

2024 年度 委託研究

## 課題 237

完全自動運転のための高性能かつ高信頼な  
車載光ネットワーク基盤技術の研究開発

## 研究計画書



## 1. 研究開発課題

『完全自動運転のための高性能かつ高信頼な車載光ネットワーク基盤技術の研究開発』

## 2. 目的

自動車産業は、EV (Electric Vehicle) 化と自動運転技術の導入が進む大変革の時代にある。自動運転を実現するには、カメラやレーダ等による周辺情報の「認知」、その情報を用いた高性能コンピュータ (HPC : High Performance Computer) による「判断」、およびその判断情報を基に自律走行の「制御」、を高速かつ正確に繰り返す必要がある。この「認知」「判断」「制御」のループにおいて、大量の情報を正確かつ低遅延に伝達するのが「車載ネットワーク」であり、完全自動運転の実現において極めて重要な技術である。完全自動運転を実現するためには、車載ネットワークの性能および信頼性を大きく向上させることが不可欠であるが、以下のような要求を全て満たすことが求められる。

- ① 高信頼：長寿命、冗長性、正確性、耐環境（高温特性、EMC 性能等）
- ② 高性能：広帯域 (>100Gbps)、低遅延、省電力、長距離 (> 40m)
- ③ 高機能：ネットワーク拡張性、帯域可変性、適時性（タイミング制御）
- ④ 高価値：軽量化、メンテナンス性、低価格、等

さらに、車載用ネットワーク特有の要求として、以下の要件を考慮する必要がある。

- ⑤ 従来の「ドメイン分割型」から「ゾーン分割型」構成への移行

現在の車載ネットワークでは、制御系やボディ系など、機能に応じて異なるプロトコルで動作する複数のネットワーク (CAN、LIN、MOST 等) が車内に蜘蛛の巣のように張り巡らされた「ドメイン分割型ネットワーク」が用いられている。しかし、電子制御ユニット (ECU) やカメラ・センサの数が増大するにつれて、ネットワークの煩雑さや帯域不足、重量、コストなどが大きな問題となっている。そのため完全自動運転の実現には、車内を複数のゾーンに分割し、各ゾーンに Gateway (GW) を配置した「ゾーン分割型ネットワーク」への移行が不可欠である。従来ネットワークはゾーンごとに分割され、カメラ等と共に最寄りの GW に接続され、データは車載ネットワークを介して、Master 装置内の HPC に転送される。この時、GW ごとに接続されるカメラやセンサ、ECU の数は大きく異なるため、各 GW に割り当てる帯域を自由に変更可能であることが求められる。さらにカメラやセンサの数が増加するにつれて、一部の GW への集中を避けるために、分割数 (GW 数) も 4⇒6⇒8 へと拡張することが要求される。

- ⑥ 非対称通信

完全自動運転の実現には、多数の 4k カメラ (非圧縮で用いるため、約 12Gbps/台) やレーダが不可欠であるため、GW から HPC へのデータ伝送には 100Gbps 超級の大容量ネットワークが必要である。しかし、逆に HPC から GW への制御コマンドの転送には数 Gbps 程度の容量しか必要でないため、エネルギー効率に優れた非対称通信の実現が求められる。

これまで車載ネットワークでは、安価な UTP (Unshielded Twisted Pair) ケーブルを用いた電気のネットワークが用いられてきた。しかし近年では、上記の要求を実現するため、高価な同軸ケーブルや STP (Shielded Twisted Pair) ケーブルを用いた様々な高速車載通信規格が提案されて

いる。2023年には、電気の車載 Ethernet 規格として、IEEE802.3cy (Beyond 10G) が制定されたが、伝送距離は 11m で車載要求に達していない。

一般的に電気と光の境界線は、100Gbps・mと言われており、25Gbps では伝送距離 4m 以上は光が有利と考えられる。これまでは、車載ネットワークでは信頼性の観点から、光ネットワーク（特に石英系ファイバ）の導入に対して強い抵抗が存在し、電気での伝送技術が用いられてきた。しかし、完全自動運転に求められる高速化 (> 25Gbps)、高い EMC 性能、伝送距離 (40m) を電気伝送で実現するには限界が見えつつあり、ようやく光ネットワークへの移行が期待されている。

光伝送の利点は、低損失で伝送距離が伸ばせること、光ファイバが電磁ノイズの影響を受けないためケーブルシールドが不要であり、ハーネスの軽量化、EMC 設計の簡略化が行えることである。2023年に、初めて石英系マルチモード光ファイバ(OM3 GI-50)を用いた IEEE802.3cz (Multi-Gigabit Optical Automotive Ethernet 通称 OMEGA) の標準化が制定された。OMEGA は大量の光トランシーバを用いて Master・GW 間を連結した構成（リング型、ツリー型など）であり、多段の OEO (Optical-to-Electrical-to-Optical) 変換に伴う遅延時間や消費電力の増加、高温下でのレーザー寿命劣化等多くの問題が存在している。さらに、学会レベルでは、アクセス網の PON (Passive Optical Network) 技術や波長ルーティング技術などの光技術を利用した方法等も提案されているが、これら全てが従来の光通信方式の考えに基づき車載用に転用したものである。

