

	くも ぎき きよ み
氏 名	雲 崎 清 美
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成12年2月9日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最 終 学 歴	昭和57年3月 豊橋技術科学大学大学院工学研究科電気・電子工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	デジタル通信網におけるアクセス伝送系に関する研究
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 塩川 孝泰 東北大学教授 根元 義章 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学教授 荒井 賢一

論 文 内 容 要 旨

近年の情報通信のダイナミックな変化に対応して映像伝送サービスを含む通信サービスの高度化・多様化が求められており、これらの通信サービスを効率良く多重化し、経済的に提供するアクセス伝送システムの導入が期待されている。アクセス伝送系の将来への展開として、まず現在大多数の回線数を占めているメタリックケーブルを用いた既存の電話系サービスをセンタ局からユーザ宅の直近まで光ファイバを敷設して收容し、計画的にアクセス伝送系の光化を推進する。高速サービスの需要が発生した場合にはユーザ宅まで光ファイバを延長することで迅速に対応可能とする。本研究ではこのようなアクセス伝送系の将来展望を背景として、デジタル通信網におけるアクセス伝送系に関して、光・メタル複合アクセス伝送における誤り訂正技術、光アクセスネットワークの構成法およびパッシブダブルスター光アクセス伝送方式技術を確立することにより、サービス需要に対する即応性、高い信頼性とともな経済性を実現することを目的としている。本論文の内容は次の通りである。

第2章は光・メタル複合アクセス伝送における誤り訂正に関する章である。アクセスネットワークの光化が進展した状況においても既存の電話系サービスについては、ユーザの近傍の伝送区間はメタリックケーブルを使用する光・メタル複合アクセス構成である。メタリックデジタルアクセス方式の設計においては、メタリックケーブル固有の各種雑音による伝送品質劣化を考慮する必要がある。特にアクセス伝送系のデジタル化の過程では既存のアナログ電話回線とメタリックデジタルアクセスシステムが併設される形態で導入されるため、アナログ電話回線からのインパルス性雑音が主な伝送品質劣化の要因となり、インパルス性雑音の影響

を除去することが主たる課題となる。インパルス性雑音による伝送品質劣化に対する改善方策として誤り訂正方式の適用が有効であり、設計法の確立が必要であった。誤り訂正方式は従来、信号電力制限が厳しい衛星通信、移動体通信等の無線伝送の分野において、一定の伝送品質を得るための所要信号電力の低減を図る目的で研究がなされているが、有線伝送系では誤り訂正符号化に伴う伝送速度の上昇、ハードウェア規模の増大等の理由から適用例はほとんど見られなかった。

本章ではメタリックデジタルアクセス系における主な伝送品質劣化要因であるアナログ電話回線からのインパルス性雑音に対する品質改善方策として誤り訂正方式を適用し、その改善効果を明らかにする。まず伝送速度 200kb/s のメタリックデジタル伝送においてインパルス性雑音による符号誤りデータを収集し、変形ギルバートモデルを適用して伝送路のモデル化を行いインパルス性雑音によるバースト符号誤り特性を明らかにする。次にインタリーブによりバースト符号誤りをランダム化した後、ランダム誤り訂正符号により誤り訂正を行う方式について、変形ギルバートモデルを用いて誤り訂正効果を解析的に求め、従来明らかにならなかったメタリックデジタル伝送における誤り訂正効果を、符号誤りモデルに立脚した解析により明らかにする。誤り訂正符号の符号長をパラメータとしてインタリーブ長に対する誤り訂正効果を求め、遅延量約 1 ms のデータ遅延量となる設計値として、符号長が 13 ビット、インタリーブ長が 16 ビットの場合は、約 2 桁の誤り率改善効果が得られ、十分な性能向上を図ることができることを示す。さらに試作した誤り訂正回路を用いた伝送実験により誤り訂正能力を測定し、解析の妥当性を確認する。

デジタルデータアクセスシステムへの誤り訂正方式の適用においてインタリーブ機能を時分割方向制御伝送における速度変換用バッファメモリを用いて実現し、ハードウェアの増大を抑える構成を提案し、誤り訂正符号長およびインタリーブ長の設計を行い、実回線を用いた伝送実験により誤り訂正効果を確認する。バースト誤り訂正能力の評価法としてバースト雑音を伝送路に印加する方法を提案し、解析および実験により正確な評価が可能であることを明らかにする。さらに誤り訂正の復号処理における誤り検出情報を用いて伝送路誤り率を推定する方法を提案し、伝送路誤り率および誤り訂正後の誤り率を精度良く推定できることを示す。

