

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560480

研究課題名(和文) 高効率衛星通信方式の研究

研究課題名(英文) Study on highly efficient satellite communications system

研究代表者

田中 将義 (TANAKA, Masayoshi)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：30339270

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000 円

研究成果の概要(和文)：衛星通信の大容量化，省エネルギー化を目的として，複数ビームの空間重畳合成法による32値振幅位相変調(32APSK)波と64値直交振幅変調(64QAM)波の実現を検討した．
4値位相変調(4QPSK)と変形8値位相変調(8PSK)波を2ビームの空間重畳合成で32APSK波を実現，レベルの異なる3つのQPSK波を2ビームの空間重畳合成で64QAM波を実現できることを明らかにした．
許容される重畳誤差，本許容誤差を満足する空間重畳合成に適したアンテナ構成法を明らかにした．実験系を構築し，空間重畳多値変調が実現できること，送信系の電力増幅器(HPA)の電力消費量は，従来技術に比べて50%以上の低減が可能である．

研究成果の概要(英文)：Highly efficient 32 amplitude-phase shift keying (32APSK) and 64 quadrature amplitude shift keying (64QAM) modulation satellite broadband communication systems were proposed. They feature a compact two-beam spatial superposition that improves the usage efficiency of the frequency resources and energy. The 32APSK system incorporates an eight phase-shift keying (8PSK) modulator, a quadrature phase-shift keying (QPSK) modulator, and multiple high power amplifiers (HPAs) that operate in their nonlinear region at a high level of efficiency. Their output signals are spatially combined using a specially tailored antenna array to produce a new 32APSK signal. An experimental test demonstrated the validity of the spatial superposition. The HPA power consumption was reduced about 50% compared with that of the conventional system. The proposed compact system is feasible and will enable broadband transmission while using the available amount of energy and bandwidth more efficiently.

研究分野：衛星通信工学

キーワード：衛星通信 空間重畳合成 多値変調 電力増幅器 アンテナ 32APSK 64QAM 省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

電波は有限資源であり、周波数帯域が制限されている。情報技術の進展により高速・大容量通信への要求が高まる中で、限られた周波数帯域内で高速通信することが望まれている。地上のワイヤレス通信では、建物等からの反射波による干渉に強い OFDM(直交周波数分割多重)通信が使用されるが、複数の搬送波を使用するために電力増幅器の効率が低下する課題がある。一方、周波数帯域と同時に電力制限が一層厳しい衛星通信システムでは、反射波の影響が小さいために OFDM 通信よりも、単一搬送波を多値変調し、伝送する方法が効果的である。しかし多値変調波は、振幅変動が大きく送信用電力増幅器(HPA)の非線形特性による伝送特性の劣化を受け易くなる。この劣化を避けるために HPA の線形領域で増幅すると出力の低下と効率が低下する。この結果、より高出力の増幅器が必要となり、さらに電源の大容量化、発熱対策等でシステムの経済的な構築が難しい課題がある。

2. 研究の目的

衛星通信では、占有周波数帯域の有効利用と送信機の省エネルギー化が重要である。周波数の有効利用が可能な多値変調波をそのまま電力増幅する代わりに、多値変調波を複数の振幅変動の小さい変調波に分割し、個別に非線形領域で高効率電力増幅後に、空間でベクトル重畳合成する高能率伝送方式を提案する。解析と実験により、本提案が有限資源である周波数とエネルギーを同時に有効活用可能な方式であることを実証する。

3. 研究の方法

周波数帯域の有効利用と電力の有効を同時に達成する技術を開発するために、振幅変動の大きな多値変調波を振幅変動の小さい複数のベクトル要素に分割し、個別に非線形領域で高効率で電力増幅した後、新たに考案した重畳誤差の小さいアレイアンテナを用いて、空間でベクトル重畳合成し、送信する方式を考案した。

解析により伝送特性の劣化が小さく、省エネルギー化に有効であることを示した。さらに、実験により省エネルギー効果を定量的に明らかにすると同時に、空間重畳方式の妥当性を確認する実証実験を行った。具体的な方法は以下の通りである。

(1) 多値変調波である 32 値振幅位相変調(32APSK)波を、図 1 に示すように、振幅変動が小さく、振幅レベルの異なる変形 8 値位相変調(8PSK)と 4 値位相変調(QPSK)波の出力を HPA で個別に非線形領域で高効率に電力増幅後に、空間でベクトル構成する構成を検討した。送信における消費電力を低減できる特徴を有する。回路での重畳合成では送信電力の半分が損失となるが、本提案の空間重畳合成は損失が非常に小さいことが特徴である。

