

論文の内容の要旨

論文題目 デジタル無線通信における変調信号の線形伝送方法に関する研究

氏名 松岡 昭彦

「いつでも、どこでも、だれとでも。」のキャッチフレーズで知られる、携帯型の無線電話は、いまでは、ポケットにすっきりと収まる 100g 以下が当たり前であるが、もともとは自動車電話として始まったものであり、当初は 5,000cc で 10kg という携帯とはほど遠いものであった。やがて、規制緩和を背景とした競争原理による加入料・通話料の大幅な下落と、デバイス技術の進展とデジタル信号処理技術に支えられた利便性の向上によって携帯電話は爆発的に普及し、日本国内における PDC と PHS をあわせた加入台数は 2001 年 5 月末で 6800 万台を越え(人口普及率で 50%超)、私たちの日常生活に深く浸透している。

一方、普及率の急増に伴い、加入者容量の増加と伝送速度の高速化を中心としたサービスの向上が、より強く要望されている。加入者容量の増加と伝送速度の高速化は有限である周波数資源を考えると、いかにしてその利用効率を高めるかということがポイントとなる。

公衆網としての移動体通信システムでは、主としてデジタル信号処理技術によって、周波数利用効率の向上が図られてきた。その結果、通信レートの高速度化とチャンネル数の増加を両立した。しかし、これらの方式は、新たな周波数領域(ある程度のもともった帯域が利用可能な周波数領域)を割り当てるのが可能である新世代の移動通信網において有効な手段であり、狭帯域のアナログ FM 変調方式を用いている無線通信システムには適用してもあまり効果が期待できない。このようなシステムでは、多値 QAM を用いた周波数利用効率の向上とデータ電送速度の高速化が考えられる。多値 QAM を用いることによって、従来と同じ周波数資源のまま、通信レートを数倍に引き上げることが可能となる。実際、地方自治体における地域防災無線や電力、鉄道などの自営系の無線通信システムでは、新た

な周波数資源を確保することは難しく、デジタル化によるサービスの高機能化を含めて、ユーザレートの高速化に対する要望は強い。

ただし、多値 QAM を用いる場合、変調信号のダイナミックレンジの拡大を考慮する必要がある。ダイナミックレンジの拡大は、無線機中で最大の電力消費部である送信系の電力増幅部の線形性をより高める必要があることを意味する。しかし、電力増幅部の線形性を高めると電力効率が劣化し、携帯型端末には致命的な問題となる。したがって、無線送信部の線形性を確保する何らかの手段を講じるか、変調信号のダイナミックレンジを抑圧する必要がある。不要電波対策として携帯電話システムの基地局には、フィードフォワード方式による非線形歪補償が採用されているが、電力効率があまりにも低く、上記の目的には適用できない。また、マルチキャリア方式を用いたシステムでは効率的なダイナミックレンジ抑圧方法が提案されているが、シングルキャリア方式では大きな成果は報告されていない。

以上のような背景をふまえて、本論文では、送信変調信号の線形性を確保したまま無線通信を行う手段の確立を目的とし、非線形歪補償と、多値 QAM 信号のダイナミックレンジ抑圧による、線形性の確保方法について論じている。

無線機中の送信電力増幅器で発生する非線形歪を何らかの外部回路で抑圧しようとするのが非線形歪補償である。古くから、ダイオードなどの非線形素子を使った回路で送信電力増幅器の特性と逆の入出力特性を持つ歪補償部を設け、送信系全体の線形性を確保する方式が検討されていたが、個別の特性ばらつきや補償精度の問題が大きく、商用レベルにはほとんど達していない。この他にも送信系の非線形歪補償としては、様々な方式が提案されているが、本論文では非線形歪の補償特性に優れた方式として、アダプティブ・プリディストーション法に着目した。無線機の送信部の線形性を確保する手段として、ベースバンド帯のデジタル信号処理によって実現できる、ハイブリッド・アダプティブ・プリディストーション法を開発し、従来手法との比較を行った。本方式の非線形歪補償装置を試作し、隣接チャネル漏洩電力比 (ACPR: Adjacent Channel Power Ratio) で、-55dBc 以下を達成した。従来の LUT を用いたアダプティブ・プリディストーション法と比較して、100 倍近くの高速度動作が可能であった。また、カーテシアンループ法と比較して同等以上の非線形歪補償特性が得られることを示した。

周波数利用効率の高い変調方式として多値 QAM を適用すると、大きな PAPR が発生する。これは、多値 QAM では振幅方向に情報を付加しているため、PSK を適用した場合と比較して変調信号の振幅変動が大きく、平均電力に対して大きな瞬時電力が発生するためである。本論文では、多値 QAM を適用した変調信号の平均電力、最大瞬時電力を解析した。通常の無線通信システムで帯域制限フィルタとして用いられているルートレイズドコサインフィルタを適用した場合の変調信号の最大瞬時電力について、発生確率を近似的に求め、十分な精度が得られることを示した。これにより、変調信号の PAPR を定量的に解析することが可能になる。

上記で得られた知見に基づき、変調信号の座標軸を回転することによって、大きな瞬時電力が発生する信号点の遷移を制限する手法について論じた。提案手法により、簡易な変調方式で約 2dB の PAPR 低減効果が得られることを示した。また、パイロット信号を用いて準同期検波を行う 16QAM を適用した無線通信システムにおいて、パイロット信号の最適配置を検討し、効果が得られることを示した。

以上をまとめると、本論文では、無線通信システムにおける変調信号の線形伝送方法について、非線形歪を補償する手法と、変調信号のダイナミックレンジを抑圧する手法について定量的な評価指針を与え、従来手法と比較して優れた手法を提案し、検討を行った。本研究の成果は、線形変調方式を用いた無線通信システムを設計する際の定量的な指針を与えるもので、移動体通信分野の技術進歩に貢献するものである。