

氏 名	笹 村 精 三
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 10 年 9 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気・通信工学専攻
学位論文題目	無線呼出装置の高性能化に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 澤谷 邦男
論文審査委員	主査 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学教授 根元 義章 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 米山 務

論 文 内 容 要 旨

無線呼出し (以下ページャと略称) サービスは、最も手軽な移動通信手段として普及し、日本国内の加入者総数は 1996 年 3 月末に 1061 万に達したが、その後は簡易型携帯電話(PHS)やデジタル携帯電話(PDC)の普及に伴って、やや減少傾向に転じている。

デジタル通信という側面から見た場合、ページャは一方通信専用ではあるが、最も古くから普及した移動デジタル通信システムであると言える。ページャ端末は、その小形化、軽量化、低消費電流化、および限られた条件下での高機能化の強い要求から、様々な技術を集大成して進歩してきた。

本論文は 6 章より構成されており、ページャ端末装置の高性能化について、技術的な背景、問題点の指摘とその解決法の提案を行っている。以下にその概要を述べる。

第 1 章「序論」は、ページャシステムの発展の歴史およびシステムの概要について述べるとともに、ページャ端末の高性能化に必要な技術について論じている。

第 2 章「ページャ用ループアンテナのヌル対策」は、端末に内蔵させるループアンテナの性能向上に関するもので、指向性のヌルをなくすアンテナとして、複数動作モードアンテナを実現する方法を提案している。

ページャ端末はポケットやバッグに入れて持ち運ばれるので、アンテナは筐体内蔵にする必要がある。このため人体装着時の利得が高いことや、小形軽量であることが必要で、小形のループアンテナが使われている。これは人体近傍では電界強度が低下し、磁界強度が逆に高くなるので、磁界を受信する小形ループアン

テナが有利となるためである。

ページャ端末が、人体に装着されない場合には、ループアンテナは8の字形の指向性を示す。従って必ずヌルの方向が存在し、この方向に送信アンテナがある場合には極端に感度が低下して支障をきたすことになる。

この問題に対して、ループアンテナとしての動作モードの他に、ループアンテナ部分と装置の回路部分を収容しているプリント基板の接地との間にできるモノポールアンテナの動作モードを併せて利用することにより、ループアンテナのヌル方向の感度を上げる方法が従来から提案されてきた。一方、小形化したアンテナではインピーダンス整合をとるために、リアクタンス成分を打ち消すことが必要となるが、ループアンテナの誘導性リアクタンスと、モノポールアンテナの容量性リアクタンスの両方を独立に打ち消す具体的な手法についての提案は皆無であった。

そこで本論文では、ループアンテナの誘導性成分を打ち消すためのコンデンサを2分割し、接地に対するループアンテナの平衡点に、モノポールアンテナの容量性成分を打ち消すインダクタンスを接続し、ループアンテナ、モノポールアンテナの2つの動作モードを併せ持つことを可能にした。この方法により、ヌルとなる方向と偏波を大幅に減少させることができた。

第3章「ページャ用ループアンテナの放射効率の数値解析と測定」では、小形ループアンテナの放射効率をワイヤグリッド法を用いて数値解析するとともに、放射電力積分法による放射効率の測定を行っている。

ページャ用ループアンテナの放射効率が低いことは良く知られているが、その原因については十分には明らかにされていない。そこで、まず、装荷コンデンサ、地板、電子部品がループアンテナの放射効率に及ぼす影響を数値解析した。解析モデルとしては、アンテナ部を線状アンテナで近似し、給電部を集中定数回路、またはアンテナの一部として扱ったモデルに、地板の有無を加えた計4つのモデルを想定した。解析方法は、アンテナを線状セグメントに分割し、モーメント法を用いて各セグメントに流れる電流を求めた。また、この電流を用いて、コンデンサの損失、アンテナの銅損を計算し、放射効率を求めた。この結果、コンデンサのQの値を200から300、400、600と変えていくと、Q=200の場合に比べそれぞれ1.4dB、2.4dB、3.5dB放射効率が向上することが分かった。また、地板の存在により効率が下がり、アンテナが地板の中央に置かれたときに最も効率が低下した。さらに電子部品による影響については、アンテナと平行に置いた場合に最も効率が低下することが分かった。これらの結論はページャ端末設計で経験的に得られている特性と定性的に一致するが、理論的に明らかにしたのは初めてである。

