

学位論文題名

スペクトル強度符号のPONシステムへの適用の研究

学位論文内容の要旨

日本のブロードバンドサービスの提供システムは、メタルのアクセスシステムから光アクセスシステムが主流となりつつある。ブロードバンドサービスを提供する光アクセスシステムは、経済性の観点から通信事業者ビル内に設置する OLT(Optical Line Terminal) とユーザ宅内に設置される複数の ONU(Optical Network Unit) を、光スプリッタを介して光ファイバで接続する PON(Passive Optical Network) システムが主に用いられる。キャリアネットワークでは、トラフィックを監視・制御する UPC・シェーパを経由した後に、ユーザ信号同士を多重することで、定められた条件に合致しないトラフィックによる他のトラフィックへの影響を抑止する。PON システムは、この UPC・シェーパ機能を OLT の制御に従う ONU が担い、光伝送路中に時分割多重のためのタイムゲートや波長分割多重のための波長フィルタ等を含まない。このような光伝送路とすることで、システム変更の柔軟性等の利点がある。しかし、OLT の制御に従わない LAN 機器等が誤接続されると誤接続機器からの信号光(妨害光)により通信が途絶する。この問題は、設置工事の DIY 化や ONU 自由化により頻発する恐れが高まる。従って、PON システムにおける妨害光耐性の向上が必要である。

妨害光による通信途絶を防止する方法として、3つのアプローチがある。第1は光ファイバと接続可能な全ての機器を OLT の制御に従わせることである。第2は妨害光がない波長で ONU が通信を行うように OLT が制御することである。第3は OLT 側の処理で妨害光の存在下で通信が可能とすることである。既に OLT に制御を受けない機器が多数流通していること、簡易な ONU 構成が望ましいことから、第3のアプローチを選択した。具体的には、PON システムの妨害光耐性向上を目的として、耐干渉性とスペクトル利用効率の観点から無線及び有線メタリックにおいて広く用いられている符号分割多重技術の適用を検討する。

向上すべき耐性として、PON システムに接続する ONU と OLT の距離が最大 20 km 異なる遠近問題を考慮し、妨害光強度が、受信対象の信号光よりも 10 dB 大きい場合にも通信が途絶しないことを目標とする。

上記目的のために、以下の流れで研究を進めた。まず、PON システムの ONU から OLT への上り信号への光符号分割多重符号、特に ONU 側が簡易な構成となるスペクトル強度符号の適用を検討した。適用に際して、消費電力の増大を招く温度調整機構の ONU 配備と OLT の復号器から ONU の符号器に対するフィードバック制御の両方を不要とする温度無依存化が可能な周期性のある直交符号を提案し、温度変化による受信感度劣化がなく、符号間の直交性が保持できることを確認した。また、ONU の在庫コスト圧縮とサービス即応化に寄与する ONU の単一品種化のための符号可変の FBG 符号器を検討し、その符号器に適した巡回性を有する符号を考案した。考案した符号では、スペクトルチップ同士を近接した場合に発生するクロストークによる直交性の崩れを相殺できることを確認した。

更に、光符号分割多重の課題である信号光間ビート雑音に起因する多重数制限を緩和するためのコヒーレント検波の適用を検討した。コヒーレント検波適用のためには、信号光を構成するスペクトルチップとそれらに対応する局発光を構成するスペクトルチップの位相差が全スペクトルチップで同期する必要があることを示した。また、コヒーレント検波を用いる場合に必要となる ONU 側に配備する簡易な多波長光源を直接変調 LD と電気回路のみで構成できることを提案し、実証した。更に、OLT 側に配備し、スペクトルチップ間の位相差の同期を不要とする位相無依存同期検波方法を提案し、原理確認した。

その上で、スペクトル強度符号を用いた妨害光耐性の向上について検討した。第 1 の方法として、3 種類の光符号分割多重の信号光の特性を利用した妨害光除去器による耐性向上を考案し、実験により実証した。第 2 の方法として、妨害光の混入したスペクトルチップの受信を停止しても符号間直交性を保つ選択受信停止による耐性向上を検討し、複数のスペクトルチップに妨害光が混入しても、直交性を保持できることを明らかにした。第 3 に光の符号器を不要として ONU 側の構成を簡易化できるチャープ同期受信による耐性向上を提案した。チャープ同期受信では、妨害光の影響を信号光の受信帯域をチャープ幅で除した値に低減できることを明らかにした。このチャープ同期受信にスペクトル強度符号の受信技術を適用することを提案し、チャープ同期受信の課題であったチャープ幅依存性を解消することが可能であり、妨害光耐性の 30 dB 向上が期待できることを明らかにした。

また、スペクトル強度符号の応用についても検討した。第 1 に、WDM 信号と平行伝送することによる光レイヤでの通信秘匿化を検討し、二つの妨害光除去機を利用することで、2 つの WDM 信号の下で光符号分割多重光を隠蔽できることを明らかにした。第 2 に、スペクトルスライス WDM-PON のスペクトル利用効率の向上する spectrum interleaved duplex を提案した。本方式を適用することでガードインターバルの削減も考慮してスペクトル利用効率が倍増することを明らかにした。

