

令和3年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 21801
 研究開発課題名 高度自動運転に向けた大容量車載光ネットワーク基盤技術の研究開発
 副 題 多機能光集積回路を利用した高信頼大容量車載光ネットワークの研究開発

(1) 研究開発の目的

自動運転には、車の頭脳が車外と高速通信し、センサからの多量の情報を受信して判断・制御する技術が要求されている。これに対して、本研究では、50 Gbps 以上の通信を高信頼に行う車載ゾーン分割型光バックボーンネットワークを実現する。光送受信器の信頼性を高めるために、レーザ光源はマスター装置のみに搭載し、ゲートウェイ装置には耐環境性のある変調・受光素子を搭載する。光集積技術を活用して、デバイス・ネットワーク冗長化を行い、車載光ネットワークの信頼性を高める。ネットワークのインタフェースには Ethernet を利用して、従来の CAN 等のレガシーネットワークを収容し、現在の技術との後方互換性を担保する。

(2) 研究開発期間

令和2年度から令和5年度（4年間）

(3) 受託者

学校法人慶應義塾<代表研究者>
 古河電気工業株式会社
 株式会社メガチップス
 国立大学法人東京大学
 国立大学法人大阪大学

(4) 研究開発予算（契約額）

令和2年度から令和5年度までの総額 640 百万円（令和3年度 160 百万円）
 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1：車載光通信装置の開発

- 研究開発項目 1-1 高信頼車載光送受信回路の研究開発（学校法人慶應義塾）
- 研究開発項目 1-2 車載シリコンフォトンクス回路の研究開発（国立大学法人東京大学）
- 研究開発項目 1-3 車載大容量光伝送装置の開発（古河電気工業株式会社）
- 研究開発項目 1-4 車載光ネットワーク用電気信号処理装置の開発（株式会社メガチップス）

研究開発項目 2：車載光ネットワーク通信方式の開発

- 研究開発項目 2-1 高信頼車載光ネットワーク構成法およびネットワーク通信方式の研究開発（国立大学法人大阪大学）
- 研究開発項目 2-2 車載光ネットワーク制御及びデータ処理方式の開発（株式会社メガチップス）
- 研究開発項目 2-3 センサ、CAN/LIN、ECU の接続と実装（古河電気工業株式会社）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	3	3
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	13	10

	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	1	1
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1：車載光通信装置の開発

研究開発項目 1-1 高信頼車載光送受信回路の研究開発

冗長性のあるマスター装置用光送受信回路の設計を完了し、12.5 Gb/s の信号を送受信可能で、予備光源への切り替え機能、ネットワーク切り替え機能を具備するプロトタイプ光回路を試作した。試作シリコン光回路の変調部が 10 Gb/s 動作することを項目 1-3 と連携して確認した。模擬ネットワークを構成し、ゲートウェイ部における、Listen/Talk/Through の基本動作を実証した。

研究開発項目 1-2 車載シリコンフォトニクス回路の研究開発

前年度に設計した検証用シリコンフォトニクス回路の試作を完了した。研究開発項目 1-3 と連携して実装・評価を行い、1 レーン当たり 10 Gb/s の変調、及び、受信動作が得られることを確認した。並行して、結合損失と伝搬損失の軽減に向けて、モード径を広げた厚膜シリコンプラットフォームを利用した光回路の検討を継続した。電気光学効果を用いた新規素子構造について詳細な数値解析と設計を行い、原理検証用素子の試作を開始した。また、厚膜シリコンプラットフォーム上に実装できる偏波合分離器の設計を完了した。

研究開発項目 1-3 車載大容量光伝送装置の開発

研究開発項目 1-1 の原理確認用のマスター装置用シリコンフォトニクス変調器を光モジュール化し、10Gb/s 変調動作を確認した。また、研究開発項目 1-2 のシリコンフォトニクス MD 光回路と TIA を実装した光モジュールを試作し、10Gb/s 変調及び受信動作を確認した。マスター装置光源として CW-DFB-LD を 2 台実装する回路設計と試作を行った。C-plane 用変調光源・受信回路、及び 1.25Gb/s、D-plane 用 10Gb/s 受信回路の設計を行った。高耐熱光ファイバとしてシリコン樹脂被覆仕様の設計を確認し、125°Cでの高温特性評価を行った。光ファイバと電源線を複合したケーブルとコネクタの車載光ハーネスコンセプトを考案し、低圧電源端子と 4 心光コネクタを一括接続するハーネスの設計及び試作を行った。

研究開発項目 1-4 車載光ネットワーク用電気信号処理装置の開発

電気物理層信号処理に求められる機能をブロックレベルに落とし込み装置構成を策定した。また、高速インタフェース部、誤り訂正機能を含む符号化処理部の simulation を行い、FPGA に実装して実測でも機能を検証した。周波数同期機構等も FPGA に実装し、これを用いてマスター装置-ゲートウェイ装置間を電氣的に模擬した簡易検証系を構築し、装置間同期を維持した通信を検証した。

