

空間重畳技術を用いたワイヤレス多値変調(32APSK)通信システムの 高効率化の検討

日大生産工 ○田中 將義

日大生産工(院) 大窪 崇宏

1 まえがき

複数の同一周波数のビームを空間重畳する技術は、多値変調波の高効率電力増幅に有効な手段である。筆者等は、周波数帯域と電力の有効利用を可能とする空間重畳型多値変調通信システムを提案し、16値直交振幅変調(16QAM)波, 32値振幅位相変調(32APSK)波, 64QAM波の送信システムの低消費電力化が可能であることを明らかにしてきた⁽¹⁻¹⁰⁾。

32APSKシステムについては、これまで3ビームの空間重畳合成により実現していたが、今回より簡易な2ビームで空間重畳し、高効率電力増幅を実現する8x4 APSK変調システムを提案し、その性能及び効果を確認した。

2 ワイヤレス通信システムの構成

Fig. 1 にワイヤレス通信システムの構成を示す。送信情報で搬送波を変調(Mod)し、Filterで信号の帯域を制限する。その後、電力増幅器(HPA)で増幅し、再度帯域外の不要波を抑圧してアンテナ(ANT)より送信する。受信側では、変調信号を復調(Demod)して、送信情報を取り出す。Fig. 2 にHPAの特性を示す。入力信号が小さい領域では、特性が線形であり良好な伝送特性を呈するが、電力効率が低い欠点がある。一方、入力を高めると、非線形特性を呈し、伝送特性が劣化するが、電力効率は高い。

3 多値変調の課題

ワイヤレス通信には高速、大容量化が求められている。使用できる周波数帯域が限られており、周波数帯域を有効に利用するには多値変調方式の適用が効果的である。Fig. 3に従来の32値多値変調波である4+12+16 APSK^(11, 12)と32QAMの信号空間配置を示す。多値変調波は振幅変動が大きく、HPAの非線形特性により、Fig. 4に示すように信号空間配置が変形し、伝送特性が劣化する。これを回避するために、出力をバックオフ(OBO)してHPAの線形領域

で増幅すると電力効率が低下する課題がある。このため、多値変調波の高効率電力増幅の実現が重要課題である。

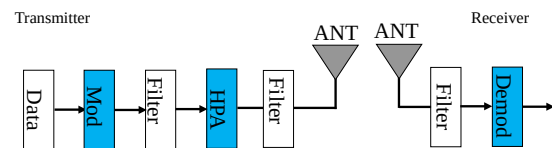


Fig. 1 Configuration of wireless communications system.

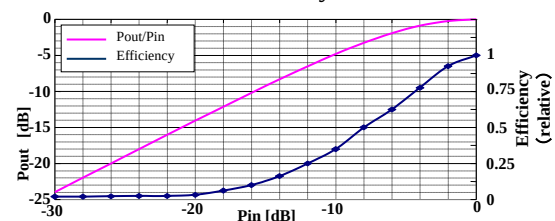
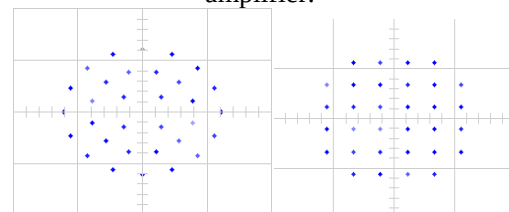


Fig. 2 Typical performance of high power amplifier.



(a) 4+12+16 APSK (b) 32 QAM

Fig. 3 Conventional constellation of 32-value modulation signals.

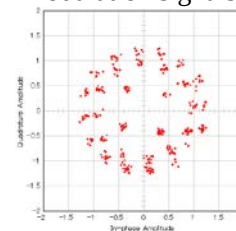


Fig. 4 Signal constellation distortion due to HPA nonlinear effect (OBO=1.6dB).