以上により、スペクトル強度符号が PON システムの高度化に有効であり、特に誤接続機器からの妨害光耐性向上による高信頼化が可能であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査 客員教授 吉本 直人
副査 教授 小柴 正則
副査 教授 野島 俊雄
副査 教授 山本 強

学位論文題名

スペクトル強度符号のPONシステムへの適用の研究

ブロードバンドサービスを提供する光アクセスシステムは、経済性の観点から通信事業者ビル内に設置する OLT(Optical Line Terminal) とユーザ宅内に設置される複数の ONU(Optical Network Unit) を、光スプリッタを介して光ファイバで接続する PON(Passive Optical Network) システムが主に用いられる。本論文はこの社会的ニーズを踏まえて PON システムに対してスペクトル強度符号を適用する方式について成果を上げている。

第1章では研究の背景および PON システムの基本方式について論じている。キャリアネットワークでは、トラフィックを監視・制御する UPC・シェーパを経由した後に、ユーザ信号同士を多重することで、定められた条件に合致しないトラフィックによる他のトラフィックへの影響を抑止する。PON システムは、この UPC・シェーパ機能を OLT の制御に従う ONU が担い、光伝送路中に時分割多重のためのタイムゲートや波長分割多重のための波長フィルタ等を含まない。このような光伝送路とすることで、システム変更の柔軟性等の利点がある。しかし、OLT の制御に従わない LAN 機器等が誤接続されると誤接続機器からの信号光(妨害光)により通信が途絶する。この問題は、設置工事の DIY 化や ONU 自由化により頻発する恐れが高まる。従って、PON システムにおける妨害光耐性の向上が必要であることを述べている。

第2章ではスペクトル強度符号の PON システムへの適用について述べている。妨害光による通信途絶を防止する方法として、3つのアプローチがある。1. 光ファイバと接続可能な全ての機器を OLT の制御に従わせる。2. 妨害光がない波長で ONU が通信を行うように OLT が制御する。3. OLT 側の処理で妨害光の存在下で通信が可能とする。本論文では、既に OLT に制御を受けない機器が多数流通していること、簡易な ONU 構成が望ましいことから、3のアプローチを選択している。具体的には、PON システムの妨害光耐性向上を目的として、耐干渉性とスペクトル利用効率の観点から無線及び有線メタリックにおいて広く用いられている符号分割多重技術の適用を検討している。

本章では向上すべき耐性として、PON システムに接続する ONU と OLT の距離が最大 20 km 異なる遠近問題を考慮し、妨害光強度が、受信対象の信号光よりも 10 dB 大きい場合にも通信が途絶しないことを目標としている。その実現のために、PON システムの ONU から OLT への上り信号への光符号分割符号、特に ONU 側が簡易な構成となるスペクトル強度符号の適用を検討し、消費電力の増大を招く温度調整機構の ONU 配備と OLT の復号器から ONU の符号器に対するフィード

バック制御の両方を不要とする温度無依存化が可能な周期性のある直交符号を提案し、温度による受信感度劣化がなく、符号間の直交性の保持できることを確認している。また、ONUの在庫コスト圧縮とサービス即応化に寄与するONUの単一品種化のための符号可変のFBG符号器を検討し、その符号器に適した巡回性を有する符号を考案した。考案した符号では、スペクトルチップ同士を近接した場合に発生するクロストークにより直交性の崩れを相殺できることを確認している。

第3章では光符号分割多重の課題である信号光間ビート雑音に起因する多重数制限を緩和するためのコヒーレント検波の適用を検討している。コヒーレント検波適用のためには、信号光を構成するスペクトルチップとそれらに対応する局発光を構成するスペクトルチップの位相差が全スペクトルチップで同期する必要があることを示している。また、コヒーレント検波を用いる場合に必要となるONU側に配備する簡易な多波長光源を直接変調LDと電気回路のみで構成できることを提案し、実証している。

第4章ではスペクトル強度符号を用いた妨害光耐性の向上について検討している。第1の方法として、3種類の符号光の特性を利用した妨害光除去器による耐性向上を考案し、実験により実証している。第2の方法として、妨害光の混入したスペクトルチップの受信を停止しても符号間直交性を保つ選択受信停止による耐性向上を検討し、複数のスペクトルチップに妨害光が混入しても、直交性を保持できることを明らかにしている。第3に光の符号器を不要としてONU側の構成を簡易化できるチャープ同期受信による耐性向上を提案している。

第5章ではスペクトル強度符号の応用について検討している。第1に、WDM信号とパラレル伝送することによる光レイヤでの通信秘匿化を検討している。その結果二つの妨害光除去機を利用することで、2つのWDM信号の下で光符号分割多重光を隠蔽できることを明らかにしている。第2に、スペクトルスライスWDM-PONのスペクトル利用効率の向上する spectrum interleaved duplex を提案した。

第6章は本論文全体のまとめであり、提案方式の今後の展望について述べている。

これを要するに、著者は、ブロードバンドネットワークの普及に寄与するスペクトル強度符号のPONシステムへの適用に関して有益な新知見を得たものであり、情報通信工学分野の発展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(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。