

氏 名	鈴 木 英 男
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )
学位授与年月日	平成 4 年 3 月 27 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 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) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	非ガウス性ノイズ環境におけるデジタル通信方式の イミュニティに関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 高木 相
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 高木 相      東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 宮城 光信

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

近年、移動通信が活況を呈してきている。デジタル通信では、多くの情報を伝送するためには、高速な伝送レートを実現する必要がある。これを実現するとき問題となるのがノイズで、特に非ガウス性ノイズが問題となる。移動（無線）通信では、ノイズの影響が大きく、高速な伝送レートを得るための、周波数利用効率（ $\eta$ ）の高い通信方式が使用できない。将来的には、より高効率の通信方式の採用が予想されているが、現状では、GMSK（ $\eta=1$ ）、 $\pi/4$  QPSK（ $\eta=2$ ）どまりである。

周波数利用効率の高い通信方式が、利用できない主な原因としては、非ガウス性ノイズを含む実際のノイズ環境の把握が難しいことが考えられる。また、通信システムの解析に関する従来の研究は、理論解析のみの場合が多く実際の非ガウス性ノイズに対するイミュニティ（耐ノイズ性）設計が行えるかどうかは分からない。また、非ガウス性ノイズという場所による違いの大きい場合にこそ実験の必要性があるのである。

これらの問題点から、これからの通信では、

- ①身の回りの（非ガウス性）ノイズを把握する
- ②各通信方式の非ガウス性ノイズに対するイミュニティ評価
- ③身の回りのノイズ環境のシミュレートとそれによる実験

の3本柱で通信のイミュニティ設計を行うべきである。

そこで本論文では、実際に即した非ガウス性ノイズに対する通信のイミュニティ設計を行う目的で、可制御ノイズ源の実現を中心に実験的検討への準備をはかるものである。これは、③身の回りのノイズ環境のシミュレーションに重点をおき全体を系統的に扱うものである。

## 第2章 通信チャネルのノイズとデジタル通信方式のイミュニティ

### －従来の研究と問題点－

ノイズを分類し、実際のノイズは、{連続性, インパルス性, バースト性}, {一定周期, ランダム生起} などの様々な形態があることを述べた。

ノイズを表す種々のパラメータを述べ、ノイズ強度をある1つの値で示す国際無線障害特別委員会 (CISPR) のノイズ測定法がデジタル通信に合わないことを述べ、実際のノイズ環境は、分布パラメータで測定する必要性のあることを述べた。

実際のノイズ環境の分布パラメータによる測定例を述べ、ノイズの振幅確率分布 (Amplitude Probability Distribution: APD) の測定例から、通信路で加わるノイズの形態は、ガウス性ノイズに非ガウス性 (インパルス性/バースト性) ノイズが重畳した状態であることを述べた。実際のノイズ環境での実験による通信システムの解析を行うためにも、実際のノイズ環境をシミュレーションできる可制御ノイズ源の必要性があることを述べた。

第1章で述べたような、3本柱で通信のイミュニティ評価を行った従来の研究には、J.D. Parsons らの報告がある。その報告では、実際のノイズ環境の周波数情報 NAD (Noise Amplitude Distribution) を測定し、VHF 帯 FSK のイミュニティ特性を測定し、NAD と誤り率の関連性を示した。これは、系統的に扱ったただ1つの例であるが、NAD 以外のパラメータとの関連性に触れていない。

そして、将来さらに周波数利用効率の高い通信方式を利用できるようにする上で問題となる、ノイズの振幅情報 (APD) など、他のノイズパラメータに対しても検討する必要性のあることを述べた。

## 第3章 デジタル式ガウス性ノイズ源による可制御ノイズ源

実際のノイズ環境を表すために必要なパラメータを列挙し、特に時間軸のパラメータであるインパルス指数  $A$  に着目し、周期性ノイズを発生するための、デューティを任意に制御可能なファンクションジェネレータ (Function Generator: FG) と、ランダムノイズを発生するための、パルスの生起確率  $P$  を任意に制御可能なランダムパルス列 (Random Pulse Stream: RPS) 発生器の必要性を述べた。また、これらが用意できれば、異なるインパルス指数  $A$  や、周期性ノイズとランダムノイズの違いという、通信システムの時間領域解析が可能となることを述べた。

具体的には、井上、高木らにより開発された、APD と平均交差率 (Average Crossing Rate: ACR) を制御可能な複合ノイズ発生器 (Composite Noise Generator: CNG) を基にして、インパルス性ノイズ源またはそのタイミングシミュレータとしての、FG と RPS 発生器を用いて構成さ

れる。CNGは、静谷らの開発したデジタル式ガウス性ノイズ源（Digital Gaussian Signal Source: D-GAUSS）を用いている。

これに類似した従来の研究には、Y.NeuvoとW.H.Kuのノイズ源がある。しかし、周期性ノイズとランダムノイズの違いによる影響を調べることのできるノイズ源を構成した例は無い。ここでは、周期性ノイズとランダムノイズを、インパルス指数という共通の時間軸パラメータで表現している点の特徴である。