4 空間重畳ベクトル合成

周波数帯域と電力の有効利用を同時に実可能な方法として、空間重畳多値変調を提案し

ている．多値変調波を振幅変動の小さい複数の波に分割し，複数のHPAで個別に非線形領域で高効率電力増幅し，その後空間で低損失ベクトル合成する技術である^(1-10, 13, 14)．

4.1 2ビーム空間重畳型多値変調システム

空間重畳32APSK変調に適した信号空間配置としてFig. 5に示すものを提案している．

2ビームの空間重畳合成を適用した 8×4 (=32)APSKシステムの構成をFig. 6に示す⁽¹³⁾．振幅変動の小さい変形型8PSK波とQPSK波をそれぞれ個別にHPAの飽和領域近傍で高効率電力増幅後，別々のアンテナで送信し，空間で2波をベクトル合成し，32APSKを形成する⁽¹⁴⁾．Fig. 7 に変形8PSK 波とQPSK 波，従来方式である4+12+16 APSKと32 QAM波のレベル別確率分布 (PDF) を示す．変形8PSK波とQPSK波は従来の変調波に比べて狭い範囲に集中し，振幅変動が小さいことが分かる．

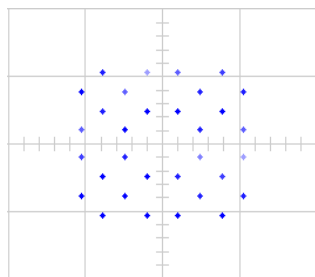


Fig. 5 Signal constellation of superposed 32APSK.

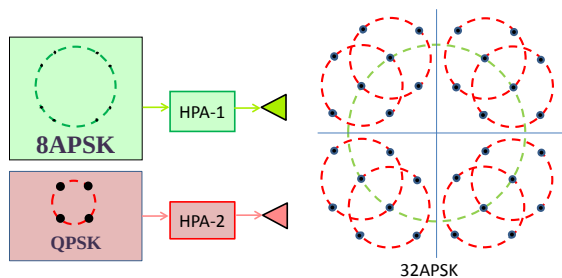
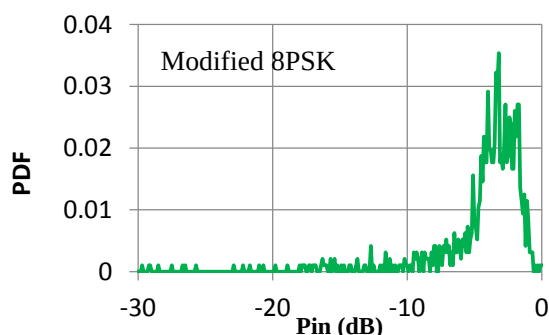
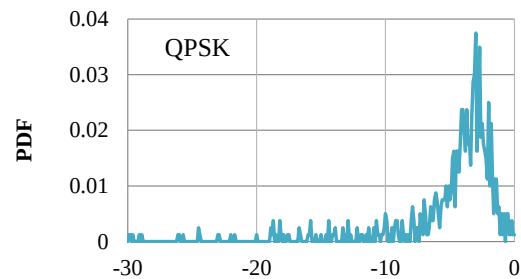


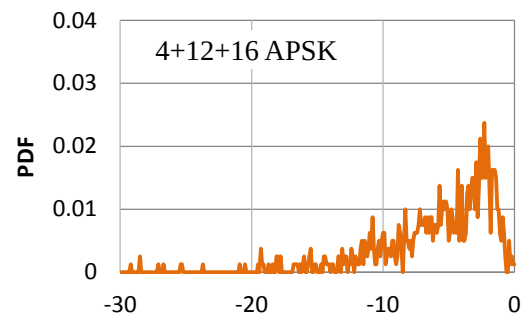
Fig. 6 Application of two-beam spatial superposition (8×4 APSK).



