

学位論文題名

F M 周波数多重方式による

ハイビジョン信号の光伝送に関する研究

学位論文内容の要旨

近年半導体レーザダイオード(LD)の直線性が飛躍的に改善され、数十チャンネルのアナログ映像信号の周波数多重光伝送システムの開発が精力的に進められている。周波数多重光伝送では、LDの非直線性に基づいて発生する相互変調歪がRF信号に妨害を与えるという問題がある。多重数が少ないときには最も強度が大きな2次歪に対する検討が重要であるが、CATVのような多チャンネル伝送では3次歪も考慮した検討が必要となる。

ハイビジョンの信号方式には、素材信号の伝送に適したコンポーネント方式と、放送分配伝送に適したMUSE(Multiple Sub-Nyquist-Sampling Encoding)方式が用いられる。ハイビジョンは衛星放送により普及すると考えられるので、CATVでハイビジョンをサービスする場合には衛星放送と同じMUSE-FM方式により伝送し、低廉なBSチューナで受信することが望ましい。

映像信号のアナログ変調方式としては、一般的に残留側波帯振幅変調(VSB-AM)方式と周波数変調(FM)方式が考えられる。FM方式はVSB-AM方式よりも歪妨害の影響を受けにくい、SN比をCN比に対して大きく改善できる、所要受光電力が低いなどの利点をもち、光ファイバの広帯域性を生かした高品質な伝送が可能である。

映像信号の多重方式としては、TDM(Time Division Multiplexing)とFDM(Frequency Division Multiplexing)の2種類が考えられる。FDMは信号多重効率がTDMに劣るものの、信号の同期回路や複雑な多重回路を必要としないため、低廉なシステムをつくることができる。

以上の点を考慮し、本研究は放送素材系から放送分配系に至るハイビジョン放送の伝送系を一貫したFM周波数多重方式を用いた有線伝送システムとして実現することを目的として、昭和59年から平成4年までNHK放送技術研究所で行われた。本論文はFM-FDM光伝送の具体的構成法について述べているが、特に多チャンネル伝送をしたときにLDで発生する相互変調歪に関する解析や実験に重点を置いている。

これまでにLDで発生する相互変調歪に関する研究は数多いが、多チャンネルのハイビジョンFM信号で、LDに深い光変調を施した場合における受信CN比などの伝送特性に関する研究は不十分であった。本論文は解析および実験により、この課題に明快な指針を与えようとするものである。

本論文では光ファイバによるハイビジョン信号の放送システムとして、2種類の伝送システムについて述べている。そのひとつは素材信号の高品質な伝送を目的とした輝度色(YC)分離コンポーネント方式の局内伝送システムで、もうひとつは多チャンネルの低廉な放送分配を目的としたMUSE信号によるCATVシステムである。以下には本論文の概要を示す。

第1章では、関連研究分野の概要、研究の目的、論文の構成を述べている。

第2章では、光CATVをとりまく放送メディアの動向、伝送方式、信号分配方式を概観するとともに、FTTH(Fiber To The Home)を低廉に実現できるCATVとして提案するデマンドアクセス方式光CATVシステムの特徴について述べている。このシステムでは網の途中に設置するハブにおいて、加入者が希望するチャンネルだけが選択されてスター型網により伝送される。この構成により、将来のチャンネル数の増加に対し、加入者端末を含めた加入者系に変更工事が不要となり、また、スクランブルを用いずに有料放送サービスを行うことができる。

第3章では、YC分離コンポーネント方式ハイビジョン信号の局内光伝送システムの構成法について述べている。2次の相互変調歪を避けたFM信号の新しい周波数配列法を提案している。2チャンネルのハイビジョン信号を伝送する場合、高い周波数帯で伝送するチャンネルの3波のFM信号を低い周波数帯で伝送するチャンネルのFM信号に対し、FMの極性まで対称な周波数に配列することにより、2次歪をFM信号の谷間に効率的に落とし込むことができる。また、マルチモードとシングルモード光ファイバによる伝送実験を行い、局内光伝送には短距離の伝送であってもシングルモード光ファイバが適していることを明らかにしている。受信端で無評価SN比55dB以上が得られることを実験で明らかにしている。また、本装置の中継放送用伝送装置への適用例について述べている。

第4章では、多チャンネルのFM信号を周波数多重光伝送した場合に、LDで発生する相互変調歪の特性に関する基礎的な解析を行っている。その結果、光変調度を m 、伝送チャンネル数を N としたときに、2次歪の電力和と搬送波電力で定義するCSO(Composite Second Order Beat)、中央に配列したFM搬送波周波数における3次歪の電力和と搬送波電力で定義するCTB(Composite Triple Beat)はいずれも $m\sqrt{N}$ で表される実効光変調度で決定され、 $m\sqrt{N}$ を保てば N を増やしてもCSO、CTBが変化しないことを明らかにした。また、実効光変調度を増加させたときに、LDの閾値により多重信号のクリップが発生すると、CSO、CTBが急激に劣化することを示している。さらに、FM変調を受けた多数の相互変調歪が白色雑音のように振る舞い、実効的にCN比を劣化させる事実を明らかにしている。

第5章では、第4章で述べた知見を基に少ない波数の正弦波で伝送実験を行い、LDの非直線性を表す4個のパラメータを知って、より多くのチャンネル数を伝送する場合における最大の受信CN比を推定する幹線系光CATVのシステム設計法について述べている。この設計法では、相互変調歪の数の分布と、歪とFM信号との帯域の重なる2点が考慮されている。その結果、40チャンネルのFM信号を -18 dBm で受光する場合、最大受信CN比 25.7 dB の設計値に対し、ほぼ同じ実験値が得られている。

