

可視光通信を用いた計算機合成ホログラムの伝送と再生 —バンドパスフィルタを用いた再生像の改善—

戸塚真隆[†] 高野邦彦[‡] 松本充司^{†3} 佐藤甲癸[†]

[†] (元) 湘南工科大学

[‡] 東京都立産業技術高等専門学校

^{†3} 早稲田大学

あらまし 三次元を表示するホログラムの場合、可視化するため再生照明光が必要となる。すなわち、ホログラムの伝送と再生が可能である可視光の利用が有効である。しかし、従来の通信の電波や IrDA (Infrared Data Association) の赤外線での利用は再生困難であった。そこで、可視光技術に IrSimple プロトコルを適用して計算機合成ホログラムの伝送と再生、半値幅の狭いバンドパスフィルタを用いて分散の影響を低減して再生像の改善をしたので報告する。

キーワード IrSimple, デジタル通信, 可視光通信, 干渉縞型計算機合成ホログラム

Transmission and Reconstructed of the Computer Generated Hologram using the Digital Wireless LED Visible Light Communication

— Improvement of the reconstruction image using the band pass filter —

Masataka TOZUKA[†] Kunihiko TAKANO[‡] Mitsuji MATSUMOTO^{†3} and Koki SATO[†]

[†] Former of Shonan Institute of Technology

[‡] Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

^{†3} Waseda University

Abstract In the case of a hologram displaying three dimensions, reconstruction illumination light is necessary to visualize it. In other words, the use of the visible light that transmission and the reconstruction of the hologram are possible is effective. However, the use in infrared rays of an electric wave and the IrDA (Infrared Data Association) of the conventional communication was hard to reconstructed. therefore, we applied a visible light device to an IrSimple technology and examined possibility of the visible light communication. Thus, we apply IrSimple protocol to a visible light technology and it in the transmission of the computer generated hologram and the one which reconstructed. We reduced influence of the dispersion using a narrow band pass filter of the half bandwidth and improved the reconstruction image.

Keyword IrSimple, Digital communication, LED visible light communication, Interference fringe type computer generated hologram

1. まえがき

従来、ホログラムの作成には光の干渉現象を利用して製作され、二光束以上の光の干渉を用いるため大規模な光学系が必要であった。しかし、近年、計算機合成ホログラム (CGH) では、光の干渉を計算機上で合成するため大規模な設備の必要がなく、高精細液晶パネルを用いたホログラムの立体 (3D) 再生が行われている。将来は、携帯端末を用いてホログラムの 3D 再生が期待されている。本論文は、携帯端末に CGH のホログラムを伝送するため、白色発光ダイオード (白色 LED) を用いた可視光で IrSimple プロトコルの通信する場合の適用性について検討する。512×512 画素の干渉縞型 CGH パターンは、パソコンを使って、リアルタイムで実写像の二次元 (2D) 動画入力して、ホログラムの基本式を成立させる計算機プログラムの流れにより、振幅と位相から光学干渉系を使わず干渉縞型 CGH

パターンを作成するのである。この反射ホログラムパターンは 256 階調の単色イメージである。また、パターンを表示した LCOS 素子と観測者の間に特殊な光学系を必要としない単純な光学系であり、レンズ項とプリズム項を埋め込んだパターンは、0 次光と高次回折光などの不要光の間に再生像が現れるのである。両項は限りなくホログラム面の近くに光学レンズが入ることと同様の効果を得られる。この三次元を表示するホログラムの場合、可視化するため再生照明光が必要となる。すなわち、ホログラムの伝送と再生が可能である可視光の利用が有効である。しかし、従来の通信の電波や IrDA (Infrared Data Association) の赤外線での利用は再生困難であった [1]-[3]。半値幅の狭いバンドパスフィルタを用いて分散の影響を低減して再生像の解像度の改善をしたうえで、IrSimple 技術に可視光デバイスを適用して、可視光通信を可能にした例は見当

たらない[4]-[11]、可視光技術[12][13]に IrSimple プロトコル[14][15]を適用して、ホログラムの再生光を兼ねた可視光通信方式により、計算機合成ホログラムの伝送および再生したので報告する。

