=1.5[dB]で動作させた時の消費電力を1とすると、従来の32APSK

をOBO=5[dB]で動作させた時の消費電力は2倍であり、従来の32APSKをOBO=9[dB]で動作させた時の消費電力は4倍となる。

Table 1 Comparison of power consumption

Scheme	TWT OBO (dB)	Power consumption (relative)
Proposed (Spatially superposed)	1.5	1
Conventional	5.0	2
	9.0	4

4.2 一括変調型の特性

(1) BER特性

Fig.9は線形動作(OBO=5dB)時の従来方式と一括変調型の32APSKのBER特性を示す。

一括変調型のBER特性は従来方式とほぼ同一である。よって一括変調型の提案システムは従来方式と同等の伝送性能が実現できる。

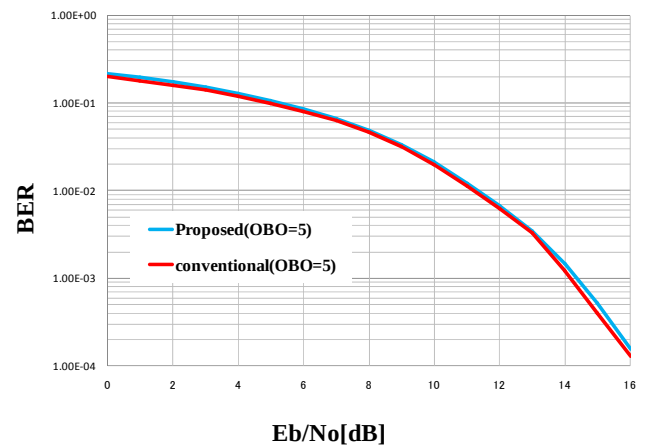


Fig.9 Comparison of BER performance between proposed system with one beam and conventional system.

(2) HPAの消費電力比較

Table 2は提案する32APSKと従来の32APSKの消費電力の比較を示す。

Fig.9でBER特性が一致した時のOBO点において、一括変調型32APSKをOBO=5[dB]した時の消費電力を1とすると、従来の32APSKをOBO=5[dB]した時の消費電力は0.99とほぼ同等である。

Table 2 Comparison of power consumption

Scheme	TWT OBO (dB)	Power consumption (relative)
Proposed (Non-superposed)	5.0	1
Conventional	5.0	0.99

以上の検討結果から，提案する信号空間配置は空間重畳を用いた場合，従来技術に比べて消費電力を1/2以下に低減可能であり，一括変調型の場合は従来技術とほぼ同等の消費電力であることがわかった。

5 本提案方式の適用例

以上の検討結果から，本提案方式が適用可能な衛星通信システムを検討した。

5.1 Bent-pipe方式を用いた衛星放送

上りの信号の周波数を変えて，増幅後に下りとして送信するBent-pipe型の衛星システムにおいて，上りは空間重畳方式，下りに一括増幅型を適用した例をFig.10に示す．本提案方式を適用するとTable 1に示す消費電力の比較より，uplinkにおいて従来方式より消費電力を1/2以下低減が可能である．Downlinkにおいては，Table 2より従来方式とほぼ同一の消費電力であるので，総合で上りの消費電力を1/2以下に低減が可能である。

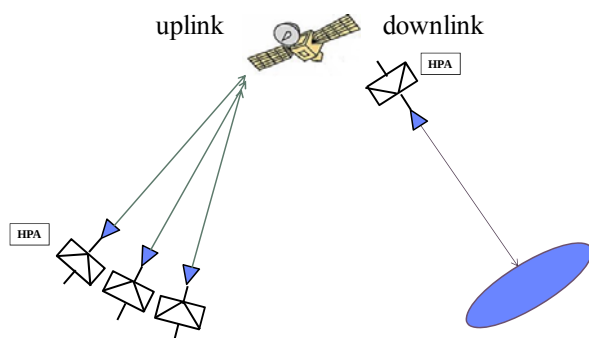


Fig.10 Proposed system for bent-pipe satellite communications systems.

5.2 再生中継方式に用いた場合

Fig.11は衛星内で一度デジタル信号に復調する再生中継の衛星を用いた場合であり，上り，下りの回線に空間重畳方式を適用した例である。

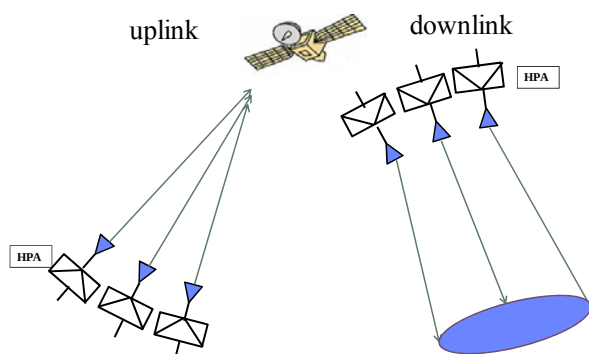


Fig.11 Proposed system for regenerative satellite communications systems.

Table 1の消費電力の比較より uplinkにおいて従来方式より消費電力を1/2以下に低減が可能である．さらにDownlinkにおいても従来方式より消費電力を1/2以下に低減が可能である．よって本提案方式を再生中継システムに用いた場合，総合で低消費電力化が可能である。

6 まとめ

高速大容量が可能な衛星通信方式として32APSKが注目されている．しかし送信時の電力効率が低下する課題がある．この解決策として，新たな信号空間配置を提案し，空間で3波の振幅変動の小さい変調波を重畳合成する空間重畳方式と一括変調型を組み合わせた衛星システムを提案した。

空間重畳した場合には，線形動作時の従来方式と非線形動作時の本方式のBER特性が同等であり，低消費電力化(1/2以下に低減)が可能であることを示した．また32値一括変調型の場合，従来方式とBER特性が同等であり，消費電力もほぼ同等であることを示した。

よって本提案システムは，Bent-pipe方式，再生中継方式の両方に適用可能であり，いずれも低消費電力化が可能となる。

今後は，更なる低消費電力化の可能性を検討していく。

謝辞

本研究はJSPS科研費24560480の助成を受けたものです。

参考文献

- (1)M.Tanaka,AIAAICSSC2003,AIAA-2003-228 8,2003,April.
- (2)田中, シミュレーション, 第24巻, 1号, pp75-82,2005.
- (3)M.Tanaka,AIAA,ICSSC2005,I000249,2005,Sept.
- (4)M.Tanaka,H.Madate,AIAA,ICSSC-2010-868 1,2010,August.
- (5) 間館, 田中, 信学技報,SAT2010-85,2011-2.
- (6) 間館, 田中, 信学総全大,B-3-30,2011.
- (7)M.Tanaka,H.Madate,AIAA,ICSSC2011,AIAA-2011-8026,2011, Nov.
- (8)渡辺, 田中, 信学会サテライト大,B-3-19,2011
- (9)飛内, 田中, 信学会サテライト大,B-3-18,2011
- (10) European Telecommunications Standards Institute EN 302 307 v1.1.1.
- (11) 渡辺, 田中, , 信学総全大, B-3-17,2012
- (12)M.Tanaka,T.Watanabe, & M.Tobinai, AIAA ICSSC2012, 6-1,pp1-10, Sept.