

氏 名	大 上 健 二
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 63 年 1 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 47 年 3 月 大阪府立大学大学院工学研究科電気工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	デジタル伝送系における伝送路符号変換法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 重井 芳治      東北大学教授 斎藤 伸自 東北大学教授 高木 相

## 論 文 内 容 要 旨

デジタル伝送系においては符号誤りが発生する。この符号誤りが生じたことによる影響は、伝送情報が音声情報である場合にはクリック雑音として知覚され、画像情報である場合にはインパルス雑音やスノー雑音として知覚される。この場合、画像・音声情報に対する人間の視聴覚特性から、伝送品質劣化は、一般に符号誤りがランダムに生起する場合より集中して生起する場合の方が大きい。したがって、デジタル伝送の高品質性をさらに高めるためには、ランダム符号誤り発生に対する対策にもまして、集中したバースト符号誤り発生に対する対策が特に重要となる。デジタル伝送系において発生するこの集中した符号誤りは、その発生要因で分類すると、大別して、伝送路上で加わる集中した妨害雑音（雷、誘導妨害雑音など）により生じるバースト符号誤り、高能率符号伝送復号時の記号誤り拡大により生じるバースト符号誤り、および信号同期多重系の同期制御信号誤りに起因する同期外れにより生じるバースト符号誤りの 3 種類がある。

デジタル伝送系において発生するこれらの集中したバースト符号誤りを除去する方法としては、伝送系内の符号誤り自体は直接制御できないものとし情報源符号化・復号化時に誤り訂正機能を付加する方法と、バースト符号誤り発生の根源にたちかえって伝送系内で直接その発生要因を除去する方法の二通りが考えられる。前者の情報源符号化時に誤り訂正機能を付加する方法として、R.W. Hamming によって端を発した誤り訂正符号をバースト符号誤り除去に適用する多くの研究がなされている。

本研究は、後者のバースト符号誤り抑圧法として、デジタル伝送系において発生する基本的な3種類の集中符号誤りを伝送系内で直接抑圧する伝送路符号変換法について検討を加えたものであり、

- (1) 高能率符号の集中符号誤りを抑圧する新しい符号変換手法
- (2) 集中符号誤りに起因する同期外れを抑圧する新しい符号変換手法
- (3) 集中した妨害雑音を抑圧する新しい符号変換手法

を提案し、その具体的な符号変換構成法とその効果を示したものである。

本論文は、序論1章とこれらのバースト符号誤りを抑圧する3種類の符号変換法に対応した3章および結論1章からなる1編5章より構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、位置づけ、目的ならびに本論文の内容を概括した。

第2章では、高能率符号の集中符号誤りを抑圧する伝送路符号変換法について述べた。伝送路符号は、入力信号系列に制約を課さない符号とするために、直流分抑圧符号でありかつ同符号連続抑圧符号であるように構成される。伝送路符号の中で情報を最も効率よく伝送できる一般化高能率  $mB-nX$  符号を、この条件を満足する符号とすることを考えると、高能率  $mB-nX$  符号系列に対して、複数のワードより構成されるブロック単位の極性制御を行うことが必須となる。従来のブロック極性制御法は、送信側においてブロック極性表示信号を伝送情報信号系列に挿入し、受信側ではその極性表示信号を検出することによりブロックの極性反転の有無を判定して復号する。そのため、もしもブロック極性表示信号に誤りが生じたならば、そのブロック内の全ての記号に誤りが発生するという問題があった。

そこで、一般化高能率符号伝送におけるこのバースト符号誤りの発生を防止する方法として、新しくプリコード極性制御 (PPC) 符号変換法を提案した。この PPC 符号変換法は、プリコーダ・デコーダを用い差分処理により受信側でブロックの極性の復元を行う必要がないようにしたものである。この PPC 符号変換法の一般化高能率  $mB-nX$  符号伝送への適用を考え、高能率  $mB-nX$  符号伝送における PPC 符号変換法の最適構造を明らかにした。また、最適極性制御ブロック長を導出するアルゴリズムを求め、極性制御ブロック長を決定することにより、PPC符号変換法の定量的なバースト符号誤り抑圧特性を解明した。最後に、本 PPC 符号変換法の具体例として、高能率3値 800 Mb/s 同軸伝送システムへの適用例を示した。3値符号系列の最適極性制御ブロック長が 32 (digits) であることを示し、この場合復号した2値符号系列に発生する長さ 50 (bits) 程度のバースト符号誤りが全て抑圧できることを示した。