また、伝送レートが与えられたときの、FGとRPSの具体的設定法を示した。

#### 第4章 ランダムパルス列発生器と可制御非ガウス性（インパルス性／バースト性）ノイズ源

ランダムノイズのタイミングシミュレータあるいはランダムインパルス性ノイズ源としてのランダムパルス列（RPS）発生器を開発した。

RPS発生アルゴリズムには、一般性をもつ二項過程を採用した。二項過程に基づくRPS発生器を設計するために、二項過程に基づく従来の方法を分類整理し、通信のイミュニティテストのためのRPS発生器の必要とする機能は、制御性、定常性、ハードウェア化の現実性であることを述べた。これら3つの要件を踏まえて、設計製作したのが多重M系列を用いた二項過程に基づくRPS発生器である。

実際に製作した回路からのパルス出力と、計算機シミュレーションとが一致することを確かめ、計算機シミュレーションの正当性を確認し、以降すべての検討は計算機シミュレーションで行った。

各方式の出力パルス列の統計検定を行い、提案方式とAlvesとMartinsの方式が実用的であることが示された。これら2つの方式を比較すると、AlvesとMartinsの方式に較べて提案方式の方は、数倍パルス列の高速生成が可能なので、より高速なモデムへの対応が可能であることを結論づけた。また、将来のIC技術を期待し、本方式の発展形として一様乱数に線形合同法を用いた方式が最も特性の良い方式であることが示された。

複合ノイズ発生器（CNG）にRPS発生器と加算器を加えることで、可制御非ガウス性（インパルス性／バースト性）ノイズ源が完成した。

RPS発生器の確率Pが任意に制御できることが示されたことを受けて、本ノイズ源は確率Pに等しい、インパルス指数Aを任意に可制御となった。これは、Y.NeuvoとW.H.Kuのノイズ源では、インパルス指数Aを2のべき乗分の1にしか設計できないことが課題であったが、このノイズ源はこれを克服した。

#### 第5章 可制御非ガウス性ノイズ源によるデジタル通信のイミュニティ評価 —ノイズパラメータとビット誤り率の実験—

第4章までで完成した可制御非ガウス性ノイズ源を、村山が開発したモデムLSIのためのBER（Bit Error Rate）テストに加えることで、目的とする通信システムの評価システムが完成した。

これを用いて、実際にBPSKモデムのイミュニティ試験を行った。ここでは、一定周期のガウス

性バーストノイズという単純なモデルのノイズを用いた。連続性ガウスノイズと、複合ノイズ1（時間率50%）、2（時間率30%）というバーストノイズの3種類のノイズを用いた。その誤り率特性は理論とよく一致した。これら3つのノイズは平均電力が等しい。これらの誤り率からモデムの一般的傾向として平均電力が等しい場合、 $E_b/N_0$ （=SNR/bit）の高い実用的なところでは、瞬間的に大きなノイズが加わったときにビット誤り率（BER）が悪くなる傾向があることが実験で確かめられた。

## 第6章 結 論

より高速な伝送レートを実現するためには、様々な要素技術が必要である。それらは個別に評価しても意味がなく、本論文で完成した通信評価システムでは、それらをトータルの通信システムとして捕らえるので、より実践的な評価を行うことが可能となった。

また、実際のノイズ環境パラメータによる評価が可能となった。

## 審 査 結 果 の 要 旨

デジタル通信システムのイミュニティ（耐ノイズ性）は、従来ガウス性ノイズの場合についてのみ評価されている。しかし実際の電磁環境では、低頻度で発生するインパルス性ノイズのような非ガウス性ノイズの影響が大きく、これによる評価法の確立が望まれていた。この点に着目して著者は、電磁環境ノイズを模擬するために提案されていた複合ノイズ発生器を整備するとともに、新たに、ランダムパルス発生器を開発して、より一般的な電磁環境ノイズを模擬できる装置を完成して、上記評価の可能なシステムを構築し、この有用性を実験的に確かめた。本論文はこれらの成果を取り纏めたもので全編6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、通信チャネルにおけるノイズとデジタル通信方式のイミュニティに関する従来の研究と残されている研究課題について述べている。

第3章では、デジタル式ガウス性ノイズ源をもとに提案されている複合ノイズ発生器を、本研究の目的に合うようにパラメータ制御が可能なものに改良して、任意の振幅確率分布をもつ連続性ノイズ、ランダムに短時間発生するガウス性バーストノイズなどが発生できるものとし、さらにこれに加えて、ランダムに低頻度で発生するランダムパルス発生器を開発し、一般的なノイズ環境を模擬できるノイズ源を得ている。

第4章では、第3章で示したランダムパルス発生器について、回路構成と発生パルスの統計検定の結果について述べている。まず著者は、従来より研究されている各種ランダムパルス発生法について、シミュレーションにより、その性質を確かめ、最終的に多重M系列を用いた方式を採用している。そしてこの回路の出力パルスの統計検定によりポアソンパルス列とガウス性パルス列が、十分な精度で発生できることを確かめている。

第5章では、開発したノイズ源を用いて、電話回線用のデジタル通信用LSIの符号誤りについて実験した結果を述べている。ここで非ガウス性ノイズの影響はガウス性ノイズの場合と大きく異なることを定量的に明らかにしている。このことは一般の電磁環境におけるデジタル通信方式について、その性能評価に有効な手段を提供するとともに、イミュニティ設計を可能にしたものとして高く評価できる。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文はデジタル通信方式のイミュニティについて、従来のガウス性ノイズに対する評価法に加えて、新たな非ガウス性ノイズ源の導入により、より一般的な電磁環境下での評価手段を提供したもので、通信工学の発展に資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。