

氏 名	ひがし の さとる 東 野 哲
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 235 号
学位授与の日付	平 成 18 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻
学 位 論 文 題 目	Study on Signal Processing and Coding Techniques for High Density Optical Information Storage Channels (高密度光学情報記憶通信路における信号処理及び符号化技術に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 吉 田 進 教 授 酒 井 英 昭 教 授 小 野 寺 秀 俊

論 文 内 容 の 要 旨

高精細画像など高品質映像コンテンツさらには大容量コンピュータストレージなどの需要の高まりに伴い、大容量光ディスクの研究開発が進展してきた。近年の光ディスクの大容量化には、短波長レーザや高効率光学デバイスの開発のみならず、高度な信号処理技術の発展が大いに貢献している。この大容量光ディスクにおける信号処理技術は、元来は電気・光通信の技術から派生し、ハードディスクドライブなど高密度磁気記録における技術として大きく発展してきたが、磁気記録とは再生特性が異なることから、いくつもの新たな研究開発課題が存在していた。本論文は大容量光ディスクのフォーマットであるブルーレイディスクを対象として、その高密度記録に有用となる信号処理方式について研究開発を行った成果を取りまとめている。また、さらに将来を見据えた高検出利得が達成可能な符号化と組み合わせた新しい信号処理方式の研究についても報告している。

本論文は全6章から構成されている。

第1章は序論であり、光ディスクの発展の歴史、記録再生原理、信号処理の概要を説明し、本研究の動機、位置づけならびに本論文の構成について述べている。

第2章ではタイミング再生について述べている。特に内挿補間型タイミング再生 (Interpolated Timing Recovery) の原理を説明し、補間回路の問題点である係数メモリを約 1/16 に削減すると同時に、従来の線形補間法に存在していた補間後の波形ひずみを抑圧する方法として分割線形補間 (Partitioned Linear Interpolation) 方式を提案しその有効性を示している。

第3章では再生波形の等化について述べている。まず、高密度記録において有用であるパーシャルレスポンス等化を例に説明している。光ディスクで問題となる再生信号の非対称性の軽減を目的として、適応ボルテラフィルタによる非線形等化方式を検討し、非対称比を16%から0.5%に低減し、その有効性を確認している。

第4章ではデータ検出技術について述べている。高密度記録における信号処理技術であるパーシャルレスポンス最尤復号 (PRML) 方式に適したビタビアルゴリズムについて具体的な実装例を挙げながら詳述している。また、高密度光ディスクにおいて、光学カットオフ周波数以上の信号成分が再生できないために等化誤差が常に存在するという問題を解決するために HEPR-PFML (Hybrid Equalized Partial Response Path-Feedback Maximum Likelihood) 方式を新たに開発し、31GB 光ディスクの実験を通して、従来の PRML 方式よりもチルトマージンが片側0.15度拡大できることを明らかにした。

第5章では光ディスク用の符号化について述べている。第4章までの議論では従来の符号化方式を変えずに、等化方式や検出方式だけを改良して、高密度検出方式を検討してきたのに対し、本章では将来の高密度光ディスクに適した方法として、符号化を組み合わせた高性能検出方式を研究している。具体的には MSN (matched spectral null) 符号を用いたトレリス符号化 PRML 方式について検討を行い、光ディスクの再生特性を考慮して連長制限を有する書き込み符号を新たに開発している。この符号を用いたトレリス符号化 PRML 検出による検出利得の改善を白色ガウス雑音ならびに光ディスクの再生

特性を考慮したシミュレーションにより検証し、25GB の光ディスクの場合入力 S/N 換算で約 1.5dB の利得が得られることを明らかにした。また、トレリス符号化PRML 方式は、当初目標としていた信号処理方式の高密度記録に寄与する指標である修正漸近符号化利得 (Modified Asymptotic Coding Gain) とレイテンシの指標である符号化復号化効率係数の双方の指標の間でバランスの取れた符号であることを明らかにしている。

第 6 章は結論であり、本論文で得られた主要な研究成果について要約して、今後の研究課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

大容量光ディスク技術の進展が著しい。大容量光ディスクドライブには高度な信号処理技術を駆使した高性能光信号データ検出回路が不可欠である。本論文では、たとえ高密度光ディスクの再生特性に劣化が生じた場合でも、良好な光信号データ検出性能が達成可能な信号処理方式に関する研究成果を取りまとめるとともに、大容量光ディスク (ブルーレイディスク) による実験を通して優れた性能改善効果を確認している。また、将来のより高密度記録可能な光ディスクの信号処理方式への適用を念頭において、符号化と検出方式を組み合わせた新しい方式を開発し、計算機シミュレーションによりその改善効果を確認している。得られた主な研究成果は次のとおりである。

- (1) 内挿補間型タイミング再生方式のタイミング再生の際に問題となる、補間関数の係数メモリを削減する方法として、分割線形補間方式を提案した。これにより係数メモリを約1/16に削減することができただけではなく、従来の線形補間において発生していた大きな補間波形のひずみを理想特性に近いレベルにまで抑圧可能なことを周波数解析により明らかにした。この効果は光ディスクにおける実験を通して確認している。
- (2) 光ディスクで問題となる再生信号の非対称性を取り除くための非線形等化について検討を行った。適応ボルテラフィルタを用い、2 次のボルテラ級数で対角項のみの係数を考慮した構成で、非対称比を16%から0.5%にまで削減可能なことを、高密度光ディスクの実験を通して明らかにした。
- (3) 光学カットオフ周波数以上の信号成分が再生されないような高密度光ディスク再生波形に対して、因果的なパーシャルレスポンス等化しながらパス帰還型最尤復号を行う新たな方式を提案した。31GB 光ディスクの実験を通して、従来のパーシャルレスポンス最尤復号 (PRML) 方式よりもチルトマージンが片側0.15度拡大できることを明らかにした。
- (4) 連長制限を有する整合スペクトルヌル符号を開発し、これと提案したトレリス符号化PRML を組み合わせることにより、25GB の光ディスクの場合入力 S/N 換算で約 1.5dB の利得が得られることを計算機シミュレーションにより明らかにした。

以上要するに、本論文は次世代大容量光ディスクにおいて問題となるデータ検出性能を改善するための信号処理技術を明らかにするとともに、将来の光ディスクフォーマットにおいて現状の検出性能を大幅に改善可能な符号化復号化信号処理方式を提案したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (情報学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年10月26日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。