

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04469

研究課題名（和文）データ管理情報アドオン型-4値パルス振幅変調(PAM4)回路の開発

研究課題名（英文）Add-on technique of Monitoring data for 4-Level PAM4 transmission system

研究代表者

岸根 桂路 (Kishine, Keiji)

滋賀県立大学・工学部・教授

研究者番号：20512776

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：高速光通信方式において、伝送チャンネル（番号）情報や信号監視情報等のデータ管理情報を、データフレーム構成を改変することなく伝送し、その情報に基づき高速ルーティングや帯域制御することは、「高速通信システムのフレキシブル化・高信頼化の実現」に、大きく貢献する。本研究では、フレキシブルで高信頼な通信システムの実現を目的とし、一括伝送方式として採用されたPAM4伝送方式を提案し、データ管理情報を周波数変調技術によりデータフレーム信号に重畳（アドオン）・伝送する提案方式の性能と送受信用トランシーバ回路構成の関係を評価し、高性能超高速通信システムの実現を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、高速ネットワークのフレキシブル化・高信頼化に大きく寄与する。ここで、一括伝送しているチャンネル信号の番号（組み合わせ）情報・信号監視情報等のデータ管理情報を、元のデータフレーム構成を改変することなく重畳（アドオン）して同時に伝送する技術が、プロセッサ不要で確立されれば、それら情報に基づくフレキシブルなルーティングと高信頼なネットワーク運用が低コストで実現可能となる。

研究成果の概要（英文）：In high-speed optical communication systems, transmitting data management information such as transmission channel (number) information and signal monitoring information without modifying the data frame configuration, and performing high-speed routing and bandwidth control based on that information, will greatly contribute to "realizing a flexible and reliable high-speed communication system." In this study, with the aim of realizing a flexible and reliable communication system, we propose a PAM4 transmission method adopted as a bulk transmission method, and evaluate the relationship between the performance of the proposed method, which superimposes (adds on) and transmits data management information onto the data frame signal using frequency modulation technology, and the circuit configuration of the transmitting and receiving transceivers, with the aim of realizing a high-performance ultra-high-speed communication system.

研究分野：高周波回路設計

キーワード：4 値パルス振幅変調 PAM4 高周波回路 ネットワーク 高性能 高速 伝送効率 微細デバイス

1. 研究開始当初の背景

超高速光通信システム伝送装置の高速・小型・低コスト化を目指し、極微細化されたデバイスの適用が進んでいる。データ通信拡大に伴う通信ノードへの入力チャンネル数増大に対し、複数チャンネル信号の一括伝送により高速化が実現するが、伝送チャンネル(番号)情報や信号監視情報等のデータ管理情報を、データフレーム構成を無改変で同時に伝送し、その情報に基づき高速ルーティングや帯域制御することは、喫緊の課題である「高速通信システムのフレキシブル化・高信頼化の実現」に、大きく貢献する。本研究(図1)では、データ管理情報の伝送技術の確立を目的とし、複数チャンネル信号一括伝送方式として採用された4値パルス振幅変調(PAM4*)伝送方式において、データ管理情報を周波数変調技術によりデータフレーム信号に重畳(アドオン)・伝送する提案方式の性能と送受信用トランシーバ回路構成の関係を詳細に評価し、フレキシブルかつ高信頼な高速通信システムの実現を目指す。