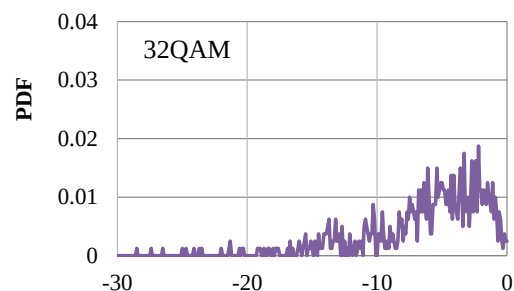
(a) Modified 8PSK



(b) QPSK



(c) 4+12+16 APSK



(d) 32QAM

Fig. 7 Probability density function (PDF) of modulated signals.

一方，3ビームで構成する $4 \times 4 \times 2$ APSK変調システム⁽⁸⁻¹⁰⁾をFig. 8に示す．3波の変調波QPSK-1, -2とBPSKを個別に高効率電力増幅し，3ビームを空間でベクトル合成する構成である．

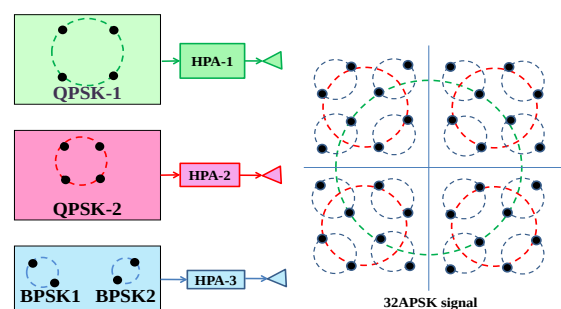


Fig. 8 Application of three-beam spatial superposition ($4 \times 4 \times 2$ APSK).

4.2 32APSK波信号空間配置の最適化

8 x 4 APSK システムの伝送特性を向上させるために、Fig. 9に示す信号空間配置のパラメータの最適化を行い、 $d^2/(r_1^2 + r_2^2)$ を最大にするには $r_2/r_1 = 0.442$ $\alpha = 12.76$ [deg]であることを明らかにした。

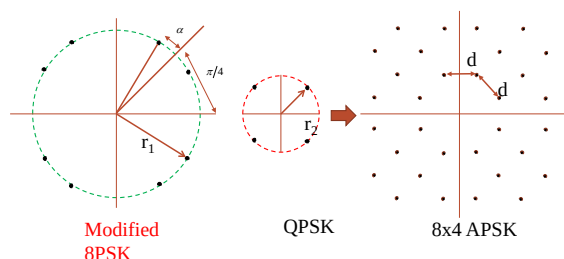


Fig.9 Optimization of 8 x 4 APSK constellation.

5 高効率 8x4 APSKシステムの特徴

空間重畳型 8x4 APSKの種々の性能を評価し、従来方法ならびに3ビームを重畳する4x4x2 APSKとの比較を行った。

5.1 SSPAの特性

HPAとして固体電力増幅器(SSPA)を取り上げ、その入出力特性と電力効率の実測データをFig. 10に示す。使用したSSPAは、出力20Wクラスの電力増幅器であり、入出力特性の飽和領域に接近するにしたがい電力効率が上昇する。

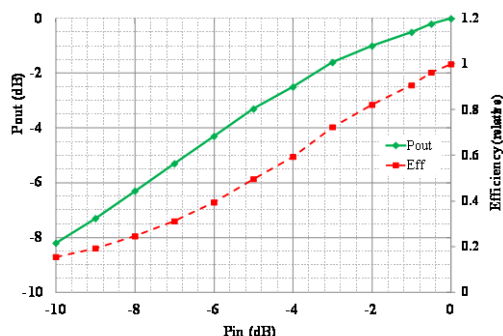


Fig.10 Characteristics of 20W-SSPA.

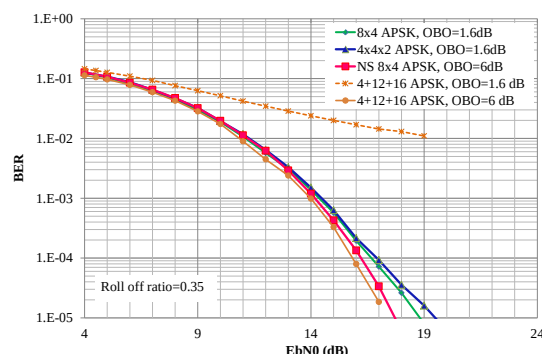


Fig.11 BER characteristics of 2-beam, 3-beam and 1-beam systems.

