

Beyond 5G におけるホログラフィ伝送を目指した
CGH のストリーミング伝送・表示システムの設計
Design of CGH Streaming and Displaying System
for Holographic Transmission in Beyond 5G Network

山口 一弘¹⁾
Kazuhiro Yamaguchi

1 はじめに

3D 表示技術の 1 つであるホログラフィ [1] では、人が眼で被写体を観察する時と同様に自然な立体視が可能であり、将来、ホログラフィをベースとした 3DTV の実現が期待されている。特に、仮想物体のホログラフィ映像を生成できるコンピュータホログラフィ、ホログラフィによる動画像を表示できる電子ホログラフィにより、実用化を目指した研究開発が盛んに進んでいる。

本研究では、ホログラフィによる映像をネットワークを介して遠隔地へと届けるホログラフィ伝送の実現を目指し、Beyond 5G におけるネットワーク網を想定したシステム設計を行なった。本システムでは、コンピュータホログラフィにより生成した CGH (計算機合成ホログラム) をネットワークによりストリーミング伝送し、遠隔地の電子ホログラフィ装置によりストリーミング表示することで、3D 映像のネットワーク伝送を行う。

2 ホログラフィ

ホログラフィは、光波の干渉と回折を利用した 3D 表示技術である。ホログラフィの記録過程では、レーザー光などを記録したい物体に照射し、物体から記録媒体へと伝搬する光 (物体光) と、記録媒体へと直接照射した光 (参照光) との干渉縞を記録する。この干渉縞をホログラムと呼ぶ。再生時には、記録時に使用したレーザー光をホログラムへと照射する。ホログラム上にて回折した光波は記録時の物体光と同じになるため、観察者はそこに物体があるかのように見える。ホログラムには、光波の振幅・位相情報を保持できるため、これにより観察者の視点位置に応じた 3D 像が視認できる。

このホログラフィの記録原理に基づき、光波の物理現象をコンピュータ内の数値シミュレーションを行い、ホログラムデータを生成する技術をコンピュータホログラフィ [2] と呼ぶ。コンピュータホログラフィでは、膨大な計算量が要求されるものの、コンピュータグラフィックスのように様々な 3D シーンを再現でき、仮想物体の 3D 像を表示できるという利点がある。コンピュータホログラフィにより生成されたホログラムを計算機合成ホログラム (CGH: Computer-Generated Hologram) とよぶ。また、生成した CGH を空間光変調器 (SLM: Spatial Light Modulator) などに表示し、レーザー光や LED などを用いて光学再生し仮想物体を表示する方式を電子ホログラフィ (Electro-holography) とよぶ [3]。電子ホログラフィでは、電子ディスプレイ上にホログラムを表示することになるため、画面切り替えなどにより 3D の動画像を表示できるという特徴がある。

このように、電子データとしてホログラムを生成・表示することが可能であるため、現在の 2DTV と同様な視

聴形態で立体映像を表示することが今後期待される。とくに、昨今のネットワーク技術の高速な普及により、任意のホログラムを遠隔地へと配信し、立体映像を視聴するホログラフィ伝送への期待が高まっている [5] が、非常に膨大な情報量を持つホログラムデータの圧縮技術・伝送技術について検討が必要となる。

3 ホログラフィ伝送システム

ホログラフィによる映像をネットワークを介して遠隔地へと届けるホログラフィ伝送の実現を目指し、これまでホログラフィ伝送システムを開発してきた [5]。本システムの処理の流れを図 1 に示す。以下、これらの処理について説明する。

まず、コンピュータホログラフィにより CGH を作成する。CGH の生成には、コンピュータ内で仮想物体を定義し、仮想物体からの物体光を計算する必要がある。物体光は複素振幅分布として定義され、角スペクトル法を用いて計算を行った [4]。

伝送対象のデータは、下記の 2 通りを対象としている [6, 7]。

- 物体光伝送：参照光との干渉計算をする前の物体光データ (複素振幅) を伝送する。干渉計算は受信側にて行う。
- ホログラム伝送：CGH データを伝送する。

物体光伝送方式では、CGH データとする前の物体光までの計算を行い、これを伝送する。計算した物体光は光波の複素振幅情報を保持し、これをネットワーク伝送などにより遠隔地の表示デバイスへと送る。表示デバイス側では、受信した物体光と参照光との干渉計算を行うことで CGH を生成する。これに対して、ホログラム伝送方式では CGH データを直接伝送する。物体光伝送方式では、CGH データを伝送するホログラム伝送方式と比較して、表示デバイス側で干渉計算をし、CGH データへとする必要があるので、表示デバイス側での処理負荷がかかる。しかしながら、光学再生に使用する光源の設置位置の自由度が向上するという利点がある。

次に、計算機にして生成した物体光または CGH データをネットワークを介して遠隔地へと伝送する。それぞれのデータは、動画のフレームごとに生成し、フレームごとの物体光/CGH データを時系列順に結合し動画を作成する。作成した動画が無圧縮/動画像圧縮を施した後、受信機へと伝送を行う。ここで、ネットワーク接続は有線系では 10GbE・100GbE、無線系では Wi-Fi 6E/7・ローカル 5G・パブリック 4G/5G を想定した。

最後に、受信後のデータを電子ホログラフィにより光学再生を行う。上述した通り、物体光伝送方式では、受信した物体光に対して干渉計算を行い CGH を生成する追加計算を行う。SLM と LED を用いて CGH 動画を

