

令和 5 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を確立する。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  
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 5 年度までの総額 903 百万円（令和 5 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	27	21
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	3	3
	その他研究発表	63	62
	標準化提案・採択	29	29
	プレスリリース・報道	5	5
	展示会	6	6
	受賞・表彰	6	5

(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(1)「既存圧縮方式と比較して圧縮性能1.5倍の3Dモデル圧縮の達成」について、研究開発項目1-cにて、バックボーンとなるビデオベース圧縮技術のフィルタ方式洗練化や3Dモデルのポスト処理の改良による性能改善を積み上げることで目標性能を達成した。
- 研究開発項目1全体の年度目標(2)「既存圧縮方式と比較して圧縮性能2倍のホログラフィ圧縮の達成」について、研究開発項目1-bで得られたホログラフィライトフィールド変換の知見に基づくホログラフィデータの変換と研究開発項目1-cにて得られたホログラフィデータの非局所的な類似性に着目した圧縮技術を連携することで目標性能を達成した。

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+目標外の進捗】

- 「ホログラフィデータの計算プログラムの開発」という目標に対して、点群データより連続的な運動視差、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を生成する計算アルゴリズムの開発とコード化を完了し、目標を達成した。
- 「GPUクラスタによる高速計算システムの開発」という目標に対して、上記手法を効率よく計算するための専用の高速計算システム(GPUクラスタ)上に実装して、実世界から得られた点群データを対象にリアリスティックなホログラフィデータ生成を実証し、目標を達成した。
- 「原理実証用デスクトップ型ホログラフィ再生装置の開発」という目標に対して、当該装置の光学及び電子回路の設計および開発を行い、目標を達成した。
- 「表示画質測定結果のデスクトップ型ホログラフィ再生装置へのフィードバック」という目標に対して、上記装置の主観評価および客観評価の指標の決定と評価装置の開発、評価およびフィードバックを行い、目標を達成した。
- 「ホログラフィデータ生成、再生のシステム開発および動作確認」という目標に対して、既存の再生装置を用いたホログラフィデータの生成・再生装置の開発を行い、目標を達成した。
- 「実世界から得られた点群データより、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生成の実現」という目標に対して、当該特性を備えたホログラフィデータ生成に成功し、目標を達成した。
- 「視覚特性を用いて、既存圧縮方式と比較して圧縮性能2倍、処理速度3倍のホログラフィ圧縮方式の開発」という目標に対して、円筒型物体光を用いたデータ伝送方式

および高速なホログラフィデータの計算方式を確立し、目標性能を達成した。

- 目標外の成果として、令和6年度および令和7年度の実施計画を一部前倒し、ホログラフィ HMD 装置の設計およびプロトタイプシステムの開発、および FPGA 専用装置の回路設計とシミュレーションを実施した。

#### 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】

- 「物体光の統計的性質の分析に基づいてホログラフィの情報源符号化に当たるエントロピーの削減を実現できるアルゴリズムを開発する」という目標に対して、CGH パターンを PhaseMax 法による求解法を用いて凸最適化に必要な目的関数と制約条件の組に置き換える手法を開発。位相ホログラム生成法として広く知られている Gerchberg-Saxton (GS) 法、Wirtinger flow (WF) 法と比較した結果、直接的な PSNR では両手法に劣るものの、主観的画質が同等かそれ以上となり、また位相の分布も広く一様となることを確認した。この性質を利用してエントロピーの削減ができる見通しを得た。
- 「物体光とライトフィールド情報との関係を明らかにし、相互変換の手法を確立し、既存の画像符号化方式 (JPEG) を単純適用した場合と比較して圧縮性能 1.5 倍のホログラフィ圧縮方式を開発する」という目標に対して、シャックハルトマン波面センサ (SHW) で取得した物体のライトフィールド情報から CGH パターンを生成する手法を開発。当該ライトフィールド情報の圧縮により、CGH パターンに対する JPEG の直接適用と比較して 1.5 倍の圧縮性能が得られることを確認し、目標を達成した。
- 目標外の成果として、令和6年度の実施計画を一部前倒し、深層学習 (DNN) に基づくホログラム圧縮法の検討を実施。Variational Auto Encoder (VAE) を CGH パターンに試行的に適用して実験を行い、DNN の学習時と再生時のパラメータの相違が再生像の品質に与える影響に関する知見を獲得した。