第3章は光アクセスネットワークの構成法に関する章である。光アクセスネットワーク構成として、シングルスター、アクティブダブルスターおよびパッシブダブルスターの3つのネットワーク構成について比較する。パッシブダブルスター構成においては光スターカプラを用いて複数ユーザの伝送信号を一本の光ファイバに多重することにより、光ファイバ量を低減できるとともにセンタ側光送受信回路を共用できるため、システムの経済化が可能であることと、光スターカプラを含む光伝送路が受動素子のみで構成されるため、光ファイバの広帯域な伝送特性が確保でき広帯域サービスへの発展性に優れるとともに高い信頼性を確保することができ

ることから光アクセスネットワークとして最も有望であることを示す。

具体的な光アクセスネットワークとしてセルラ通信システムのアクセス部分にパッシブダブルスター光アクセスシステムを用いる構成法を明らかにする。簡易携帯電話等のセルラ通信システムにおいては、多数の無線基地局を設置する必要があるため、基地局とセンタ局間のアクセスネットワークの経済化が特に求められている。従来、基地局とセンタ局間のアクセスネットワークは既設のメタリックケーブルを伝送媒体とするデジタルアクセスシステムを用いているが、メタリックデジタルアクセスシステムが基地局当たり複数回線必要となり、アクセスネットワークのコスト低減が難しいという欠点があった。セルラ通信システムのアクセスネットワークとしてパッシブダブルスター光アクセスシステムの適用が有効である。パッシブダブルスター構成を用いてアクセスネットワークを光化する際、センタ局から基地局までの光伝送路の最適な構成法を明らかにする必要がある。

セルラ通信システムのアクセス部分にパッシブダブルスター光アクセスシステムを用いる構成法に関し、光アクセスネットワークにおける所要光ファイバ量を、サービスエリア半径、セル半径および光スターカプラ分岐数をパラメータとして求め、所要光ファイバ量の各パラメータ依存性を明らかにするとともに、サービスエリアの半径とセル半径の比に対応して所要光ファイバ量を最小とする最適な光スターカプラの分岐数が存在することを明らかにする。シングルスター構成と比較したパッシブダブルスター構成における所要光ファイバ総長を明らかにし、例としてサービスエリア半径が 10km、セル半径が 100m の場合、光スターカプラ分岐数が 30 の近傍において光ファイバ総長の低減効果が最大となり、パッシブダブルスター構成の光ファイバ総長はシングルスター構成の光ファイバ総長の約 9% に減ずることができることを示す。

さらにアクセス伝送路設計として、国際標準によって定められている光アクセスネットワークの伝送距離および光スターカプラ分岐数の規定値において光ファイバ総長を最小とするための最適な光アクセス構成を設計する。

第 4 章はパッシブダブルスター光アクセス伝送方式に関する章である。パッシブダブルスター光アクセス伝送方式を実現する主要技術課題としてマルチプルアクセスプロトコルおよび光網回線終端装置の呼毎起動について検討する。

マルチプルアクセスプロトコルに関して、従来、ユーザに伝送容量を固定的に割当てて固定タイムスロット多重が用いられており、いくつかの方式提案がなされているが伝送容量の使用効率が低く、また需要変動に対応して容量を柔軟に変更することが困難であった。

パッシブダブルスター光アクセス伝送方式におけるマルチプルアクセスプロトコルとして、各ユーザの所要帯域に応じてポインタを用いてタイムスロットを割当てることにより柔軟かつ効率的な多重を実現する可変長タイムスロット多重を提案する。可変長タイムスロット多重の有効性を評価するために固定長タイムスロット多重の場合と電話系サービスにおける呼損率特

性の比較を行い、可変長タイムスロット多重を採用することにより光スターカプラ分岐数 16、各光網終端装置に加わるトラヒック 1.0 アーラン、呼損率 0.01 の条件において固定長タイムスロット多重での所要タイムスロット数 70 を可変長タイムスロット多重の採用により所要タイムスロット数 25 に低減できることを明らかにする。

次にアクセスプロトコルの特性評価のためにアクセス時間の解析を行ない、アクセス時間の確率密度関数を求め、パッシブダブルスター光アクセスシステムにおける典型的なシステムパラメータにおいて、ITU-T での最大アクセス時間規定値である 300ms を満足する条件の下で、約 64 台までの光網終端装置を収容できることを明らかにする。

