

空間重畳型32APSK多値変調システムの検討

日大生産工(院) ○渡辺 伍

日大生産工 田中 将義

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により、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が提案されている。今までに16QAM(直交振幅変調)や64QAMのような 2^{2n} -QAMでは、有効であることを示してきた^{(1)~(6)}。最近、高度衛星デジタル放送の方式として多値変調である32APSK変調が注目されている。

そこで本研究では、これまで検討してきた多値変調とは異なる信号空間配置である32APSKについて検討を行い、32APSK波について、あらたに空間重畳に適した信号空間配置を提案し、空間重畳が実現可能であり、低消費電力化が可能との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にワイヤレス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。

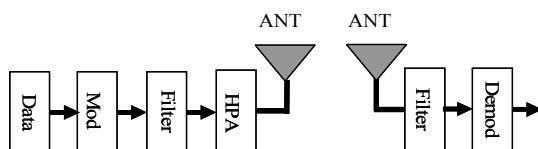


Fig.1 Conventional wireless communication system

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。

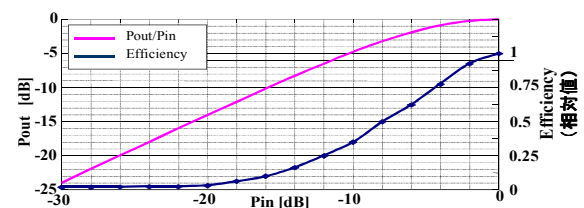


Fig.2 HPA characteristics and efficiency

2.3 従来型32APSKの非線形歪の影響

Fig.3は従来の32APSKの信号空間配置を示す。(a)は多重リング型の32APSKで、(b)は格子型の32QAMである。

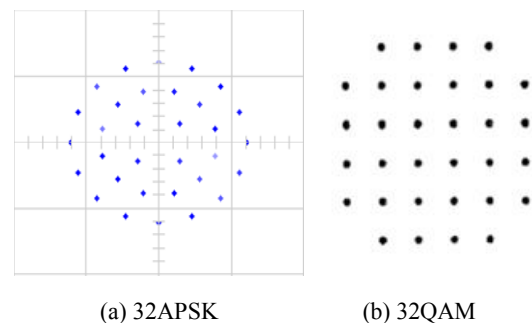
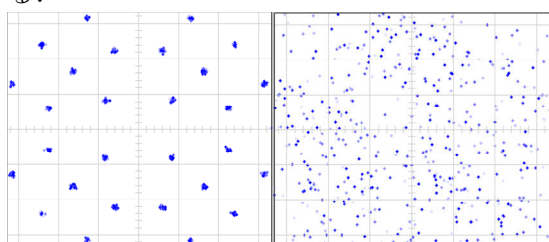


Fig.3 Conventional Signal constellation

Fig.4(a)と(b)に従来の32APSKの線形動作(出力バックオフOBO=9dB)と非線形動作時(OBO=1.5dB)の信号空間配置図を示す。

非線形領域で増幅した結果、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。

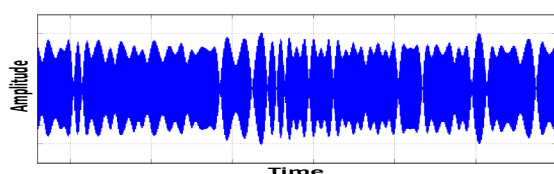


(a) linear (OBO=9dB) (b) nonlinear (OBO=1.5dB)

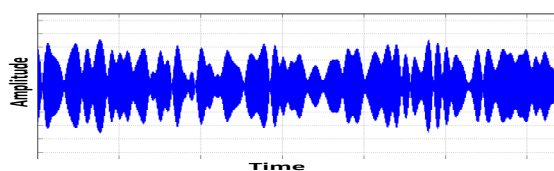
Fig.4 Influence of non linear effect on signal constellation