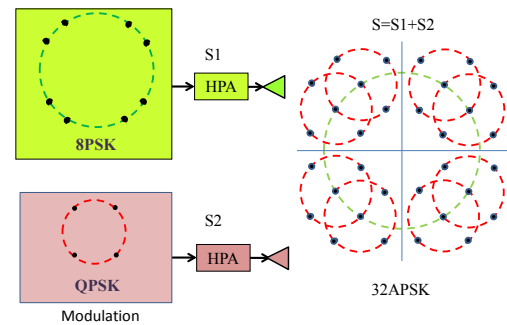


図1 空間重畳型 32APSK 変調システムの構成

(2) 多値変調波である 64 値直交振幅変調(64QAM)波を、図 2 に示すように、振幅変動が小さく、振幅レベルの異なる 3 つの位相変調(QPSK-1, -2, -3)の出力を合成することで実現する。QPSK の出力を HPA で個別に非線形領域で高効率に電力増幅後に、空間でベクトル構成する構成である。

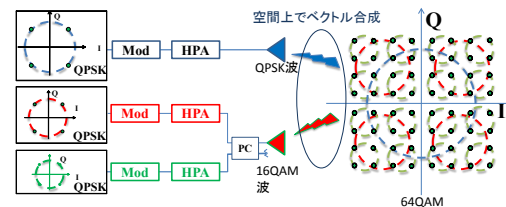


図2 空間重畳型 64QAM 変調システムの構成

(3) ソフトウェア解析による重畳許容誤差の推定

空間重畳時の種々の誤差における伝送特性を解析し、許容利得、位相誤差を決定し、空間重畳用アレイアンテナの設計目標を決定した。

(4) 空間重畳合成に適するフェーズドアレイアンテナの構成検討

受信側において、二つのビーム間の利得偏差、位相偏差が小さく、かつサイドローブが小さいアンテナ系の構成法を明らかにした。解析により 3 ビーム間の利得誤差、位相誤差を求め、重畳合成効率が高いアンテナ系構成法を明らかにした。

(5) 構成要素素材の調査、設計・製作

アレイアンテナ素子、ならびに給電線の組み立て、製作を行い、空間重畳多値変調システムを構築し、実証実験を実施した。

4. 研究成果

(1) 空間重畳型 32APSK の検討

2 ビームの空間重畳合成型 32APSK (8x4 APSK) システムについて、信号空間配置、誤り訂正符号適用時の伝送特性、許容空間重畳合成誤差と HPA 消費電力を検討した。

振幅変動の小さな変形型 8PSK 波と QPSK 波を空間で重畳合成し、8x4 APSK を形成する。8PSK 波と QPSK 波をそれぞれ個別に電力増幅器(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

合成する。

変形8PSK波とQPSK波の2ビームを空間重畳合成する 8x4 APSK 波の最適な信号空間配置検討し、最適値を明らかにした。その結果を図3に示す、誤り訂正符号適用時の伝送特性、許容空間重畳誤差と HPA 消費電力を検討した。

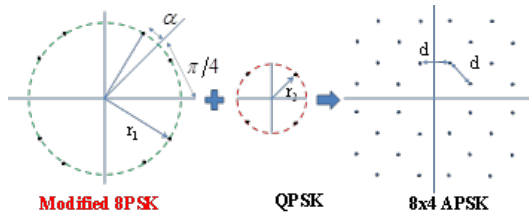


図3 最適な空間信号配置

その結果、許容重畳誤差は実現可能範囲内であり、HPA を OBO = 1.6 dB の高効率領域で運用可能であり、表1に示すように従来の 32APSK に比べて低消費電力化を実現できることを明らかにした。

表1 空間重畳型 32APSK の低消費電力化の効果

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	
4+12+16 APSK (DVB-S2)	1	32APSK	4.4	6.0	1.0

(2) 空間重畳型 64QAM の検討

本研究では、従来方式である 64 APSK と 64 QAM の一括電力増幅に対して、2ビームあるいは3ビームによる空間重畳合成型 4x16=64 QAM と 4x4x4=64 QAM を提案し、これらの新方式の伝送特性 (BER), HPA 消費電力を検討した。

その結果、従来方式の 64APSK 波, 64QAM 波に比べて、2ビーム空間重畳型と3ビーム空間重畳型では共に 40%の消費電力削減を実現できることを明らかにした。

さらなる高効率化と構成の単純化を目指して QPSK 波 3 波を個別に電力増幅後に、2ビームで空間重畳合成する superposed 64QAM (4x4x4)システムを提案し、誤り訂正符号使用時の伝送特性と電力増幅器 (HPA) の消費電力を検討した。その結果、表2に示すように、消費電力を 40%削減可能であることを示した。

(3) 空間重畳用アンテナの設計と解析

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等に有効である。その際ビーム間の利得・位相差が小さいことが要求され、フェーズドアレイのアンテナ素子を同心円状に配置することで多ビームの空間重畳が実現可能であることを明らかにした。