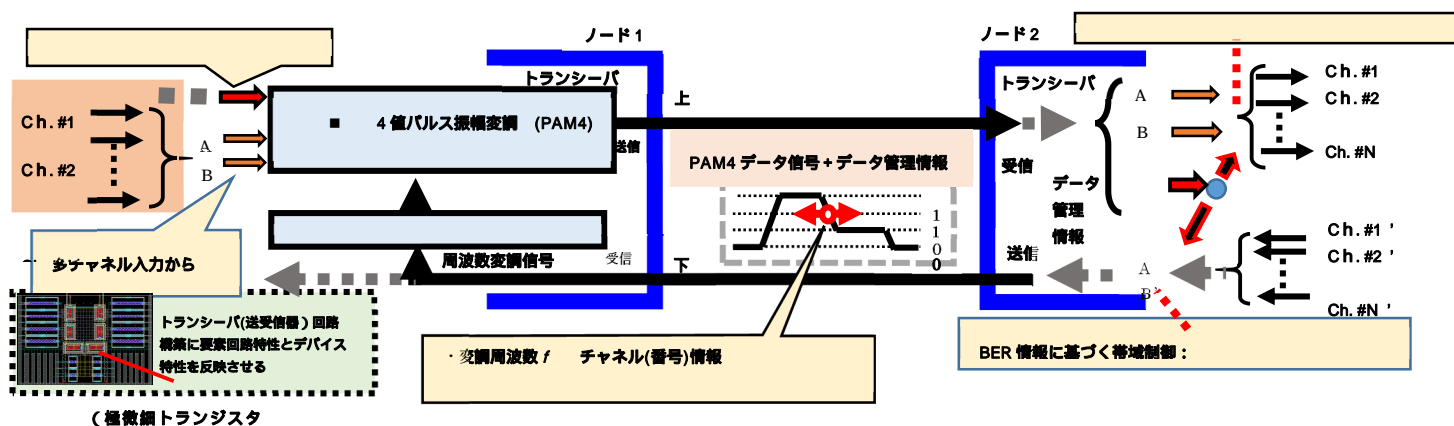


図1 提案回路構成(本研究)

2. 研究の目的

本研究の目的は、PAM4(4-level Pulse Amplitude Modulation) 信号上に、伝送チャンネル(番号)情報や信号監視情報(符号誤り率)を、周波数変調技術により重畳して伝送するトランシーバ回路を極微細デバイスで構築し、超高速伝送システムにおけるネットワーク運用のフレキシブル化・高信頼化を実現することである。提案する独自の通信方式において、送受信するデータ管理情報量の最大化が達成するために、システムから回路・デバイス領域まで俯瞰するアプローチにより、フレキシブルで高信頼な通信システム実現に向けて、極微細デバイス特有の高集積性・高速性を十分に活かしたトランシーバ回路の開発を実施する。申請者がこれまでに進めてきた高性能回路・通信方式の研究成果を活かし、小型・高性能かつ低コストなデータ管理情報アドオン型-PAM4 トランシーバ回路を世界に先駆けて実現する。

3. 研究の方法

補助事業期間中の研究実施計画 A. PAM4 伝送システムにおける入力チャンネル数と通信ノードの伝送装置に要請される信号処理機能の明確化(2020年度Q1-Q2): 多チャンネル入力を導入したPAM4伝送システムにおける伝送速度とチャンネル信号組合せ数の見積り、ならびにチャンネル切替速度とそれらに対する装置動作限界速度の詳細解析を実施する。評価方法: システム側のトラフィック集中と通信ノードにおける柔軟なネットワーク運用を検証し、3チャンネル以上の入力チャンネル数を前提に、伝送されるチャンネル組合せのパターン、チャンネル切替速度(頻度)を見積る。さらにノード伝送装置の動作速度限界がシステムに及ぼす影響を明確化する。また、申請者が所有する65nm-CMOS微細デバイスを用いて試作したPAM4トランシーバ回路を詳細評価し、25Gb/s~50Gb/sを基本データレートとする入力周波数変動許容率、制御応答速度の基礎データを取得する。B. データ管理情報アドオン型-PAM4トランシーバ回路に要求される動作特性実現のためのトランシーバ回路最適構成法(2020年度Q3-Q4, 2021年度Q1-Q4): Aでの検証結果を基に、送受信用トランシーバ回路構成の提案と、PAM4信号の変調による情報重畳-抽出動作における提案回路の速度限界ならびに抽出分解能に関する詳細解析を実施する。評価方法: 提案するデータ管理情報アドオン型-PAM4トランシーバ回路に関し、デバイス特性を反映させた回