2.4 多値変調波の振幅変動の比較

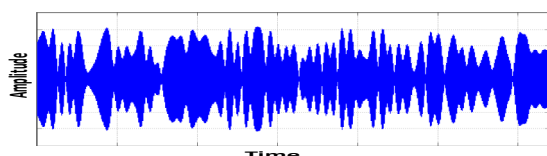
多値変調波は、帯域制限した後にHPAに入力される。この入力信号の振幅変動を検討した。Fig.5は帯域制限後のQPSK（4 相位相変調）波、32APSK波、32QAM波の振幅変動例を示す。図よりQPSK波は32APSK波や32QAM波より振幅変動が小さい。BPSK（2 相位相変調）波もQPSKと同様に変動が小さい。



(a)Filtered QPSK



(b)Filtered 32QAM



(c)Filtered 32APSK

Fig.5 Signal envelope of roll-off filtered modulation wave

振幅変動を定量的に評価するためにピーク電力と平均電力の比である PAPR (peak to average power ratio)を用いた。

Table 1はそれぞれの変調方式のPAPRを示す。このPAPRの値はフィルターを通した後の値である。32APSKと32QAMは5.2[dB]と5.6[dB]

となり、QPSK、OQPSK、BPSKはそれぞれ3.8[dB]と前者よりもPAPRは小さくなった。

これより、多値変調波を振幅変動の小さいQPSK波あるいはBPSK波で合成すればHPAでの高効率動作が期待できる。

Table 1 Comparison of Peak to Average Power Ratio

Modulation	PAPR[dB]
Filtered 32APSK	5.2
Filtered 32QAM	5.6
Filtered QPSK	3.8
Filtered OQPSK	3.8
Filtered BPSK	3.8

3 空間重畳型多値変調システム

3.1 特徴

2.4での検討結果をもとに、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。

3.2 原理

Fig.6に空間重畳型32APSKの原理と提案する信号空間配置を示す。

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。その後アンテナから3波を放射し、空間でベクトル重畳合成し、32APSK波を実現する。

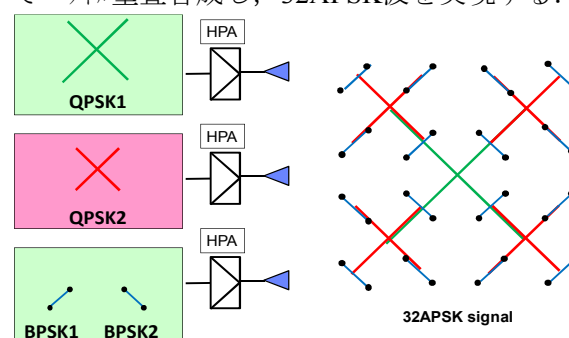


Fig.6 Principle of spatially superposed 32APSK modulation system

Fig.7は3個の変調波の信号空間配置を示している。それぞれの原点からの距離を r_1 , r_2 , r_3 とする。

Fig.8に示す信号点間の幾何距離 d は雑音に対する耐性を示しており、信号点間距離 d^2 /平均送信電力が大きいほど伝送特性が良好となる。そこで、この値が最大となる条件を検討した。Fig.9は $r_2/r_1, r_3/r_1$ の最適値を示している。