本委託研究では、従来の光通信の概念に囚われない新たな発想に基づき、車載（完全自動運転）に適した極めて高い信頼性を有する光ネットワーク基盤技術の実証を目指す。本光ネットワークは言い換えれば、過酷な環境下に対応した高性能かつ高信頼な大容量・低遅延・短距離光ネットワークであり、自動車以外にも、船舶、飛行機、工場、ロボットなど、様々な展開が期待される。

### 3. 内容

本委託研究では、上記の目的を達成することを目指し、高度/完全自動運転に向けた高性能かつ高信頼な車載光ネットワーク構成およびそのネットワーク制御方法を確立するとともに、Master 装置、Gateway 装置を試作し、その光ネットワーク基本動作の実証を行う。

#### 研究開発項目 1 車載光通信装置の研究開発

##### (1) Master 装置の研究開発

- Master 装置と GW 装置間で、50Gbps 以上（将来的には 100Gbps）の伝送容量を実現する。
- Master 装置の光源の故障に対し、予備光源に切り替える等、安全な冗長性を具備する。
- Master 装置の光源に対しては、一定温度以下に制御し、十分な寿命を保証する必要がある。
- 低消費電力化、小型化、低コスト化を十分に考慮した設計・試作を行う。

##### (2) Gateway 装置の研究開発

- 光トランシーバ（特にレーザー）は、高温環境下では寿命が大きく劣化するため、大量の光トランシーバの使用は自動運転の安全性・信頼性を大きく損ねる懸念がある。さらに、車体の周辺に埋め込まれた光トランシーバの交換は非常に困難である。その上、光トランシーバは送るべきデータがない状態でも、常にダミー信号を送る必要があり、消費電力の無駄な増加

をもたらす。そのため、光トランシーバの使用を極力減らすことが望ましい。

- 電気スイッチを多用した場合、多段の OEO 変換により、遅延時間の増大が発生する。さらに、信号の高速化に伴い、高度なスイッチが要求され、消費電力やコストの増大が問題となる。そのため、電気スイッチの使用を極力減らし、極めて低遅延な光ネットワークを実現する。
- 低消費電力化、低遅延化、小型化、低コスト化を十分に考慮した設計・試作を行う。

## 研究開発項目2 車載光ネットワークシステム及び通信方式の研究開発

### (1) 光ネットワーク構成およびその制御方法の研究開発

- 本光ネットワークは、Master 装置と複数（6～8 台程度）の GW 装置から構成されるゾーン分割型ネットワークを基本とする。
- Master 装置と各 GW 装置間、および全ての GW 装置間の通信を可能とし、光ネットワーク全体の通信容量の総和が 50Gbps 以上とする。さらに、 $-40^{\circ}\text{C}$ ～ $105^{\circ}\text{C}$ の過酷な環境下においても、安定な通信を実現する。
- GW から Master へのデータ転送（上り）は大容量通信が要求され（50Gbps 以上）、その逆（下り）は特に大容量通信である必要はなく（数 Gbps）、さらに、GW 毎に要求される通信帯域は大きく異なる。よって、各 GW に割り当てる帯域を可変にすることが望まれる。
- 自動運転においては、何よりも絶対的な信頼性が要求される。そのため、リンク故障が発生しにくい長寿命ネットワークである必要があり、さらにリンク故障時に自動運転に影響を与えないための2重・3重の頑強な冗長性を装備する必要がある。
- 本光ネットワークでは、Ethernet またはそれに親和性のある通信プロトコルを採用する。さらに、GW に接続される既存の CAN プロトコルとの接続性を実現する。

### (2) 車載光ネットワーク基本動作の実証

Master 装置及び6台の GW 装置を接続した車載光ネットワークを構築し、その基本動作を実証する。2台以上の高精細 4k カメラ映像等を用いて、GW・Master 装置間の大容量データ伝送を実証する。

## 4. アウトプット目標

研究開発期間終了時までには達成すべき目標は下記のとおりとする。

### 研究開発項目1 車載光通信装置の研究開発

#### (1) Master 装置の研究開発

- 全ての GW 装置との通信が可能であること
- 光信号の送信・受信の合計が 50Gbps 以上であること
- 委託期間内においては、AI 処理など高度な処理機能は含まなくてもよい

#### (2) Gateway 装置の研究開発

- Master 装置および全ての GW 装置との通信が可能であること
- GW 1 台当たり、最大 25Gbps 以上のデータ送信が可能であること
- 既存の CAN ネットワークとの接続が可能であること