一方、ページャ用ループアンテナの放射効率の測定については、従来主にWheeler Cap法を用いて検討されてきた。しかしながら、Wheeler Cap法は小形ループアンテナの入力抵抗が極めて小さく、それを精度良く測定することが難しいことや、Wheeler Capが有るときと無いときのアンテナの電流分布が等しくないことと正確な測定ができないことなどの問題点がある。放射電力積分法はアンテナから放射された全電力を測定することにより、放射効率を測定する方法である。この方法では、電波無響室、電界プローブの走査装置が必要となるが、測定精度が高く、アンテナ周辺の電子部品や人体を含めた測定ができるという利点がある。電界プローブとしてダイポールアンテナを使用し、半球面走査を行うことによりループアンテナからの放射電界を測定した。

整合回路のコンデンサは3個で構成され、Low Q と High Q の2種類の組み合わせとした。Q の値は容量値によって大幅に変わるが、損失に最も大きな影響を与えると考えられるコンデンサの容量は10pF でLow Q の場合 180, High Q の場合 360 である。

Low Q の場合の放射効率は-18.3dB で、High Q の場合の放射効率は-15.7dB であった。この結果より、放射効率が約 2.6dB 向上していることが分かる。このことは、給電回路に装荷されたコンデンサが放射効率に対して大きな影響を与えていることを示している。またこの結果より、コンデンサの Q 値を大きくすることにより、放射効率の改善が可能であることが分かった。

数値解析と、放射電力積分法による測定モデルは、必ずしも同一ではないので厳密な比較はできないが、放射効率についてはかなり良く一致しており、特にコンデンサの Q 値を高くしたときの放射効率の改善度は理論値で 2.3dB~2.6dB であり、実験値とよく一致している。このようにコンデンサの Q を向上させるだけで容易に受信感度を改善できることは、実用上極めて有意義である。

第4章「シフトレジスタを用いた復調回路のデジタル化とクロック再生の高性能化」は、従来アナログ処理を用いていた復調回路の機能を、デジタル処理化する方法について述べている。すなわち、小形化、低消費電力化を達成するためには LSI 化が近道であり、デジタル回路のみで復調回路を構成することが重要である。

ここでは、シフトレジスタによる移動平均回路を用いて、位相の A/D 変換器と低域フィルタを実現し、復調回路の完全デジタル回路化を達成した。この移動平均回路は、筆者らの考案した新しい方式で、シフトレジスタの中の「1」の数をアップダウンカウンタのカウント値に転写するもので、回路規模が小さくて済み、速いクロックも必要としないという特徴を有している。さらに、この手法を発展させた二重移動平均回路を考案した。これらの手法を、サブキャリア MSK モデム LSI と $\pi/4$ シフト QPSK 用復調回路 LSI に応用するとともに、4 値 FSK 復調回路を試作し、その有効性を示した。

次にデジタル PLL によるクロックの再生を取り上げ、バースト信号受信に対して、クロック再生が極めて重要であることを示すとともに、その評価法を提案した。これらの検討に基づいて、クロック位相再生の高速性と低ジッタ性の両立を図る方法と、クロック再生確率を向上させる手法を提案した。

第5章「自動車点火栓雑音の符号誤り率への影響」はインパルス雑音によって起こる移動通信のデータ誤りについて、インパルス雑音1個当たりで起こる誤りの数のモデル化を行い、このモデルによって、実験結果の拡張適用をより正確に行えることを示した。

主として自動車等から発生するインパルス性雑音から成る都市雑音は、デジタル無線伝送特性に強く関係しており、その影響について従来から大々的な測定が行われて来た。インパルス性雑音の測定は、通常 CISPR の準尖頭値法で実施されるが、検波特性に時定数が含まれているために、無線データ伝送の誤り解析への適用が難しく、変調方式や伝送速度の異なる各システムについて、個別に誤り率の測定を行う必要があった。