路レベルでの検証を実施する。楷デンス社 CAD (Virtuoso) を用い、微細 CMOS トランジスタの実デバイスパラメータに基づき各回路を設計し回路シミュレーションによりを詳細に解析する。(B-1) トランスミッタ (送信器) に関しては、DFF (データフリップフロップ) 回路を介して入力データ信号の一方に周波数変調を実施する回路構成を提案し、周波数変調信号生成回路の制御特性、ならびに最適な発振周波数帯域をデバイスの動作限界を反映させて明確化する。(B-2) レシーバ (受信器) に関しては、構成要素回路であるプリアンプ・ヒステリシス回路出力信号より、データ管理情報を抽出する構成を提案する。雑音耐性が課題である PAM4 伝送方式に対し、さらに変調動作を実施することから、データ管理情報の抽出分解能と PAM4 伝送速度とのトレードオフ関係を明確化する。C. 信号監視用 BER 検出回路のレシーバへの実装と高信頼化システム実現 (2022 年度 Q1-Q4) : 提案システムの高信頼化に向け、検出 BER 情報を変調信号として重畳する。チャンネル情報を変調の中心周波数に、BER 情報を位相偏移量にそれぞれ割り当てることで実現するが、分解能の劣化が予想されるため、許容される重畳情報量の限界を明確化する

4. 研究成果

本研究においては、微細デバイスにより、PAM4 信号生成・送信回路を設計し (図 2), 提案回路の性能を回路シミュレーションにより受信回路性能の検証を実施した (図 3, 4) クロックリカバリ (CDR) 同期用のフィルタと変調信号復調用の 2 系統のフィルタを実装し、復調特性を検証した。

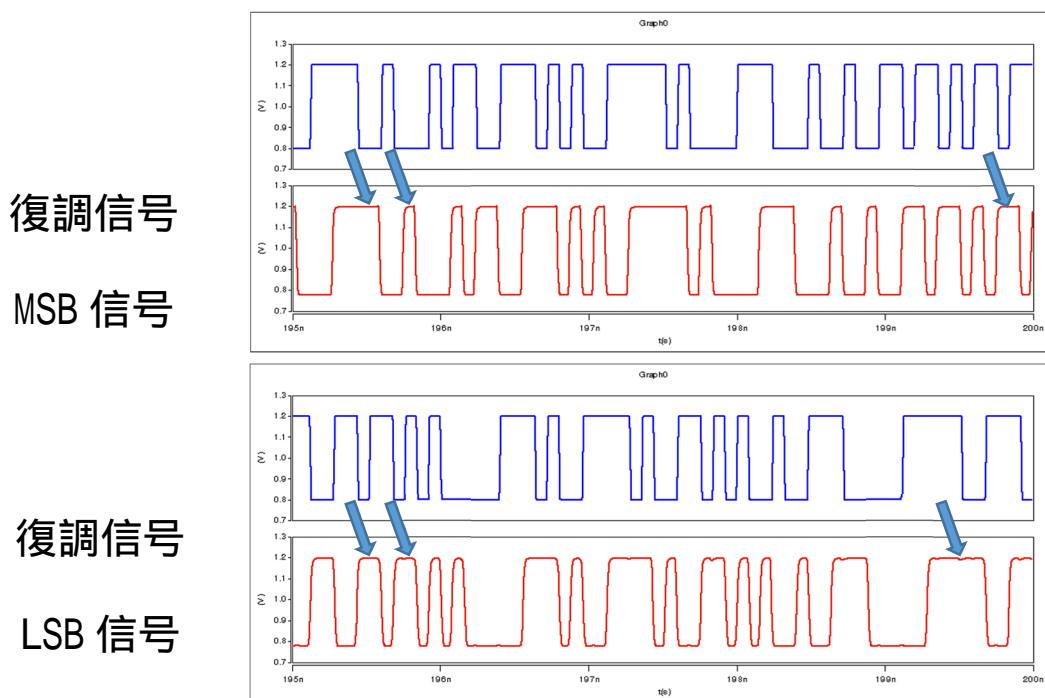
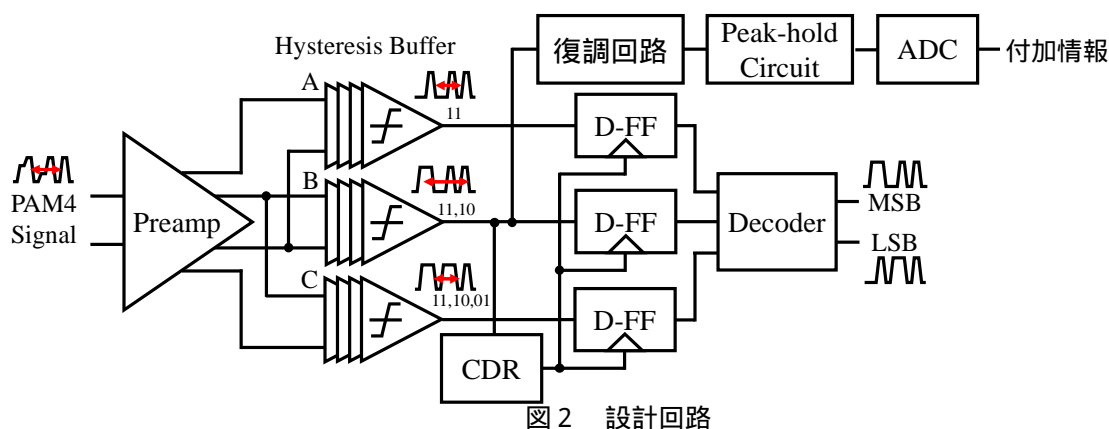