5.2 BER特性

上記SSPA特性を用いて、2ビーム、3ビーム、空間重畳を行わない1ビーム時の32APSK、および4+12+16 APSK^(11,12)のビット誤り率(BER)特性の解析結果をFig. 11に示す。空間重畳方式は飽和領域での動作、1ビームと従来方式は線形領域での動作である。8x4 APSKと4x4x2 APSKはHPAの高効率非線形領域での動作時において、1ビームと従来方式の線形領域での特性に近く、良好な伝送特性を有している。

5.3 SSPAの低消費電力化

2ビーム、3ビーム重畳システムと一括電力増幅する従来方式システムについて、各信号のピーク/平均電力比(PAPR)、下記に示すSSPAの消費電力(Pdc)を比較した結果をTable 1に示す。

ここで、 V_{in} はHPAの入力信号、 f は瞬時消費電力の特性を表す関数である。

$$P_{dc}(t) = f\{v_{in}(t)\} \quad (1)$$

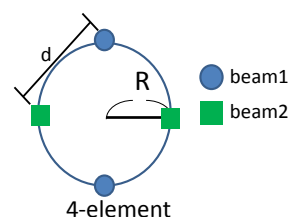
2ビーム方式は、3ビーム方式と同様に従来方式に比べてHPAを飽和に近い点で動作可能であり、50%以上の消費電力低減を実現できることが明らかとなった。

Table 1 Comparison of 32APSK power consumption (Pdc).

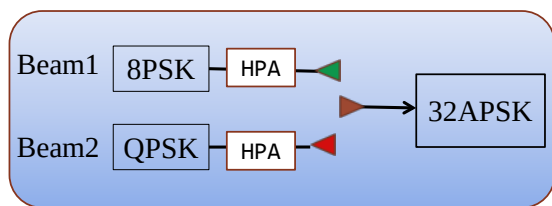
Modulation	No. of beams	SSPA Input signals	PAPR (dB)	SSPA OBO (dB)	SSPA Pdc (relative)
8x4 APSK	2	Modified 8PSK	3.6	1.6	0.44
		QPSK	3.9	1.6	
4x4x2 APSK	3	QPSK-1	3.9	1.6	0.46
		QPSK-2	3.9	1.6	
		BPSK	3.9	1.6	
4+12+16 APSK	1	32APSK	4.4	6.0	1.0

6 空間重畳型 8x4 APSKシステムのダウンサイジング効果

空間重畳型 8x4 APSKシステムと空間重畳型 4x4x2 APSKシステムの構成をFig. 12, 13に示す。空間重畳型 8x4 APSKシステムは、アンテナ素子数が4/9に縮小され、送信システムを構成するデバイスも2/3に削減でき、低コスト化が可能となる。

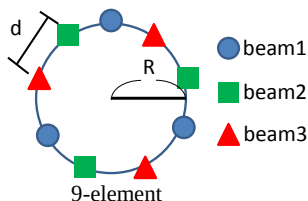


(a) Layout of 2 + 2 antenna array system.

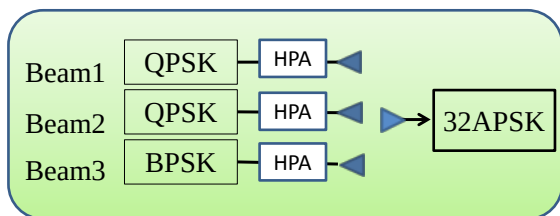


(b) System configuration

Fig. 12 System configuration of 8 x 4 APSK.



(a) Layout of 3 + 3 + 3 antenna array system.



(b) System configuration.

Fig. 13 System configuration of 4 x 4 x 2 APSK.