研究開発項目 2：車載光ネットワーク通信方式の開発

研究開発項目 2-1 高信頼車載光ネットワーク構成法およびネットワーク通信方式の研究開発

Ethernet フレームと映像データの送受信を行う際の遅延、ジッタの基本性能を確認した。ゾーン分割型車載光通信ネットワークにおける Listen/Talk 基本方式とスロット割当方式を定め、スロットサイズ 9000 バイト、ガードバンド 100 ns において約 84 Gb/s のトラヒックを 2.1~3.0 μ s のレイテンシで収容可能であることを確認し、50 Gb/s 以上の伝送性能を得られる見通しを得た。さらに、10 年以上の稼働を可能とするネットワーク構成の検討を行った。

研究開発項目 2-2 車載光ネットワーク制御及びデータ処理方式の開発

C-plane で再生したクロック信号にて複数装置間の周波数同期を取る方式を検討し、FPGA に実装する手段を確立した。また、簡易通信ロジック/フレームを用いて基本的な通信フローを構築し、FPGA 間の対向試験でリンクアップを確認した。外部 ECU との通信インタフェースを検討。必要な Ethernet IP を FPGA に実装し、高速トランシーバから符号化処理層までの接続を確認した。

研究開発項目 2-3 センサ、CAN/LIN、ECU の接続と実装

GigE 2K カメラと CAN-Ethernet GW を介したレーダー及び GPU によるサブネットワー

クを民生 Ethernet により構築し、カメラ画像の物体認識により車載センサの模擬システムの検証を行った。また、10GigE 4K カメラの動作確認を行った。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1：車載光通信装置の開発

研究開発項目 1-1 高信頼車載光送受信回路の研究開発

位相調整ヒータの影響を避ける変調器構造を利用する 12.5 Gb/s× 2 ch のマスター用シリコン光回路を構成する。光ネットワーク物理層において、マスター装置とゲートウェイ装置をリング接続し、各チャンネルにおいて、125 Gb/s 以上でエラーフリー通信することを実証する。最終的に、ハーネスを利用してマスター装置とゲートウェイ装置を接続してネットワークを構成し、動作実証する。

研究開発項目 1-2 車載シリコンフォトニクス回路の研究開発

検証用光回路の評価結果を踏まえ、MD 光回路の設計を改良し、再試作を行う。並行して、厚膜シリコンプラットフォームを用いた電気光学効果型変調器の試作実証を行う。さらに、厚膜シリコンプラットフォーム上に実装できる偏波合分離器の試作を進め、動作確認を行う。

研究開発項目 1-3 車載大容量光伝送装置の開発

研究開発項目 1-1 のマスター装置 D-plane 用シリコンフォトニクス変調器・スイッチ集積デバイスを光モジュール化し、10Gb/s 変調動作及び光スイッチの動作を確認する。また、研究開発項目 1-2 のシリコンフォトニクス MD 光回路の 2 次設計品と変調器ドライバ、TIA を実装する光モジュールを設計、試作し動作確認を行う。C-plane 用変調光源・受信回路、及び 1.25Gb/s 受信回路、D-plane 用 10Gb/s 受信回路の基板試作を行う。光ファイバ・電源複合ハーネスの車載環境評価を行い、結果のフィードバックにより改良試作を行う。

研究開発項目 1-4 車載光ネットワーク用電気信号処理装置の開発

電気物理層信号処理部と光電変換部との疎通を検討する。実機検証から新たな課題を抽出できた場合は、電気物理層信号処理での対応を検討し、機能・特性をシミュレーションベースで確認する。ネットワーク制御、データ処理方式を組み込んだ通信検証機を開発する。電気レベルの検証機を光コンポーネントと接続した光ネットワークとしての通信検証を本格化させる。

研究開発項目 2：車載光ネットワーク通信方式の開発

研究開発項目 2-1 高信頼車載光ネットワーク構成法およびネットワーク通信方式の研究開発

各通信方式をステートマシンとして記述し RTL 化を図り、車載光ネットワークの通信方式の基本的動作を検証する。また、2030 年頃に求められるシステム容量を外挿し、光伝送技術の課題とネットワーク技術の課題を整理する。その技術見通しに基づいて、車載光ネットワークの冗長構成法および通信方式を決定する。また、車載 Lidar センサおよび車載カメラの実トラヒック特性を反映した計算機シミュレーションを実施し、車載光ネットワークの有効性を明らかにする。

研究開発項目 2-2 車載光ネットワーク制御及びデータ処理方式の開発

マスター装置、ゲートウェイ装置における送受信のステータス (Listen/Talk/Thru) のスイッチング処理の方式、及びスイッチングの制御情報を C-plane から D-plane に渡す機構を検討する。この機構を組み込んだコアロジックを設計し、シミュレーションで検証する。以上の同期方式、通信制御の方式実証のためのプロトタイプ、及び周辺回路部を開発し、研究開発項目 1-4 と合わせて通信ネットワーク制御の検証系を構築する。

研究開発項目 2-3 センサ、CAN/LIN、ECU の接続と実装

光バックボーンネットワークのゲートウェイ装置に接続するサブネットワークの構成機器として、民生 Ethernet により構築したサブネットワーク上で、GigE 2K カメラ、10GigE 4K カメラ、CAN-Ethernet GW を介したレーダーの情報等により自動運転の簡易的なシミュレーションを行うための検討を行う。GPU などによるデータ処理、その他のセンサの追加を検討し、最終デモンストレーションの設計を行う。