図 3 回路シミュレーション結果 (復調信号波形)

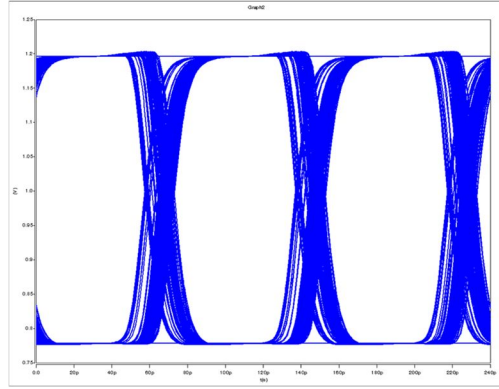
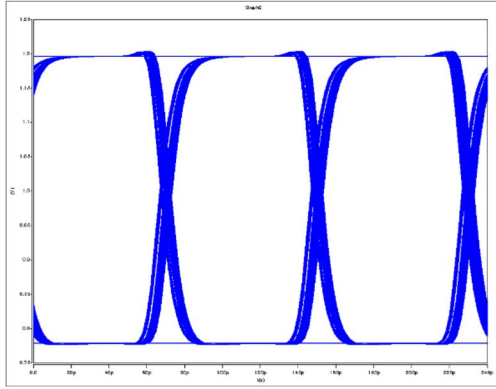


図4 回路シミュレーション結果（復調信号アイパターン）

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1 . 発表者名 Yuuki Teramura, Toshiyuki Inoue, Akira Tsuchiya, Keiji Kishine
2 . 発表標題 Smart Computational Resource Distribution System with Automatic Classification Interface for CPS
3 . 学会等名 19th IEEE International SoC Design Conference (ISOCC 2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Miyabe, T. Inoue, M. Inoue, S. Nakashioya, A. Tsuchiya, and K. Kishine
2 . 発表標題 A preamplifier circuit with offset-voltage control technique for 50-Gb/s CMOS PAM4 receiver
3 . 学会等名 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 中塩屋真也, 宮部雅也, 井上敏之, 土谷亮, 岸根桂路
2 . 発表標題 PAM4伝送システムへの周波数変調技術適応の検討
3 . 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yudai Ichii, Toshiyuki Inoue, Akira Tsuchiya, Keiji Kishine
2 . 発表標題 5-Gb/s PAM4 Transmitter IC Using Compensation Circuit in an 180nm CMOS
3 . 学会等名 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Rei Yamazaki, Toshiyuki Inoue, Akira Tsuchiya, and Keiji Kishine
2. 発表標題 Processing Time Reduction for JPEG Compression Using Pixel Array Conversion
3. 学会等名 The 17th International SoC Conference (ISOCC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮部雅也, 井上敏之, 土谷 亮, 岸根桂路
2. 発表標題 オフセット制御機能付きプリアンプを用いたPAM4レシーバの出力性能向上に向けた検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-1-17
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------