

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 06801

研究開発課題名 Beyond 5G 網におけるホログラフィ通信のための高効率圧縮伝送技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、有限希少な電波の有効利用の実現と、Beyond 5G を特徴づける革新的なコミュニケーション手段の提供を目的として、ホログラフィを含むマルチモーダル（五感の中核を占める視覚・聴覚・触覚の 3 モーダル）情報を高効率で伝送するための圧縮伝送技術確立する。これにより、End-to-End のユーザ体感品質が各段に向上し、サイバー空間や地方への生活圏・行動範囲の拡大という形で国民生活をより豊かなものとする。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 7 年度（4 年間）

(3) 受託者

株式会社 KDDI 総合研究所 <代表研究者>
国立大学法人北海道大学
国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学
学校法人関西大学
公立大学法人公立諏訪東京理科大学
株式会社クレセント

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 4 年度から令和 6 年度までの総額 1,403 百万円（令和 6 年度 500 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 ホログラフィの高効率圧縮技術の研究開発
研究開発項目 1-a) ホログラフィデータの高速生成・再生技術の研究開発
（北海道大学）
研究開発項目 1-b) ホログラフィ向け圧縮基盤技術の研究開発
（東海国立大学機構）
研究開発項目 1-c) ホログラフィに適したビデオベース圧縮技術の研究開発
（KDDI 総合研究所）
研究開発項目 2 高度マルチモーダル情報の伝送技術の研究開発
研究開発項目 2-a) ホログラフィ映像品質の評価技術およびそれに基づく伝送パラメータ
整合技術の研究開発
（関西大学）
研究開発項目 2-b) ホログラフィ伝送技術の研究開発
（公立諏訪東京理科大学）
研究開発項目 2-c) マルチモーダル情報伝送の実証に関する研究開発
（KDDI 総合研究所）
研究開発項目 2-d) 広域 3D データ取得技術の研究開発
（クレセント）

(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	43	16
	外国出願	13	12
外部発表等	研究論文	17	14
	その他研究発表	147	83
	標準化提案・採択	71	42
	プレスリリース・報道	11	6
	展示会	18	12
	受賞・表彰	12	6

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目1：ホログラフィの高効率圧縮技術の研究開発

- 研究開発項目1全体の年度目標A「既存圧縮方式と比較して圧縮性能5倍のホログラフィ圧縮の達成」について、HMDにおいてホログラフィデータを再生する場合を想定し、課題1-aにて中心窩とそれ以外の周辺領域の構造をもつデータ生成を行い、それら周辺領域を課題1-a、中心窩の位相を1-b、振幅を1-cの技術でそれぞれ圧縮することにより、目標を達成した。
- 研究開発項目1全体の年度目標B「ホログラフィデータの6DoFによる立体映像再生を実現」について、研究開発項目1-aにて頭部の動きに追従した6DoFの立体映像再生をHMD上での実現し、目標を達成した。

以下、サブ項目別の目標、実施内容、成果について述べる。

1-a) ホログラフィデータの高速生成・再生技術の研究開発【目標達成】

- 「リアリスティックなレンダリング（隠面消去やシェーディング、鏡面への周囲の映り込みの表現）の実現」という目標に対して、2023年度に開発した連続的な運動視差・鏡面反射を表現できるリアリスティックなホログラフィデータ計算アルゴリズムを改良し、自由曲面を持つ鏡面への周囲の映り込みを実現した。また、当該アルゴリズムの高速化により、1フレーム1秒以下の処理速度での高度な動画コンテンツ制作を実現し、目標を達成した。
- 「GPUクラスタによる高速計算システム実現と動画コンテンツの制作」という目標に対して、計算機18台からなるホログラフィデータ高速計算システム（GPUクラスタ）を構築し、従来比20倍の高速化を実現しリアルタイム計算（30fps）を達成した。また、高速性を活かしたデモを意図するゲームプログラムと動画コンテンツを制作し、目標を達成した。
- 「デスクトップ型ホログラフィ再生装置（広視野・広視域）の実証装置の開発」という目標に対して、視野・視域の拡大のための理論と計算アルゴリズムの検討、光学系・電子回路の製作、これに合わせたプログラムを制作し、広視野・広視域を持つデスクトップ型ホログラフィ再生装置を開発し、目標を達成した。
- 「携帯型ホログラフィ再生システムの実現」という目標に対して、携帯可能なホログラフィデータ計算機を開発した。また、広い視野・カラー表示機能をもつ表示部や頭部動作のトラッキング機能を持つ装着部の開発を完了し、頭部装着型の6DoF対応ホログラフィックHMDを実現し、目標を達成した。