光網回線終端装置の呼毎起動については、従来の光アクセスシステムは主にデジタル専用線サービスに用いられていたため常時起動しており、これまで呼毎起動について検討がなされていなかった。

パッシブダブルスター光アクセスシステムにおける光アクセス伝送装置に関して、非通信時は光網終端装置の回路動作を停止し通信時のみ回路を起動する呼毎起動を提案した。光網終端装置の呼毎起動を実現するために起動制御回路および起動信号検出回路を備える機能構成および制御動作を提案し、光網終端装置の起動制御シーケンスおよび停止制御シーケンスを示す。

呼毎起動の効果を評価するために、光網終端装置の消費電力を光スターカプラの分岐数、光網終端装置に収容されている宅内機器インタフェース数およびインタフェースの平均呼率をパラメータとして見積もる。呼毎起動を用いることにより著しく光網終端装置の消費電力を低減することが可能であることを明らかにする。例えば収容されるインタフェース総数が 128、光網終端装置の台数が 16、平均呼率が 0.02 の条件において光網終端装置の平均消費電力は光網終端装置が常時起動している場合の消費電力の約 15% に減ずることが可能であることを示す。

本研成果の光・メタル複合アクセス伝送における誤り訂正技術は従来未解決であったインパルス性雑音の問題に解を与え、アクセス伝送系の光化の過程においてアクセス伝送の品質向上に寄与すると考えられる。また本研究成果により実現したパッシブダブルスター光アクセスシステムは従来のシステムでは成し得なかったユーザ近傍までの光化を達成するものであり、1998 年より電話系サービスを経済的に提供するシステムの本格導入が進められている。

審査結果の要旨

近年の情報通信の高速化、多様化に伴って、通信ネットワークでエンドユーザから中継局までの伝送を担うアクセス伝送系には、通信サービスを効率的かつ経済的に提供できるシステムの導入が期待されている。筆者は光ケーブル化が進むデジタル通信網におけるアクセス伝送系に関して、光ファイバ・メタル複合アクセス伝送における誤り訂正技術、光アクセスネットワークの構成法、パッシブダブルスター光アクセス伝送方式に関する研究を進め、効率の良い伝送システムの提案を行うと共に、その有効性を明らかにした。本論文はこれらの研究成果をまとめたもので、全編5章よりなる。

第1章は緒論で、本研究の背景と研究の目的を述べている。

第2章では、ユーザ直近でメタリックケーブルを使用する光ファイバ・メタル複合アクセス伝送系において問題となるインパルス性雑音のモデルを実験的に明らかにし、次に、これに基づいた符号誤り訂正法および訂正能力の評価法を提案し、実験によりその有用性を示している。従来無線伝送系で用いられてきた誤り訂正技術を有線伝送系に適用したのは筆者が初めてであり、実用上重要な成果である。

第3章では、光アクセスネットワークの構成法について研究し、複数ユーザを集線するパッシブダブルスター光アクセス伝送方式が、多重化による光ファイバ総長の低減によりシステムの経済化が可能であること、広帯域サービスへの発展性や高い信頼性の確保が可能であること等から、最も望ましい構成法であることを明らかにしている。次に、セルラ通信システムのアクセス部分にこのパッシブダブルスター光アクセス伝送方式を用いる構成について検討を行い、中継局と光スターカプラの距離およびセル半径によって光ファイバ総長の低減効果が最大となるスターカプラの分岐数が存在することを明らかにし、従来のユーザ毎に個別の光ファイバを用いるシングルスター光アクセス伝送方式に対して、光ファイバ総長の大幅な短縮が可能となることを示している。

第4章では、パッシブダブルスター光アクセス伝送方式を実現する主要技術課題について検討を行っている。まず、マルチプルアクセスプロトコルに関して、各ユーザの所要帯域に応じてタイムスロットを割り当てることにより、柔軟かつ効果的に多重化を実現できる可変長タイムスロット多重化法を提案し、解析により良好な性能を実現できることを示している。次に、光アクセス伝送装置に関して、通信時のみ回路を起動する呼毎起動を提案し、消費電力の低減を図っている。さらに提案方式について実験を行い、経済的かつ高性能な光アクセス伝送システムを実現し、重要な成果を得ている。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、光ケーブル化が進むデジタル通信網における高効率なアクセス伝送系の実現を目指して、光ファイバ・メタル複合アクセス伝送における誤り訂正技術、光アクセスネットワークの構成法、パッシブダブルスター光アクセス伝送方式に関する新技術の提案を行い、その有効性を明らかにしたもので、通信工学および通信ネットワーク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。