- ・ 高精細 4k カメラ等の大容量デバイスとの接続が可能であること

## 研究開発項目2 車載光ネットワークシステム及び通信方式の研究開発

### (1) 光ネットワーク構成およびその制御方法の研究開発

- ・ 6～8 台の GW を備えたゾーン分割型ネットワーク構成が可能であること
- ・ 100Gbps 以上の伝送容量の可能性を有すること
- ・ -40℃～105℃ の温度環境での安定動作を保証すること
- ・ リンク故障に対応した2重以上の冗長性を担保する構成を示すこと
- ・ 光トランシーバおよび電気スイッチは極力使用しないこと
- ・ 各 GW の帯域割り当てを可変にすること

### (2) 車載光ネットワーク基本動作の実証

- ・ Master 装置及び6台の GW 装置を接続した車載光ネットワークを構築し、その基本動作を実証すること。ただし、一部の GW に機能しない部分があっても、それがその提案方式において本質的ではないものであるならば、それは許容する。
- ・ 最終評価では、2台以上の高精細 4k カメラ映像等を用いて、GW・Master 装置間の大容量データ伝送を実証すること

## 5. アウトカム目標

2027 年 IEEE などの次世代車載向け高速光通信規格への提案

2028 年 AI 搭載 Master/Gateway 装置を試作

2030 年 当該車載光ネットワークを搭載した自動運転実証車を試作

2032 年 量産体制を整え、大容量光ハーネスとしてグローバル商用化を実現

## 6. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数 : 1 件

研究開発期間: 2024 年度 (契約締結日) から 2026 年度

研究開発予算: 2024 年度、総額 120 百万円 (税込)、2025 年度、総額 100 百万円 (税込)、2026 年度、総額 90 百万円 (税込) を上限とする。

(提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。)

研究開発体制: 単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

## 7. 提案に当たっての留意点

- 具体的目標に関しては、定量的に提案書に記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。
- 本委託研究の遂行過程で得られる科学的なデータがあれば、広くオープンにするのが望ましい。公開の見込みがある科学的なデータについて記載し、その研究データの取扱いについてデータマネジメントプラン (DMP) の様式に記載すること。

- 実施体制については、本研究開発の目的に則した実施体制を構築することとし、それぞれの役割を明記すること。
- 本研究開発成果の社会実装および標準化に向けて、アウトカム目標の項目に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、体制、方策等を記載すること。その際、持続的に自走するための計画等についても記載すること。
- 本委託研究で開発した光ネットワークの動作実証を、実際の自動車に搭載して検証することが望ましい。
- 本委託研究で開発したデバイス、装置、およびネットワークシステムの優位性を示す性能評価（寿命試験、EMC 試験等）を実施することが望ましい。

## 8. 運営管理

- 国立研究開発法人情報通信研究機構（以下、「機構」という。）と受託者の連携を図るため、代表提案者は、プロジェクトオフィサーの指示に基づき定期的に連絡調整会議を開催すること。
- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的を開催すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、プロジェクトオフィサーが研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

## 9. 評価

- 機構は、2025 年度に中間評価を実施する。本評価結果により、当該年度で本委託研究を終了する場合がある。
- 機構は、2026 年度に終了評価を実施する。また、機構は、本委託研究終了後に成果展開等状況調査を行い、追跡評価を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

## 10. 成果の社会実装等に向けた取組

- 実用化、事業化、社会実装に向けた出口戦略を明確とすること（委託研究後の事業化等の内容を明確にする）。
- 上記の出口戦略を実現するため、本委託研究で得られた成果のオープン化（例えば、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内特別セッション主催、展示、標準化、オープンソース化等）を行う等、成果の社会実装等に向けて必要な取組を行うこと。

## 11. プロジェクトオフィサー

ネットワーク研究所 フォトニック ICT 研究センター 光アクセス研究室

高橋 亮

### 参考

- Rubén Pérez-Aranda and Steve Swanson, IEEE802.3, perezaranda\_OMEGA\_02\_0120\_25G\_Corning\_fiber.pdf
- Rubén Pérez-Aranda, Mabud Choudhury and John Earnhardt, IEEE802.3, perezaranda\_OMEGA\_03\_0120\_25G\_OFS\_fiber.pdf
- Rubén Pérez-Aranda, IEEE802.3, “BASE-AU 980nm/OM3 baseline Reference receiver and transmitter and distortion figure of merit”, IEEE802.3, perezaranda\_3cz\_01c\_080222\_TDFOM.pdf
- Rubén Pérez -Aranda, “BASE-AU 980nm/OM3 baseline Transmitter and receiver characteristics” , IEEE802.3, perezaranda\_3cz\_02b\_080222\_TXRX\_characteristics.pdf
- Roger King, “VCSEL design for automotive datacom Experimental results for 980 nm versus 850 nm”, IEEE802.3, king\_3cz\_01a\_0521.pdf