#### 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】

- 「既存圧縮方式 (V-PCC 参照ソフトウェア) と比較して圧縮性能 1.5 倍の 3D モデル圧縮の実現」という目標に対して、V-PCC のバックボーンとなるビデオベース圧縮技術において、動画像内の幾何的構造 (物体境界) を考慮した適応的な動きベクトル符号化やテクスチャを考慮した適応的なイントラ予測を導入し、また 3D モデルのノイズ除去といった前処理を組み合わせることで圧縮性能を高めることで、目標を達成した。
- 「世界的な映像信号処理・マルチメディア処理の難関国際会議 (IEEE ICIP, IEEE ICASSP, ACM SIGGRAPH など) へ投稿、計 1 件の採択」という目標に対して、BMVC、IEEE VCIP、ACM SIGGRAPH Asia、AAAI にそれぞれ採択され、目標を上回る計 4 件の採択を達成した。
- 「本検討に関する実験結果を 3 件の寄書にまとめ、MPEG 等の標準化会合に標準化提案」という目標に対して、17 件の寄書を国際標準化会合 (ISO/IEC JTC1/SC29/WG2 MPEG および ITU-T SG9) に入力し、目標を上積み達成した。
- 目標外の成果として、ケーブルテレビ網におけるホログラフィ伝送勧告の新規作業項目および勧告文案を提案し、勧告化の作業開始および勧告文案のドラフトについて合意した。
- 目標外の成果として、令和7年度目標を一部前倒しし、ホログラフィデータの圧縮技術として既存の画像圧縮技術に比べて 1.5 倍の圧縮性能の改善を達成した。

## 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(3)「実環境下における非圧縮/既存の動画像圧縮技術を用いたホログラフィ伝送の実施」について、研究開発項目2-bにて、実環境下での実験を実施し、目標を達成した。
- 研究開発項目2全体の年度目標(4)「力触覚提示装置のプロトタイプシステムの開発完了」について、研究開発項目2-cにて、手首の誘導を実現する道具内蔵型の力触覚提示装置のプロトタイプシステムを開発し、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】

- 「カラーホログラフィ再生時の波長整合の問題に対する波動光学に基づく補正理論の構築および物体光波や干渉縞画像のサンプル数とサンプリング間隔の整合への着手」という目標に対して、波長不整合が生じた場合の光波の挙動の角スペクトル伝搬理論に基づく解析、補正方法の考案、数値実験による効果確認を実施し、補正を行うことにより波長不整合による色ずれを著しく改善できることを実証した。
- 「積層CGVH(計算機合成体積ホログラム)方式による高解像度カラーホログラムを作製するホログラフィ映像品質評価システムの開発」という目標に対して、タイリング転写方式を導入した積層CGVH製作システムを構築した上で、10cm角高品質フルカラーCGVHが製作できることを確認し、目標を達成した。
- 「仮想レンズを用いた結像による準リアルタイム数値シミュレーションシステムの構築を目指す」という目標に対して、結像再生シミュレーションによってシフトドフレネル伝搬計算が全計算時間の75%を占めるボトルネックであることを特定した。その上で、準リアルタイム数値シミュレーションシステム構築へ向けた設計の見直しなどの検討を行い本年度の目標を達成した。