筆者は受信機中間周波数帯域幅で換算したインパルス雑音の尖頭値に着目し、次のような事実を実験的に見出した。

- 1) インパルス雑音 1 個当たりの符号誤りは、受信されたインパルス雑音の尖頭値と、受信信号レベルとの比で一義的に決まる。ただし、そのインパルス雑音のレベルは受信機中間周波数帯域幅で換算した値とする。
- 2) インパルス雑音の分布に従って、インパルス雑音個々による誤りを加算することにより誤り率の予測ができる。

この考え方を使い、自動車点火栓雑音の標準的パラメータを用いてビット誤り率を計算した値と、都市雑音シミュレータで雑音を発生させて、誤り率を測定実験した値とが良く一致し、この予測法の有効性を示した。

この考え方は、変復調方式や受信機帯域幅が異なっても、誤り率予測に拡張適用することができる。ただし、各方式に対するインパルス雑音 1 個当りで発生する誤り数を明らかにしておく必要がある。このために、以下のような手順で解析を進めた。

- 1) 受信フィルタを通過したインパルス雑音の時間応答を求める。
- 2) 誤りの発生は、その瞬時におけるインパルス雑音と信号との振幅比と位相関係によって決まる。
- 3) インパルス雑音と信号の位相関係、時間関係は一様分布のランダムであると考えられるので、雑音 1 個当りで発生する誤り数は、平均値の考えを導入する。
- 4) 信号の判定点での誤り数を、相対的な位相関係は $0 \sim 2\pi$ 、時間関係は $-T/2 \sim T/2$ (T は信号のシンボル周期) に変化させて積分して誤り数の平均値を求め、インパルス雑音 1 個のインパルス応答の時間長に渡って加算する。

上記の手順に従って、PHS に使われている変復調方式である $\pi/4$ シフト QPSK の遅延検波で解析と実験を行い、比較した結果、解析値と実験値が良く一致し、本解析モデルの有効性が示された。

さらに、試作したページャ用 4 値 FSK 復調回路で実験を行い、PSK の場合との比較を行うとともに問題点を明らかにした。

第 6 章「結論」は本研究の各章で得られた結論の総括である。

審査の結果の要旨

無線呼出は最も古くから普及した移動通信システムであるが、無線呼出端末装置（通称ポケットベル、以下ページャ端末装置）には現在でもなお小形・軽量化、高感度化などの性能が要求されている。本論文はページャ端末装置の高性能化を目的として行った研究をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、ページャ端末の高性能化に必要な技術について述べている。

第2章は、ページャ端末内蔵の小形ループアンテナの指向性に生じるヌルをなくすために、ループアンテナの動作モードに加えてモノポールアンテナの動作モードを併用する給電法を示している。この給電法は、最大感度方向の利得にほとんど影響を与えずに、2つの動作モードに対して同時にインピーダンス整合をとることができるという特徴を持つもので、実用性の点で優れている。

第3章では、従来明確ではなかった小形ループアンテナの放射効率低下の原因を明らかにするために、インピーダンス整合用コンデンサの損失や電子部品などが放射効率に及ぼす影響を数値解析により定量的に明らかにし、放射効率の測定によりその正当性を示している。また、コンデンサのQを高くすることにより容易に2.3~2.6dB程度効率を改善できることを理論と実験から明らかにしている。これは、ページャ端末の感度向上を達成したもので、高く評価できる。

第4章では、回路規模が小さく、速いクロックを必要としないデジタル復調回路を実現するために、シフトレジスタによる移動平均回路を用いて、位相のA/D変換器と低域フィルタを構成する方法を提案している。また、デジタルPLLによるクロック再生について論じ、クロック位相再生の高速性と低ジッタ性の両立を図る方法、およびクロック再生確率を向上させる手法をそれぞれ提案している。

第5章では、主に自動車点火栓から発生するインパルス性雑音1個当たりのデータ誤りが、受信機中間周波数帯域幅で換算したインパルス性雑音の尖頭値と受信信号レベルとの比で一義的に決まることに着目し、変復調方式や受信機帯域幅が異なった場合でもインパルス性雑音のレベル分布に応じて誤り数を加算することにより、誤り率を予測できることを示し、耐雑音性に優れた端末装置の設計の基礎を与えている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、アンテナの指向性と放射効率の改善、受信機のデジタル化と高性能化、およびインパルス性雑音の影響の予測法を提案し、ページャ端末装置の高性能化を図ったもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。