さらに上記アレイアンテナと反射鏡アンテナを組み合わせた高利得システムを提案し、空間重畳可能範

表2 空間重畳型 64QAM の低消費電力化の効果

Mod	No. of beams	HPA	OBO (dB)	Pdc (relative)
Superposed 64QAM	2	HPA-1	0.9	0.55
		HPA-2	0.9	
		HPA-3	0.9	
64APSK	1	HPA	3.3	1
64QAM	1	HPA	3.35	1.04

囲を示し、本システムで空間重畳合成が実現する見通しを得た。

図4に示す反射鏡とフェーズドアレイ・フィードを組み合わせたシステムにおいて、サービスエリアの半径 1,887 [km]以内で振幅許容誤差 0.5 [dB], 位相許容誤差 5 [degree]を満たす空間重畳合成を実現する見通しを得た。

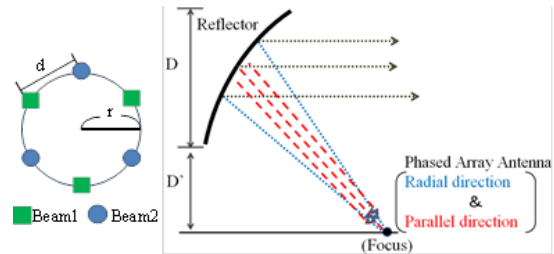


図4 空間重畳用アンテナシステムの構成

(4) 空間重畳多値変調システムの実証実験

図5に示す空間重畳 32APSK のシステムを構築し、実証実験を行った。

受信信号の信号空間配置の観測と伝送特性の評価を行った。受信信号の信号空間配置を図6に示す。さらにアイパターンを図7に示す。

これらの結果から、32 APSK 変調波の空間重畳合成が実現できることを実証した。

この結果、高利得のアンテナを用いて、空間重畳合成多値変調波が実現できることを示した。

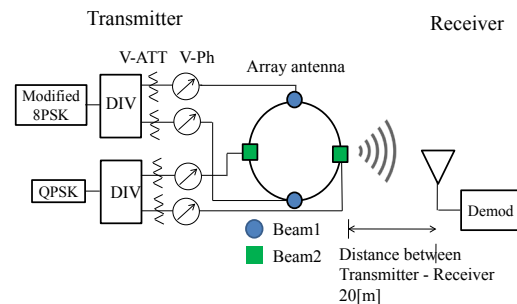


図5 空間重畳多値変調の実験系の構成

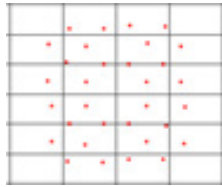


図6 空間重畳型 32APSK の実測した
信号空間配置

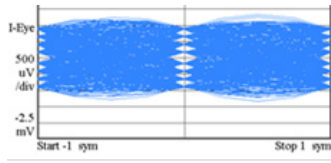


図7 空間重畳型 32APSK の実測した
アイパターン

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

①山口 大貴, 田中 将義, 空間重畳型 64 値直交振幅(64QAM)多値変調システムの研究 第 47 回(平成 26 年度)日本大学生産工学部学術講演会, 査読無し, 2014, pp153-156, ISSN2186-5647

②大窪 崇宏, 田中 将義, 空間重畳型多値変調用アレイアンテナの研究, 第 46 回(平成 25 年度)日本大学生産工学部学術講演会, 査読無し, 2014, pp157-160, ISSN2186-5647

③田中 将義, 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, 第 46 回(平成 25 年度)日本大学生産工学部学術講演会, 査読無し, 2-50, pp271-274, 2013, ISSN2186-5647

④大窪 崇宏, 田中 将義, マイクロ波空間重畳合成用アレイアンテナの検討, 査読無し, 第 46 回(平成 25 年度)日本大学生産工学部学術講演会, 査読無し, 2-48, pp263-266, 2013, ISSN2186-5647

⑤山口大貴, 田中 将義, ワイヤレス 64 値多値変調システムの低消費電力化の検討, 第 46 回(平成 25 年度)日本大学生産工学部学術講演会, 査読無し, 2-45, pp257-258, 2013, ISSN2186-5647

⑥Masayoshi Tanaka, Takahiro Ohkubo, Highly Efficient Broadband Transmission System, AIAA, AIAA 2013-5677, pp1-10, 査読有, 2013

⑦飛内 雅之, 田中 将義, 3 ビーム空間重畳合成用アレイアンテナの研究, 第 45 回(平成 24 年度)日本大学生産工学部学術講演会, 査読無し, 計測・制御・情報, 2-58, pp309-312, 2012, ISSN 2186-5647

⑧渡辺 伍, 田中 将義, 高効率空間重畳型 32APSK 通信の研究, 第 45 回(平成 24 年度)日本大学生産工学部学術講演会 計測・制御・情報, 査読無し, 2-86, pp389-392, 2012, ISSN 2186-5647