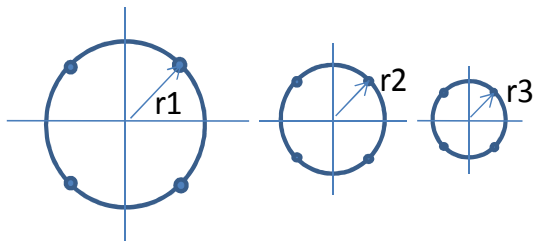


Fig.7 Signal constellation of two QPSKs and one BPSK

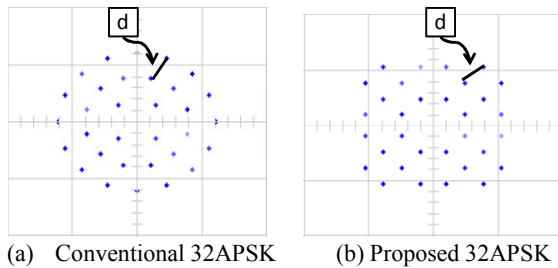


Fig.8 Signal constellation

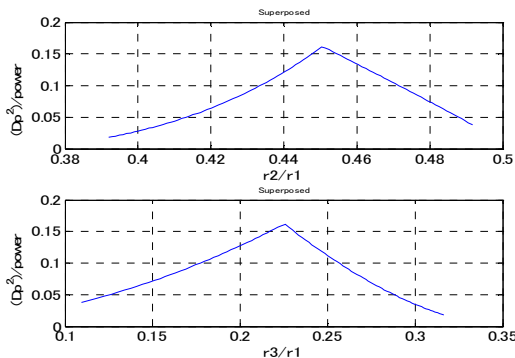


Fig.9 The square of the distance between signal points/ average transmitted power versus $r2/r1$ and $r3/r1$

Table 2に従来方式と空間重畳型32APSKの信号点間距離 d^2 /平均送信電力を示す. 従来方式の32APSKと空間重畳型32APSKの信号点間距離 d^2 /平均送信電力の値の差異は小さく, 熱雑音による影響に大差はない.

Table 2 Comparison of the square of the distance between signal points/ average transmitted electric power

	Conventional 32APSK	Proposed 32APSK
信号点間距離 d^2 /平均送信電力	0.1632	0.1603

3.3 システム構成例

Fig.10に空間重畳技術を適用した32APSKシステムの具体的なシステム構成例を示す. 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いフェーズド

アレイアンテナから送信される. この3波を空間においてベクトル合成する. 従来の32APSK波に比べて, 振幅変動が小さいQPSKとBPSKをそれぞれHPAの飽和領域に動作させ, 電力効率を改善している.

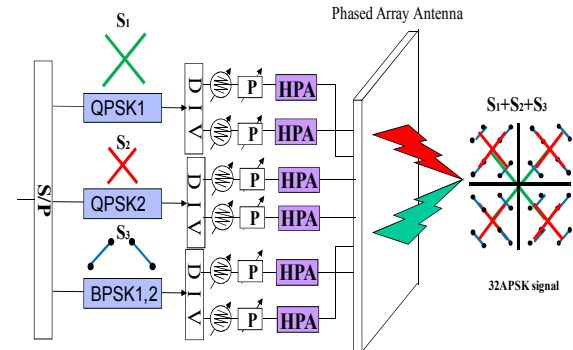


Fig.10 Configuration of spatially superposed 32APSK modulation system

4 空間重畳型32APSK変調の特性評価

新たに提案した空間重畳型32APSK変調の特性を評価した. BER(Bit Error Rate)特性, スペクトラム特性をそれぞれ解析により評価し, 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, 従来構成での消費電力と比較を行い, 消費電力の低減効果を定量的に検討した.

4.1 BER特性

HPAの線形動作時と非線形動作である1.5dB出力バックオフ(OBO)点における従来方式と空間重畳型32APSKのBER特性の比較をFig.11に示す. 線形動作時には特性に有意な差は認められない.

提案システムはHPAで3波を個別に増幅するために非線形歪の影響を受けにくく, 非線形領域で増幅しても特性劣化が小さいことを示している.