第3章では、集中符号誤りに起因するデスタフ誤りを抑圧する伝送路符号変換法について述べた。デジタル信号の多重・分離処理における信号同期方式として一般にスタフ同期方式が用いられる。このスタフ同期方式においては、同期化のため挿入される、情報を有しないスタフパルスの有無の識別を可能とするために、スタフ制御信号が用いられる。このスタフ制御信号に誤りが生じスタフパルス挿入の有無の判定を誤るデスタフ誤りが発生すると、フレーム同期外れが誘発されフレーム同期復帰が完了するまでの間記号誤りが発生する。このため、スタフ制御信号は一般に複数の奇数個の記号で構成され、多数決論理判定により誤り訂正能力をもたせている。

このスタッフ制御信号を含むスタッフ同期多重化信号がバースト記号誤りの生起確率の高い伝送路を伝達されると、記号誤りが独立かつランダムに生起する伝送路の場合と比較して、スタッフ制御信号の過半数個以上の記号誤りの生起確率が大きくなり、デスタック誤りの発生頻度が増大するという問題があった。

そこで、スタッフ同期多重伝送系において、集中記号誤りに起因して生起するこのデスタック誤りを抑圧する新しいインターリーブ伝送路符号変換法を提案した。このインターリーブ符号変換法は、集中した記号を時間軸上に分散化して、スタッフ制御信号の過半数個以上の記号誤りの生起確率を低減するものである。はじめに、スタッフ同期多重化信号列のバースト記号誤りによるデスタック誤りの発生頻度の増大現象を解明するために、そのモデル化を行いデスタック誤りの発生頻度を定式化した。次に、(b, q) ブロックインターリーブによって、記号列の任意の連続した b 個の記号が記号列上に分散化されたとき、これらの b 個の記号の最小記号間距離を最大 (q) とする新しいクラスⅢおよびⅣの 2 種類の (b, q) ブロックインターリーブ法を明らかにした。これらのインターリーブ法は、最小記号間距離を評価基準としたとき、連続する記号に対して分散化能力の最も優れたインターリーブ法である。また、複数段のハイアラキで構成された一般化されたスタッフ同期多重伝送系におけるインターリーブ符号変換法について考察した。この一般化されたスタッフ同期多重伝送系内の全ての信号系列にバースト記号誤りに起因するデスタック誤りが生じないという条件のもとに、ブロック長最小のインターリーブ法を求めるアルゴリズムを導出した。最後に、デスタック誤りを抑圧するインターリーブ符号変換法の実例として、高能率 4B-3T 符号伝送路を含むスタッフ同期多重伝送系への適用例を示した。4B-3T 符号復号時の記号誤り拡大に起因して発生するデスタック誤りを抑圧するのに最適なインターリーブ符号変換法は、ブロック長が  $N=9$  であるクラスⅣの構造を有するインターリーブ法であることを示した。4B-3T 符号伝送路を含むスタッフ同期多重伝送実験において、ランダム記号誤りの場合と比較して、1000 倍程度の発生頻度のデスタック誤りがここで提案したインターリーブ符号変換法を用いることにより、完全に抑圧できることを実証した。

第 4 章では、集中したインパルス雑音を抑圧する伝送路符号変換法について述べた。伝送路において発生するインパルス雑音の影響を軽減する代表的な方法に時間拡散法がある。この時間拡散法は、互いに逆の著しい傾斜を有する遅延周波数特性をもつスミア・デスミアフィルタを送受信端に設け、伝送信号に波形歪を生じさせることなく伝送路上で発生するインパルス雑音エネルギーを時間軸上に拡散するものである。いまこの時間拡散法により、インパルス雑音振幅値を再生中継器の識別余裕値以内に抑圧すれば、伝送路上でインパルス雑音が生じてもこれに起因する符号誤りを回避することができる。この時間拡散法においては、波形伝送という観点からは SN 比の劣化が生じないということが必要となり、またインパルス雑音の抑圧という観点からは雑音エネルギーを時間軸上に一様に拡散することが必要となる。しかしながら、従来この両条件を満たした時間拡散法は見出されておらず、この両条件を満たし拡散効率を高めた最適な時間拡散法を確立することが重要な課題となっていた。また、集中して生起するバースト性インパルス雑音に対する時間拡散法の雑音エネルギー拡散特性の解明がなされておらず、このバースト性インパルス雑音を抑圧するのに最適な時