1-b) ホログラフィ向け圧縮基盤技術の研究開発【目標達成+目標外の進捗】

- ・ 「ホログラフィーライトフィールド変換による情報圧縮の確立」という目標に対して、ホログラムの物体光分布とライトフィールドの相互変換機能を開発し、ライトフィールドデータの圧縮手法をホログラムデータに対して適用することで、既存の画像符号化方式（JPEG）を単純適用した場合と比べて2倍の性能をもつ圧縮手法を確立。目標を達成した。
- ・ 「オートエンコーダ等を用いたニューラルネットワークベースのホログラフィ圧縮の確立」という目標に対して、ニューラルネットワークにより潜在表現に変換された物体光のチャネル数や量子化方法の検討を進め、JPEG を単純適用した場合と比べて2倍の性能をもつ圧縮手法を確立し、目標を達成した。
- ・ 目標外の成果として、phase unwrapping による位相情報の効率的圧縮として独自のアルゴリズムを適用し、位相を滑らかな2次元信号に変換して高効率に圧縮する手法を考案した。
- ・ 目標外の成果として、物体光計算における初期位相の与え方が符号化効率に影響することを解明し、その知見に基づいた独自の高効率圧縮手法を考案した。
- ・ 目標外の成果として、国際標準化会合である MPEG において、物体光圧縮に関する市場ニーズに対する関心募集応答する提案寄書を入力した。

1-c) ホログラフィに適したビデオベース圧縮技術の研究開発【目標達成+目標外の進捗】

- ・ 「ホログラフィデータに対して最新のビデオ圧縮技術 VVC（Versatile Video Coding）を単純適用した場合に比べて、1.3 倍の圧縮性能を実現」という目標に対して、バックボーンとなるビデオベース圧縮技術におけるインター予測方式を洗練化、及び信号の周期性に着目した信号変換による時空間の画素相関の向上により、目標を上回る1.4倍の圧縮性能を達成した。
- ・ 「難関国際会議での計2件の採録」という目標に対しては、信号・画像処理やコンピュータビジョン分野における世界的な難関国際会議に、目標を上回る計7件の論文が採録されたことに加えて、学術誌に3件の研究論文が採録され、目標を大幅に上回る成果を達成した。具体的な国際会議の内訳は、ICIP2024（2024 IEEE International Conference on Image Processing）に2件、VCIP2024（2024 IEEE International Conference on Visual Communication and Image Processing）2024に1件、ICASSP2025に3件（IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing）、WACV2025（2025 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision）に1件である。また、研究論文の内訳は学術雑誌IEEE Access、IEICE Transactions on Information and Systems、映像情報メディア学会誌に1件ずつである。
- ・ 「国際標準化会合での計3件の寄書入力、及びそれに紐づく3件の特許出願を実施」という目標に関して、国際標準化会合（ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 2 MPEG 及びITU-T Study Group 9）での計42件の寄書入力、及びそれに紐づく計26件の特許出願を実施し、目標を上回る成果を達成した。
- ・ 目標外の成果として、MPEG では標準化の一環として受託者が主となり、物体光圧縮に関する市場ニーズに対する関心募集を MPEG 内外に呼びかけ、ホログラフィデータ圧縮の市場ニーズに関する最終レポートを出力した。

研究開発項目2：高度マルチモーダル情報の伝送技術の研究開発

- ・ 研究開発項目2全体の年度目標C「ホログラフィ映像品質の総合評価技術の確立」につ

いて、研究開発項目 2-a にて、仮想レンズによる結像再生シミュレーションで、再生像の映像品質を複数視点で評価する方式を実現し、目標を達成した。

- 研究開発項目 2 全体の年度目標 D「実環境下における研究開発項目 1 の高効率圧縮技術に関わる評価の実施」について、研究開発項目 2-b にて、実証システムの開発及び当該システムを用いた実環境下での研究開発項目 1 の高効率圧縮技術の評価を実施し、目標を達成した。

以下、サブ項目別の目標、実施内容、成果について述べる。

2-a) ホログラフィ映像品質の評価技術およびそれに基づく伝送パラメータ整合技術の研究開発【目標達成】

- 「物体光波(ウェーブフィールド)データの受信側におけるリアルタイム波長整合の実装の試行」という目標に対して、帯域制限角スペクトル伝搬法を GPU に実装することで CPU 実装と比較して 10 倍程度的高速化を行い、2K~4K 程度の解像度でリアルタイムの波長整合処理を実現。目標を達成した。
- 「物体光波(ウェーブフィールド)のサンプリング間隔およびサンプル数の整合手法の開発」という目標に対して、ウェーブフィールドのサンプリング間隔変更による像再生への影響を波動光学的に検討し、再サンプリングおよび光波伝搬デジタル処理で像再生問題を解決する手法を提案。目標を達成した。
- 「積層 CGVH (Computer-generated Volume Hologram) 方式カラーホログラムによるホログラフィ映像評価システムの改良とカラー映像表現力の強化」という目標に対して、タイリング転写方式積層 CGVH 製作システムを落射光学系に改良。視域角 30 度以上で 18cm 角のフルカラー積層 CGVH によるカラー映像表現力の強化を実現し、目標を達成した。
- 「仮想レンズによる結像再生シミュレーションの高速化」という目標に対して、仮想レンズによる結像再生シミュレーションでボトルネックとなるシフテッドフレネル伝搬計算を GPU に並列実装し、研究開発項目 1-a) のホログラフィデータを用いて準リアルタイムでの再生を実現し、目標を達成した。