⑨Masayoshi Tanaka, Tasuku Watanabe, and Masayuki Tobinai, Highly efficient 32-APSK transmission system, AIAA ICSSC 154, pp.1-pp.10, 査読有, 2012

〔学会発表〕(計 12 件)

①大窪 崇宏, 田中 将義, 2 ビーム空間重畳合成用アレイ給電反射鏡アンテナの特性, B-3-29, 電子情報通信学会, 総合大会, 2015.03.11, 立命館大学(滋賀県・草津市)

②山口 大貴, 田中 将義, 2 波空間重畳型 64QAM 変調システムの研究, 電子情報通信学会, 総合大会, B-3-28, 2015.03.11, 立命館大学(滋賀県・草津市)

③大窪 崇宏, 田中 将義, 2 ビーム空間重畳合成用アレイ給電反射鏡アンテナの検討, 電子情報通信学会, 通信ソサイエティ大会, B-3-14, 2014.09.26, 徳島大学(徳島県・徳島市)

④山口 大貴, 田中 将義, 空間重畳型 64 QAM 変調システムの検討, 電子情報通信学会, 通信ソサイエティ大会, B-3-9, 2014.09.26, 徳島大学(徳島県・徳島市)

⑤田中 将義, 大窪 崇宏, 2 ビーム空間重畳型 32APSK 変調システムの性能評価, Performance Evaluation of Spatially Superposed 32-APSK System with Two Beams, 電子情報通信学会, 総合大会, B-3-18, 2014.03.20, 新潟大学(新潟県・新潟市)

⑥大窪 崇宏, 田中 将義, 2 ビーム空間重畳合成用アレイアンテナの特性, Study on Array Antenna for Two-beam Spatial Superposition, 電子情報通信学会, 総合大会, B-3-19, 2014.03.20, 新潟大学(新潟県・新潟市)

⑦大窪 崇宏, 田中 将義, 2 ビーム空間重畳合成用アレイアンテナの検討, Study on Array Antenna Design for Two-beam Spatial Superposition, 電子情報通信学会, 通信ソサイエティ大会, B-3-13, 2013.09.19, 福岡工業大学(福岡県・福岡市)

⑧野口 瞭, 田中 将義, 2 ビーム空間重畳型高効率 32APSK 変調システムの検討, Study on Spatially Superposed Highly Efficient 32-APSK System with Two Beams, 電子情報通信学会, 通信ソサイエティ大会, B-3-30, 2013.09.20, 福岡工業大学(福岡県・福岡市)

⑨飛内 雅之,田中 將義, 3ビーム空間重畳合成の周波数特性の検討 Study on Frequency Characteristics of Three-beam Spatial Superposition 電子情報通信学会, 総合大会, B-3-22, 2013.03.22, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市)

⑩渡辺 伍, 田中 將義, 高効率空間重畳16QAM 変調波送信システムの実験による評価, Experimental Evaluation of Highly Efficient Superposed 16QAM Transmission System, 電子情報通信学会, 総合大会, B-3-23, 2013.03.22, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市)

⑪飛内 雅之,田中 將義, 3ビーム空間重畳合成用アレイアンテナにおける設定誤差の影響, Study on Array Setting Error Effect on Three-beam Spatial Superposition Array Antenna, 電子情報通信学会, 通信ソサイエティ大会, B-3-20, 2012.09.13, 富山大学 (富山県・富山市)

⑫渡辺 伍, 田中 將義, 高効率 32APSK 変調波信号空間配置の検討, Study on High Efficient 32APSK Signal Constellation Design, 電子情報通信学会, 通信ソサイエティ大会, B-3-21, 2012.09.13, 富山大学 (富山県・富山市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 多値変調・復調技術
発明者: 田中 將義
権利者: 学校法人 日本大学
種類: 特許
番号: 2014-32407
出願年月日: 平成 26 年 2 月 24 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

・電力, 周波数帯域を有効に利用する空間重畳型多値変調方式の検討

<http://tanaka-lab.ee.cit.nihon-u.ac.jp/>

[J_Research_Mary_mod.html](http://tanaka-lab.ee.cit.nihon-u.ac.jp/J_Research_Mary_mod.html)

・マイクロ波空間ベクトル重畳合成の検討
-空間重畳合-

http://tanaka-lab.ee.cit.nihon-u.ac.jp/J_Research_spatialcombining.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 將義 (TANAKA, Masayoshi)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号: 30339270

(2) 研究分担者

研究者番号:

(3) 連携研究者

研究者番号:

(4) 研究協力者

飛内 雅之 (TIBINAI, Masayuki),

渡辺 伍 (WATANABE, Tasuku)

大窪 崇宏 (OHKUBO, Takahiro)

山口 大貴 (YAMAGUCHI, Daiki)