第6章では、MUSE方式ハイビジョン信号を含む多チャンネルの映像信号を高品質に伝送可能なデマンドアクセス方式光CATVシステムの具体的な構成について述べている。特にデマンドアクセス方式に特徴的なハブのチャンネル選択方式に焦点を当てて、幹線系で伝送する80チャンネルのFM信号から任意の4チャンネルをBS-IF帯に選択するための低廉な回路構成法について述べている。また、受信端末において、5段階の画質評価における評価値4.5を与える受信CN比 17.5 dB を上回る 22.4 dB でサービスが可能であることを明らかにした。

第7章では本研究で得られた成果を総括している。

本研究の実施例は以下の通りである。

YC分離コンポーネント方式光伝送装置を世界に先駆けて開発し、ソウルオリンピック開閉会式のハイビジョンによる生中継実験放送において、メインスタジアムから国際放送センタまで、ソウル市内34kmの伝送に本線系で使用した。

衛星放送と同じFM諸元を用いた80チャンネルのデマンドアクセス方式光CATVシステムは、東京都が東京湾岸13号埋め立て地に現在計画中の東京テレポータウンの未来型CATVとして導入が予定されている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 伊 藤 精 彦
副 査 教 授 小 川 吉 彦
副 査 教 授 永 井 信 夫

学 位 論 文 題 名

F M周波数多重方式によるハイビジョン信号の光伝送に関する研究

近年半導体レーザダイオード(LD)の直線性の改善により、アナログ映像信号の周波数多重光伝送システムの開発が精力的に進められている。周波数多重光伝送ではLDの非直線性に起因する相互変調歪がRF信号に妨害を与えるという問題があるが、これまで相互変調歪を考慮したシステム設計に関する研究は十分とはいえない。

ハイビジョンの信号方式には、素材信号の伝送に適したコンポーネント方式と、放送分配伝送に適したMUSE(Multiple Sub-Nyquist-Sampling Encoding)方式が用いられる。アナログ映像信号の変調方式のうち、FM方式には歪妨害の影響を受けにくい、高いSN比が得られる、所要受光電力が低いなどの利点があり、光ファイバの広帯域性を生かした伝送が可能である。特に、CATVでハイビジョンサービスを行う場合には、衛星放送の普及により低廉化されたBSチューナでMUSE-FM信号を受信する方式が望ましい。本論文はこのような状況の中で、放送素材系から放送分配系に至るハイビジョン放送の伝送系を一貫したFM周波数多重方式を用いた有線伝送システムとして実現することを目的として、NHK放送技術研究所で行われた研究成果をまとめたものである。

第1章では、関連研究分野の概要、研究の目的、および論文の構成について述べている。

第2章では、光CATVをとりまく放送メディアの動向、伝送方式、信号分配方式を概観するとともに、FTTH(Fiber To The Home)を低廉に実現できるCATVとして提案するデマンドアクセス方式光CATVシステムの特徴について述べている。

第3章では、YC分離コンポーネント方式ハイビジョン信号の局内光伝送システムの構成法について述べている。2次の相互変調歪を避けたFM信号の新しい周波数配列法を提案している。2チャンネルのハイビジョン信号を伝送する場合に、高い周波数帯で伝送す

るチャンネルの3波のFM信号を低い周波数帯で伝送するチャンネルのFM信号に対し、FMの極性まで対称な周波数に配列することにより、2次歪をFM信号の谷間に効率的に落とし込むことができる。また、シングルモード光ファイバによる伝送実験を行い、無評価SN比55dBの良好な画像を得ている。

第4章では、多チャンネルのFM信号を周波数多重光伝送した場合に、LDで発生する相互変調歪の特性に関する基礎的な解析を行っている。光変調度を m 、伝送チャンネル数を N としたときにCSO (Composite Second Order Beat)、CTB (Composite Triple Beat) が $m\sqrt{N}$ で表される実効光変調度で決定され、 $m\sqrt{N}$ を保てば N を増やしても変化しないことを明らかにした。また、実効光変調度を増加させたときに、LDの閾値により多重信号のクリップが発生すると、CSO、CTBが急激に劣化することを示している。さらに、FM変調を受けた多数の相互変調が白色雑音のように振る舞い、実効的にCN比を劣化させる事実を明らかにしている。

第5章では、第4章で得られた知見を基に、少ない波数の正弦波での実験により、LDの非直線性を表す4個のパラメータを知り、より多くのチャンネル数を伝送する場合における最大の受信CN比を推定する幹線系光CATVのシステム設計法について述べている。相互変調歪の数の分布と、歪とFM信号との帯域の重なりを考慮すると、40チャンネルのFM信号を -18 dBm で受光する場合に、最大受信CN比 25.7 dB が得られる。

第6章では、多チャンネルのMUSE方式ハイビジョン信号を高品質に伝送可能なデマンドアクセス方式光CATVシステムの具体的な構成について述べている。特に、ハブのチャンネル選択方式に焦点を当て、幹線系で伝送する80チャンネルのFM信号から任意の4チャンネルをBS-IF帯に選択するための低廉な回路構成法について述べている。伝送実験を行い、受信端末において5段階の画質評価における評価値4.5を与える受信CN比 17.5 dB を上回る 22.4 dB でサービスが可能であることを明らかにした。

第7章では本研究で得られた成果を総括している。

これを要するに、著者は、有線系のハイビジョン放送システムの開発に関して、相互変調歪を考慮したFM周波数多重方式による光伝送方式を提案するとともに、デマンドアクセス方式光CATVシステムの開発を通して、FTTHを低廉に実現できる指針を与えており、光通信工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。