2-b) ホログラフィ伝送技術の研究開発【目標達成】

- 「高効率圧縮伝送技術の実装を行い、この技術を用いたホログラフィの伝送を実現(目標：非圧縮/既存の動画像圧縮技術によるホログラフィ伝送と比較し、所要スループットを 70%削減)」という目標に対して、研究開発項目 1 の高効率圧縮技術を実装し、シミュレーション/実環境においてホログラフィ伝送を実施し、有線/無線系ネットワークのリンク速度と伝送するホログラムのフレームレートの観点からネットワーク特性(スループット、遅延時間、パケットロスなど)と再生像の品質を評価し、目標を達成した。
- 「実証事前評価と比較し、システム全体のボトルネックの解析を完了(目標：Beyond 5G 時代に想定される 1.5Gbps 程度の実環境下にて、低フレームレートでのホログラフィの圧縮伝送を実現。2025 年度に性能改善を実施予定)」という目標に対して、1.5Gbps 程度の実環境下を目標として、LAN 内の無線環境下でのホログラフィの高効率圧縮伝送を対象とした計算処理部・伝送処理部・表示処理部の各処理部の各処理部の処理時間の解析することで、2025 年度のさらなる性能改善に向けたデータ取得及びボトルネックの解析を完了し、目標を達成した。

2-c) マルチモーダル情報伝送の実証に関する研究開発【目標達成】

- 「マルチモーダル情報の統合提示による定性評価と知見獲得の完了」という目標に対して、ホログラフィによる真の立体映像に合致したマルチモーダル情報の統合提示技術の確立と、その実証によるクロスモーダル効果に代表される多感覚統合に関する知見獲得をそれぞれ実施し、目標を達成した。
- 「触覚情報提示システムとマルチモーダル情報提示システムの開発完了」という目標に対して、人や物体の動作や移動に起因する振動、ならびに物体そのものの表面形状・材質・重さなどを知覚させる触覚情報の提示技術の確立と、マルチモーダル情報提示システムの開発をそれぞれ実施し、目標を達成した。
- 「難関国際会議での計2件の採録ならびに学術雑誌での計1件の採録」という目標に対して、マルチモーダル処理ならびにヒューマンコンピュータインタラクションに関する世界トップクラスの難関国際会議 ACM CHI に1件、IEEE ICASSP に2件、合わせて目標を上回る計3件の採録ならびに学術雑誌 IEEE Access、Acoustical Science and Technology に各1件、合わせて目標を上回る計2件の採録を達成した。

2-d) 広域3Dデータ取得技術の研究開発【目標達成】

- 「マルチソースデータの同期取得」という目標に対して、マルチソースデータの要素であるマルチマイクロフォンを利用した音響データ収録システムを設置し、オフラインで取得された3Dデータに対する音響データの時間同期ずれ99ms以下を実現し、目標を達成した。
- 「3Dデータのリプレイ配信システムの実現と3Dモデル生成の高速化」という目標に対して、収録済み3Dデータを再生表示装置へ逐次配信するリプレイ配信機能のシステムを開発し、また2名の被写体を同時に撮影した場合に15fpsで3Dモデルを高速生成するシステムを開発し、目標を達成した。

(8) 今後の研究開発計画

最終目標①：従来技術に対して約8倍の圧縮性能を持つホログラフィ圧縮技術の確立

最終目標②：高度マルチモーダル情報のEnd-to-Endリアルタイム伝送の実現（世界初）

上記最終目標の達成に向けて次の通り計画している。

最終目標①の圧縮性能8倍については、ホログラフィデータの信号特性を踏まえて、研究開発項目1-a/1-b/1-cが各成分の圧縮効率の向上に継続的に取り組むことで、2025年度に現状の5倍から8倍への性能向上を果たし、達成を目指す計画である。最終目標②の高度マルチモーダル情報圧縮伝送については、二段階での達成を計画している。第一段階として、研究開発項目2-bにてホログラフィ伝送技術を確立する。ここで、ホログラフィの生成には研究開発項目1-aの高速ホログラフィデータ計算技術を、伝送品質の評価には研究開発項目2-aのホログラフィ品質評価技術を活用し、2025年度にリアルタイムのホログラフィ圧縮伝送を実現する。その成果をもとに、第二段階として、研究開発項目2-cにて2025年度に世界初となる高度マルチモーダル情報の伝送を実現する計画である。ここでは、研究開発項目2-dの研究成果を活用して、3D/音響データの取得からユーザへの提示までのEnd-to-Endの伝送を行うことを計画している。

研究開発項目1-aの高速ホログラフィデータ計算技術の開発や、研究開発項目2-bのホログラフィ伝送の研究開発で用いるホログラフィデータの元データとなる3Dデータについて、2024年度は研究開発項目2-dにて生成したオフラインコンテンツを用いている。2025年度はコンテンツのリアルタイム生成及びインターネット経由でリアルタイム配信により、End-to-Endの伝送を実現する計画である。なお、2-cの実証は、NICTのBeyond 5G 共用研究開発テストベッド（モバイルアプリケーション実証環境）を活用し、Beyond 5G ネットワークを想定した無線伝送で実施する想定である。