### 2-b) ホログラフィ伝送技術の研究開発【目標達成】

- 「100Gbpsまでの帯域でのホログラフィ伝送をシミュレーションし、ホログラムのピクセル数16Kx8Kで既存の動画像圧縮技術のホログラフィ伝送を評価」という目標に対して、100GBASE-SR規格(リンク速度100Gbps)でのシミュレーション/実環境下におけるホログラフィ伝送と品質評価を実施し、目標を達成した。
- 「100Gbpsまでの帯域でのホログラフィ伝送を想定し、計算処理部、伝送処理部、表示処理部のオーバーヘッドを低減したホログラフィ伝送を実現」という目標に対して、本年度に調達したワークステーションを使用して各処理部の最適化を実施(50%の高速化を確認)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】

- 「人や物体各々の3Dモデルを入力とし、計算機により動的に聴覚情報を生成する聴覚情報提示システムを開発し、定量評価および定性評価を通じて、知覚限界を見定める。(世界最大規模(数千m以上)かつ従来は考慮されてこなかった音源そのものや物体の反射を含めた放射特性を考慮することで、レンダリング精度の向上と体験品質を向上)」という目標に対して、3次元での放射特性を考慮した聴覚情報提示システムの試作と定量/定性評価(定量評価では誤差が知覚限界レベルの1dB台まで低減することを確認)、世界最大規模(1.5km超)での聴覚情報のレンダリングをそれぞれ実施し、目標を達成した。

- 「物体の手触りや質感の触覚提示ならびに反力や摩擦力の力覚提示を実現する力触覚提示装置のプロトタイプシステムを開発完了する。」という目標に対して、2022 年度に試作した、人の手首への回転トルクの提示による力触覚提示装置を洗練化し、手首の誘導を実現する道具内蔵型の力触覚提示装置のプロトタイプシステムの開発を完了することで、目標を達成した。
- 「世界的なマルチモーダル・マルチメディア処理の難関国際会議（ACM ICMI, ACM Multimedia など）に投稿、2 件の採択を目指す。」という目標に対して、ACM ICMI、IEEE ICASSP、AES Convention、ACM Multimedia Asia、ACM CHI にそれぞれ採択され、目標を上回る計 5 件の採択を達成した。

#### 2-d) 広域 3D データ取得技術の研究開発【目標達成】

- 「直径 4.5m×高さ 3m の準広域の収録システムを実現し、キャリブレーション誤差 10mm 以下および 2 人の被写体の同時収録の達成」という目標に対して、直径 4.5m×高さ 3m のエリアをカバー可能な 3D データの収録システムの構築、当該収録システムを利用した 2 人の被写体の同時収録、カメラレイアウトとピント位置を最適化した状態でのキャリブレーション誤差の評価（3mm 以下を確認）をそれぞれ実施し、目標を達成した。  
上記に加えて、撮影エリアの地上面でのエリア端およびエリア中央や、エリア中心の上端の、それぞれの位置において、10 秒間ずつ 2 人の人物の撮影を行い、生成される 3D モデルの形状のゆがみやノイズ、テクスチャのボケやノイズを評価し、それぞれ知覚困難なレベルであることを確認した。
- 「3D データの収録と併用可能なモーションキャプチャの収録システムを実現し、3D データに対してのモーションキャプチャデータの時間同期ずれ 99ms 以下の達成」という目標に対して、3D データの収録システムと併用可能なモーションキャプチャの収録システムの構築、3D データおよびモーションキャプチャの収録システムを利用した両システム間の同期ずれの評価（67ms 以下を確認）をそれぞれ実施し、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、研究開発項目 1-a、1-b、1-c にて、ホログラフィの圧縮技術の向上に継続的に取り組み、各年度において、着実に圧縮効率の向上を実現し、最終年度にて各研究開発項目の成果の積算値として達成を目指す計画である。令和 6 年度以降は、研究開発項目 2-a にて確立するホログラフィ品質評価技術を活用することで、圧縮方式の更なる洗練化を実現することを想定している。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それぞれ活用し、令和 7 年度には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 にて令和 7 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 データや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 データは、研究開発項目 2-d にて生成を行う。まずはオフラインコンテンツとして提供し、最終的にはインターネット

経由でリアルタイム配信し、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ことを想定している。