

論文内容の要旨

博士論文題目

Post-Compensation of TWTA Nonlinearity for Satellite Communications

(衛星通信における TWTA の受信側での非線形補償)

氏名

石黒 剛大

(論文内容の要旨)

近年、ハイビジョン映像などのデジタルコンテンツのデータ量が増大するのにもない、衛星通信の伝送路容量の大容量化が望まれている。このような通信路の伝送路容量を増やすには、大きく分けて 2 つの方法がある。一つは多値変調方式を用い、信号の各シンボル当りの情報量を増やす方法である。もう一つは送信信号を重畳して周波数利用効率を向上させる方法である。これら二つの手法は衛星中継器のハードウェアを変更することなく、現在運用されている衛星システムに適用できる。

一般的な高出力衛星中継器の増幅器には TWTA (Travelling Wave Tube Amplifier) と呼ばれる HPA (High Power Amplifier) が用いられており、この TWTA には増幅特性に非線形性があるため大きな入力バックオフをとり、線形領域で動作させることで出力信号の非線形歪みを抑えている。しかしながら多値変調方式では信号点が密接に並んでいるため高い CNR (Carrier to Noise Ratio) を必要とし、そのためにはバックオフを減らして衛星中継器の出力を大きくしなければならない。

信号重畳方式を用いる場合にも、キャリア間干渉を抑えるために大きな入力バックオフを必要とする。これら二つの場合では、大きな入力バックオフにより衛星増幅器の電力効率が悪化するため、衛星の電力を最大限に利用するためには増幅器の非線形性に対処しなければならない。本論文では、衛星増幅器の非線形歪みを抑えて衛星中継器の電力利用効率を向上させることで伝送路の容量を増大させる非線形補償方式を提案する。ここでは実装コストの面や汎用性などの点から、受信側での非線形補償方式の検討を行う。提案する非線形補償方式は、衛星増幅器の非線形特性と逆の特性を持つ補償系を受信信号に適用することで衛星増幅器の非線形性を軽減する。本論文では提案手法を多値変調方式と信号重畳方式の二種類の衛星システムに適用し、ソフトウェアによる性能評価を行った。その結果、提案する非線形補償方式によりこれら二種類の衛星ネットワークにおいて、衛星増幅器の非線形特性による劣化が大幅に抑えられることが分かった。

その上、結果を分析することで、低バックオフの環境では増幅器の非線形特性の逆関数により雑音成分が強調される可能性があることが判明した。この雑音成分の強調を防ぐため、本論文では更に多値変調により適した非線形補償方式を提案する。この方式では逆関数ではなく段階的に変化する補償関数を用いて補償を行う。この補償方式を多値変調衛星システムに適用した結果、低バックオフの時は元の補償方式より更に劣化を抑えることができることが分かった。

氏名	石黒 剛大
----	-------

(論文審査結果の要旨)

平成 24 年 12 月 18 日に開催された公聴会を参考に、平成 25 年 2 月 21 日に、本博士論文の審査を実施した。

本論文は、衛星通信における伝送路容量の大容量化技術に関するものである。近年、ハイビジョン映像などのデジタルコンテンツなど大容量コンテンツの流通に伴い、衛星通信の伝送路容量の大容量化が望まれている。衛星通信では、多値変調方式を用い信号の各シンボル当りの情報量を増やす方法と、対向する地球局からの送信周波数として同一の周波数を用い、送信信号を重畳して伝送することで周波数利用効率を向上させる方法が用いられている。しかし、一般的な高出力衛星中継器の増幅器には TWTA (Travelling Wave Tube Amplifier) と呼ばれる HPA (High Power Amplifier) が用いられており、この TWTA には増幅特性に非線形性がある。多値変調方式や伝送信号重畳方式では、非線形ひずみの影響を大きく受けるため、大きな入力バックオフをとり、線形領域で動作させる必要がある。一方、多値変調方式や伝送信号重畳方式では、正しく復調するために必要な CNR (Carrier-to-Noise Power Ratio) が大きくなり、より大きな電力増幅が可能な中継増幅器が必要となる。このことは、衛星通信中継器の電力効率の劣化を招くことになる。

このように、大きな入力バックオフにより衛星増幅器の電力効率が悪化するため、衛星の電力を最大限に利用するためには増幅器の非線形性に対処しなければならない。本論文では、衛星増幅器の非線形歪みを抑えて衛星中継器の電力利用効率を向上させることで伝送路の容量を増大させる非線形補償方式を提案している。ここでは実装コストの面や汎用性などの点から、受信側での非線形補償方式が提案されている。提案する非線形補償方式は、衛星増幅器の非線形特性と逆の特性を持つ補償系を受信信号に適用することで衛星増幅器の非線形性を軽減ものである。本論文では、提案手法を多値変調方式と信号重畳方式の二種類の衛星システムに適用し、ソフトウェアによる性能評価を行っている。その結果、提案する非線形補償方式によりこれら二種類の衛星ネットワークにおいて、衛星増幅器の非線形特性による劣化が大幅に抑えられることを明らかにしている。

また、結果を分析することで、低バックオフの環境では増幅器の非線形特性の逆関数により雑音成分が強調される可能性があることを示した。この雑音成分の強調を防ぐため、本論文では更に多値変調により適した非線形補償方式を提案している。この方式では逆関数ではなく段階的に変化する補償関数を用いて補償を行う。この補償方式を多値変調衛星システムに適用した結果、低バックオフの時では元の補償方式より更に劣化を抑えることができることを示している。

このように、本論文は衛星通信における非線形ひずみ問題に対する解決法を明らかにしたものであり、この分野の発展に資するものである。また、この成果は、ワイヤレスセンサネットワークなど、消費電力が制限されている他のシステムにも応用可能であり、大きな意義のある研究である。よって本論文は、博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認める。