1) 公立諏訪東京理科大学 Suwa University of Science

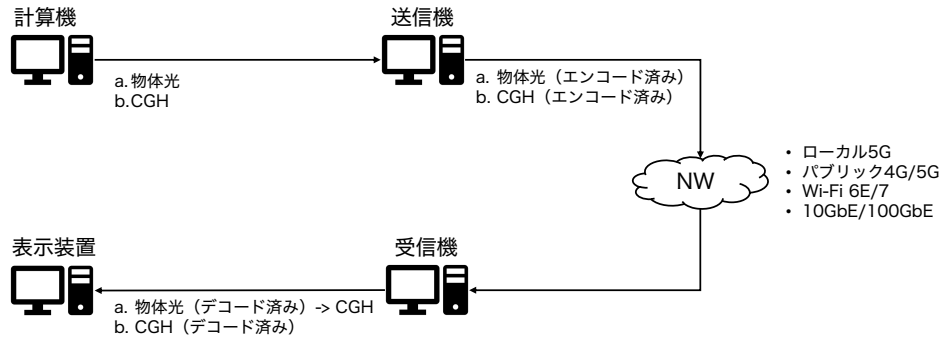


図1 ホログラフィ伝送システム

表1 ホログラフィ伝送における所要ビットレート例

解像度	FPS	圧縮	ビットレート (物体光) (16bit/pixel)	ビットレート (CGH) (8bit/pixel)
フル HD (1920×1080)	30	無圧縮	1 Gbps	500 Mbps
フル HD (1920×1080)	30	H.265	<700 Mbps	<350 Mbps
4K (3840×2160)	30	無圧縮	4 Gbps	2 Gbps
4K (3840×2160)	30	H.265	<2.8 Gbps	<1.4 Gbps

ストリーミング表示することにより、3D映像のネットワーク配信を実現できる。

4 システム構成・設計

ホログラフィ伝送システムにおいて、各機器の主な構成としては下記の通りである。

- 計算機：膨大な計算量を要求されるため、倍精度浮動小数演算性能の高いGPUが望ましい。また、データ量も膨大なため、GPUのメモリ量も多い方が望ましい。
- 送信機/受信機：エンコード/デコード処理のためのハードウェア（例えば、GPUなど）が必要となる。高解像度なSLMを使用する場合には、高速なネットワーク接続ができる機器が望ましい。特に、8K以上ではInfinibandなどの光ファイバー接続が望ましい。
- 表示装置：CGHを表示するための高解像度・高フレームレートのSLMが望ましい。SLMの性能に応じた画面描画用のGPUが必要となる。

現在、Beyond 5G/6Gに向けた移動体通信システムの研究開発が盛んに行われており、ホログラフィ伝送システムにおいてもユーザが下り回線として1.5Gbpsを利用可能という想定で検討を行っている。表1に本システムを使用した場合のビットレートを示す。対象とするデータは、使用するSLMの仕様に依存しており、例えば4K解像度では、モノクロ、情報量8bit/pixel、30FPSのCGH動画とすると約2Gbpsが必要となる。物体光を伝送する場合には、複素振幅の情報量をどの程度にするかに依存するが、例えば16bit/pixelとすると、CGHデータを直接伝送する場合に比べて倍のビットレートが要求される。2Dの動画像圧縮技術であるH.265コーデックを用いた場合、ビットレートを削減することが可能なため、今後は物体光/CGHのデータサイズを削減できる圧縮技術が期待される。

また、これまでに本システムを用いて様々なネットワーク環境下で検証を行ったところ、フレームレートを

落とし所要ビットレートを低減することでホログラフィ伝送を実現した[5]。ただし、パブリック4G/5Gなどでは帯域幅と遅延が影響し、解像度・フレームレートともに落とす必要があった。今後は遅延が大きい環境下における伝送プロトコルの開発が期待される。

5 まとめ

本研究では、ホログラフィによる映像をネットワークを介して遠隔地へと届けるホログラフィ伝送の実現を目指し、Beyond 5Gにおけるネットワーク網を想定したシステム設計を行なった。

謝辞

本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究(JPJ012368C06801)により得られたものです。

参考文献

- [1] D. Gabor, "A New Microscopic Principle," Nature, vol. 161, pp. 777-778, 1948, doi: 10.1038/161777a0.
- [2] Kyoji Matsushima, "Introduction to Computer Holography," Springer, 2020.
- [3] Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Computer Holography: Acceleration algorithms and Hardware Implementations," CRC Press, 2019.
- [4] K. Matsushima, "Shifted angular spectrum method for off-axis numerical propagation," Optics Express, Vol. 18, Issue 17, pp. 18453-18463, 2010.
- [5] Misato ONISHI, Kazuhiro YAMAGUCHI, Yuji SAKAMOTO, "Development of Network Streaming System for CGH Video in Wired/Wireless Communications," IEICE Transactions on Electronics, 2025, Volume E108.C, Issue 2, pp. 99-107, 2025, <https://doi.org/10.1587/transele.2024DII0004>
- [6] 山口一弘, 大西海里, 坂本雄児 "ホログラフィ伝送における物体光伝送・ホログラム伝送の画質劣化に関する一検討," 映像情報メディア学会 2024 年年次大会, 31C-1, 2024.
- [7] 野中敬介, 小島弘暉, 小磯諒太, "Beyond 5G 時代を見据えたホログラフィー通信の実用化に向けた研究開発," 電子情報通信学会誌, vol. 107, no. 8, pp. 765-770, 2024.