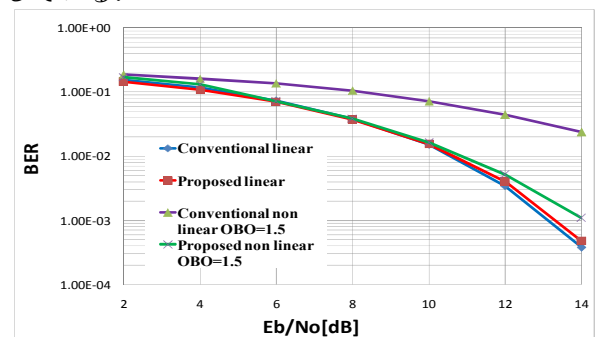


Fig. 11 BER performance at 1.5dB OBO of HPA

Fig.12は, 線形動作(OBO=9dB)時の従来方式と非線形動作 (OBO=1.5dB)時の空間重畳型

32APSKのBER特性を示す。

提案システムの非線形動作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。

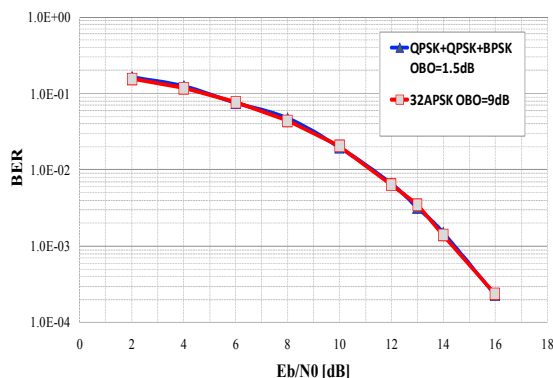


Fig. 12 Comparison of BER performance between proposed system (nonlinear) and conventional system (linear)

4.2 HPAの消費電力比較

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定量的に評価した。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。

Fig.12でBER特性が一致した時のOBOの値を使い、従来の32APSKをOBO=9[dB]した時の電力効率を1とすると、Fig.2のHPAでの入出力特性と効率の関係から、空間重畳型32APSKをOBO=1.5[dB]した時の電力効率は0.25となる。

Table 3は空間重畳型32APSKと従来の32APSKの消費電力の比較を示す。

以上の検討結果から、提案システムは従来技術に比べて消費電力を1/4に低減可能との見通しを得た。

Table 3 Comparison of power consumption

	OBO(dB)	Power consumption
空間重畳型32APSK	1.5	0.25
従来の32APSK	9.0	1

4.3 スペクトラム特性

所要帯域外の送信レベルが高いと他システムに干渉を与える。一般に、非線形特性により、所

要帯域外の送信レベルが上昇する。そこで、非線形動作時のスペクトラムを評価した。

BER特性同様に、HPA動作点を同一とした時のスペクトラム特性の結果をFig.13に示す。本システムはPAPR(Peak to Average Power Ratio)が小さいことから、非線形増幅時でもスペクトラムの広がりを抑制できることが明らかとなった。

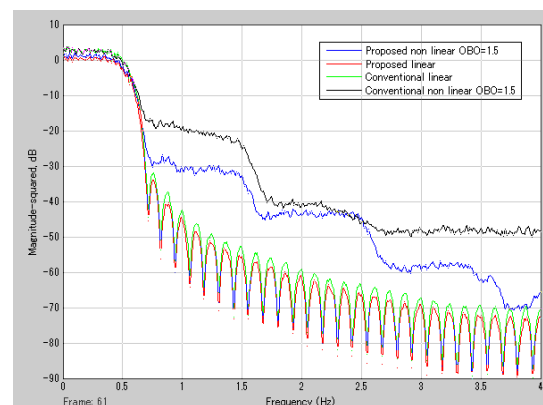


Fig. 13 Spectral comparison at 1.5dB OBO and linear point of HPA

5 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、空間で3波の振幅変動の小さい変調波を重畳合成する新たな32APSK変調方式を提案し、誤り率特性、スペクトラムを従来方式と比較検討した。

その結果、提案する方式は、高効率動作が可能な飽和領域近傍において、同一条件(AWGN)で従来方式と同等のBER特性を実現し、同時に非線形動作時のスペクトラム広がりを抑制できることを明らかにした。さらに低消費電力化の見通しも得た。

今後は、HPAでの消費電力を実測し、低消費電力化に有効であることを定量的に明らかにしていく。

参考文献

- 1)M.Tanaka, AIAA ICSSC2003, AIAA-2003-2288, 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-2010-8681, 2010, August.
- 5)間館,田中,信学技報,SAT2010-85,pp55-60, 2011-2
- 6)間館,田中,信学総全大,B-3-30,2011
- 7)渡辺,田中,信学会ササエティ大,B-3-19,2011
- 8)飛内,田中,信学会ササエティ大,B-3-18,2011