間拡散法も明らかにされていなかった。

そこで、時間拡散変換においてSN比劣化を生じさせることなく単一インパルス雑音エネルギーの一樣拡散を可能にするという意味で最適時間拡散法の条件を満足する新しいブロック変換形時間拡散法を提案した。この時間拡散法は  $\{1, -1\}$  を要素とする巡回性直交行列で構成されたブロック拡散行列により雑音エネルギーを時間軸上に一樣に拡散するものである。このため、この時間拡散法は、従来のスミア法と比較して単一インパルス雑音に対する拡散時間を  $1/2$  に短縮でき、拡散効率をその限界値まで向上させることができる。さらに、集中したバースト性インパルス雑音をより一層効率よく拡散するために、上に述べた時間拡散法とインターリーブ法を併用した新しいインターリーブ時間拡散法を提案した。インターリーブ時間拡散法において、インターリーブ拡散時間を最小とするインターリーブ法を導出しそれが第3章で示したクラスIVの  $(b, N)$  インターリーブ法であることを明らかにした。このインターリーブ時間拡散法のバースト性インパルス雑音抑圧特性を解明することにより、インターリーブを併用しない単純な時間拡散法の所要拡散時間がインパルス雑音のバースト長の2乗に比例するのに対して、インターリーブ時間拡散法の所要拡散時間は、バースト長に比例する程度の長さに抑えることを示した。すなわち、インターリーブ時間拡散法がインターリーブを用いない単純な時間拡散法に比べ、拡散時間をほぼインパルス雑音のバースト長分の1に短縮できる。最後に、本時間拡散法の実例として、加入者線伝送系への適用例を示した。情報伝送速度が  $64 \text{ kb/s}$  の場合、サイズが  $127 \times 128$  の拡散行列とクラスIVの  $(3, 128)$  インターリーブを併用したインターリーブ時間拡散法により、実際の伝送系において発生する数十  $\mu\text{sec}$  幅のバースト性インパルス雑音を、再生中継器の識別余裕値であるピーク信号振幅値の10%以下に抑圧できることを示した。これにより、加入者線伝送系におけるバースト性インパルス雑音妨害の影響を完全に除去できることを明らかにした。

第5章は結論である。本研究を総括し、研究で得られた結果と、デジタル伝送系において発生する基本的な3種類の集中符号誤りを伝送系内で直接抑圧する本符号変換法の有効性について述べた。

## 審査結果の要旨

通信網を、既存のアナログと異なるデジタル通信網に変える ISDN 計画は世界各国で着々と進行している。その主要部をなすデジタル伝送系における品質劣化要因は符号誤りである。特に著者は、集中して発生するバースト符号誤りに注目し、その対策を研究した。本論文はその成果をまとめたもので、全文 5 章からなる。

第 1 章は緒言であり、本研究の背景について述べている。第 2 章では、高能率符号変換系における集中符号誤りを抑圧する符号変換法を述べている。著者は、ブロック極性ビットを誤るとブロック全部を誤るという従来の方法の改善策として、コーダ・デコーダを用いる差分処理を送信時に行うことにより、被害を最小に抑えられることを見出した。これをプリコード極性制御符号変換法と呼び、その最適構造、導出アルゴリズム、最適ブロック長を求めている。さらに具体例によって、3 値符号系で 32 デジット以下のバースト符号誤りが抑圧できることを示した。

第 3 章では同期系の問題について述べている。デジタル伝送系では同期方式が重要で、一度同期を外すと同期が回復するまでの間誤り続けることになる。広く伝送系に用いられているスタフ同期方式では、その制御信号を奇数個の記号で構成し、多数決原理を適用しているが、バースト誤りに対しては、誤りの発生頻度が増大する場合があります問題である。著者は、符号系列をブロック化し、そのブロック内では隣接ビットを最大に分散させるブロックインターリーブ法について解析を行い、最良のインターリーブ法を見出した。例として、インターリーブブロック長が 9 の 4 B 3 T 符号伝送系において、ランダム誤りに較べて  $10^3$  倍の誤り率となるバーストに対しても完全に抑圧できることを示した。これは実用上優れた成果である。

第 4 章では、伝送路において発生するインパルス雑音の影響を軽減する方法について述べている。まずブロック変換型時間拡散法を提案している。これは  $\{1, -1\}$  を要素とする巡回性直交行列で構成されたブロック拡散行列により雑音エネルギーを時間軸上に一様に拡散する。さらに、これに要する拡散時間がインパルス雑音のバースト長の 2 乗に比例する欠点に対して、インターリーブ法の適用を試み、拡散時間を最小にするインターリーブ法を見出し、所要拡散時間をバースト長に比例する程度の長さに抑えることを可能にしている。これを加入者線伝送系に適用し、 $127 \times 128$  の拡散行列と最適インターリーブ法を併用したとき、 $64 \text{ kb/s}$  の系において、数十  $\mu$  秒幅のバースト性インパルス雑音を、再生中継器の識別余裕値であるピーク振幅値の 10% 以下に抑圧でき、これによりこの妨害を完全に除去できることを示した。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、デジタル伝送系において発生する基本的な 3 種類の集中符号誤りを伝送系内で直接抑圧する、優れた方法を与えたものであり、通信システム工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。