7 空間重畳型 8x4 APSKシステムの適用領域

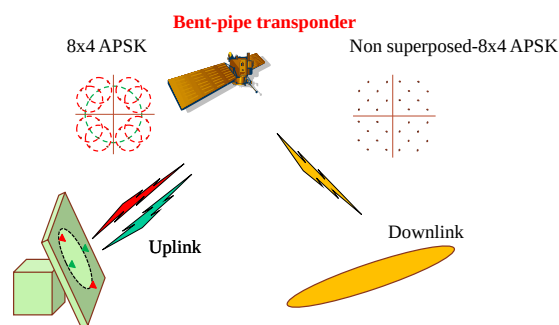
以上の検討から、空間重畳型 8x4 APSKシステムは、従来方式に比べて低消費電力化が可能である。この特徴を活用した衛星通信システムの適用例をFig. 14に示す。(a)はbent-pipe型 transponderに適用した場合であり、uplinkに要する消費電力の低減が可能である。(b)ではup/down linkの両方に適用可能であり、一層の低消費電力化を実現できる。

8 まとめ

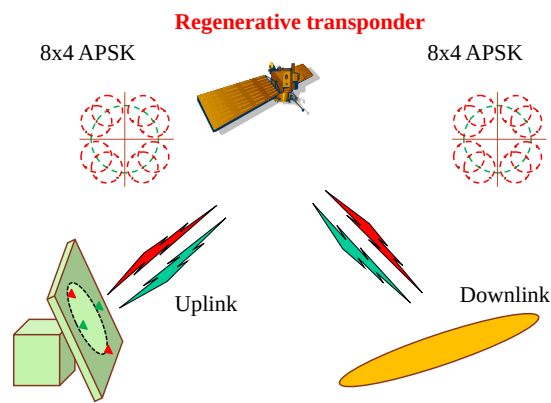
周波数帯域と消費電力の有効利用を実現するために、変形8PSK波とQPSK波の2波を空間重畳合成する高効率 8x4 APSK多値変調システムを提案した。本提案は3波方式と同様に、従来方法よりHPAの消費電力が少なく優れていることを明らかにした。さらに2波を重畳合成する方式は、3波重畳合成に比べて、アンテナ数やHPA台数等を低減できるため、システムを低コストで実現可能である。今後は、更なる低消費電力化の可能性を検討していく。

【謝辞】

本研究はJSPS科研費24560480の助成を受けたものです。



(a) Bent-pipe transponder.



(b) Regenerative transponder.

Fig.14 Application scenario of spatially superposed 8x4 APSK.

【参考文献】

- [1]M.Tanaka, AIAA ICSSC 2003, AIAA-2003-2288, 2003, April.
- [2]田中,シミュレーション,vol.24, NO.1, pp75-82, 2005.
- [3]M.Tanaka, AIAA, ICSSC2005, I000249, 2005, Sept.
- [4]M.Tanaka,et.al., AIAA, ICSSC-2010-8681, August, 2010
- [5] 間舘,田中,信学技報,SAT2010-85,2011-2.
- [6] 間舘,田中,信学総全大,B-3-30, 2011.
- [7]M.Tanaka,H.Madate,AIAA,ICSSC2011, AIAA-2011-8026,2011, Nov.
- [8]M.Tanaka,et.al, AIAA ICSSC2012, 6-1, pp1-10, Sept. 2012
- [9]渡辺,田中, 信学サイエティ大,B-3-21,2012
- [10]渡辺,田中, 信学総全大,B-3-23,2013.
- [11] Alberto Morello and Vittoria Mignone, Proceedings of the IEEE, VOL. 94, NO. 1, Jan. 2006
- [12] ETSI, Digital Video Broadcasting (DVB); ETSI EN 302 307, v1.2.1, (2009-08)
- [13] 野口, 田中, 信学会サイエティ大, B-3-30, 2013
- [14] 大窪, 田中, 信学会サイエティ大, B-3-13, 2013