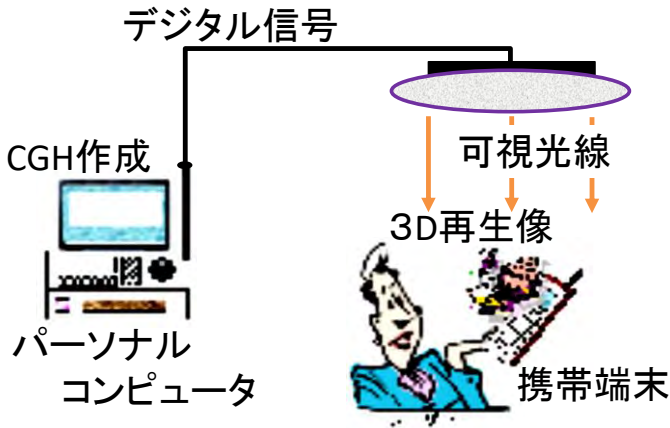


図1 可視光を利用したシステムの概念図

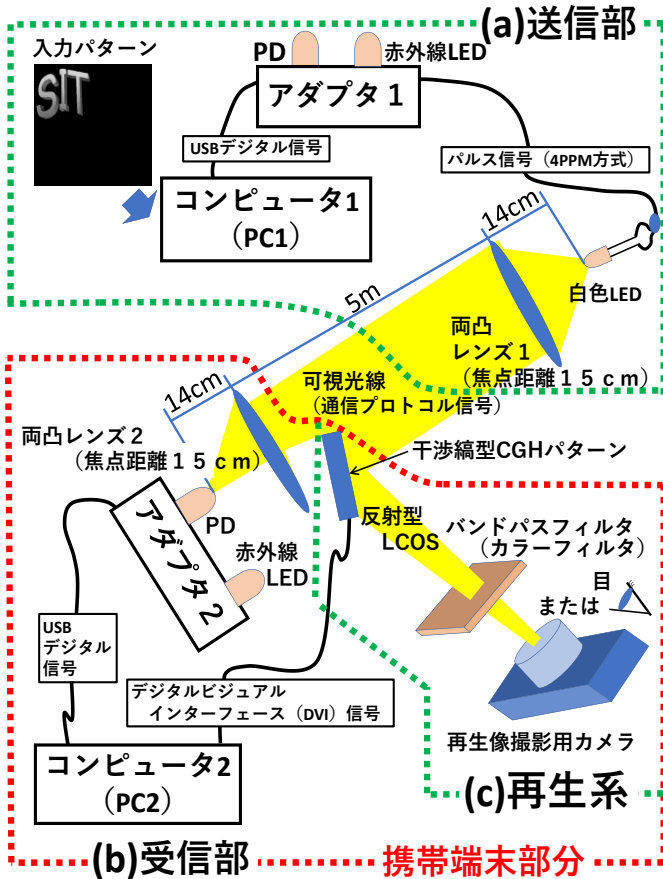


図2 可視光通信システムのブロック図

2. 白色LEDとIrSimpleの可視光通信へ適用

図1は可視光によりCGHを再生している様子を示したものである。ここで、可視光線はCGHの再生像を可視光により再生するとともに、可視光線にIrSimpleプロトコルを利用して制御情報を受信側に送るものである。

IrSimple規格では、相手からの応答を必要とし再送処理を行う双方向通信及び再送処理を省き相手からの応答を必要としない片方向通信という2つの通信方式を定義している。本実験では光学系を簡素にするため、通信プロトコルの片方向通信を使用した。しかし、方向通信の可視光化も、本論文の方式を可視光線2にする応用で可能である。

図2に本実験系の可視光通信システムのブロックを(a)送信部と(b)受信部に分けて示す。

図2(a)の送信部のコンピュータ1(PC1)に接続したIrSimpleのアダプタ1【LB技研合同会社製LBIR5100、調方式：4PPM(Pulse Position Modulation)】の変調信を取り出し、赤外線発光ダイオード(LED: Light emitting Diode)と指向性の強い高輝度白色LED(日亜化学工業株式会社製NSPW500DS)[16]へ接続する。なお、図3は白色LEDのスペクトラムが、780nm以降の赤外線を含んでいないことを示したものである。

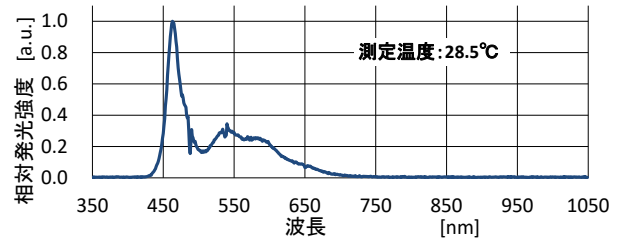


図3 白色LEDのスペクトラム

図2(b)の受信部のコンピュータ2(PC2)に接続したIrSimpleのアダプタ2【LB技研合同会社製LBIR5100、調方式：4PPM】のフォトダイオード(PD: Photo Diode)で信号を受信する。受信した干渉縞を、反射型LCOS(Liquid-crystal on silicon)素子に表示する。

3. 実験方法

3-1 本伝送システムの確認方法

図2に実験で用いた系のブロック図を示す。また、焦点距離が15cmの両凸レンズ1、2を14cmの位置に加え、白色LEDからPD側までの5mを、わずかに収束な光線に合わせた伝送システムを使用した。この光線をレンズ2でまとめれば、5m以上の間隔距離に対応できると考えられる。伝送前後のパターンをピーク信号対雑音比(PSNR: Peak Signal to Noise Ratio)と信号波形で通信品質を確認する。

3-2 白色光の通信プロトコル信号による再生像の確認方法

図2に示す通信プロトコル信号と同等の可視光によって、干渉縞型CGHパターンの再生をする。赤色のバンドパスフィルタ(カラーフィルタ)を用いて分散の影響を確認する。また緑色と青色のバンドパスフィルタを用いて再生をする。

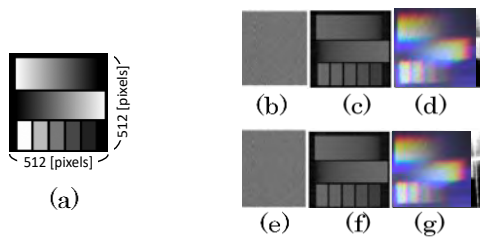


図4 伝送前後のパターン

4. 結果と検討

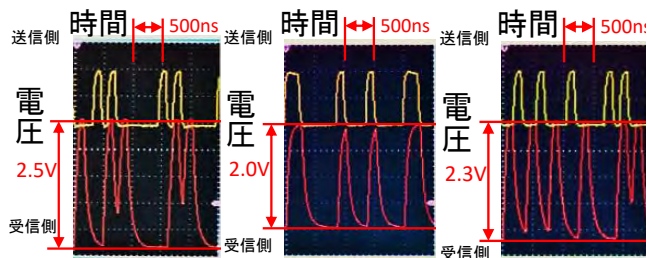
4-1 通信結果についての検討

4-1-1 伝送前後の再生像の検討

図4 (a)の 512×512 画素の入力パターンから図2 (a)に示す PC1 を使って CGH を作成した。伝送前は、256 階調の単色イメージで図4 (b)の 512×512 画素の CGH パターンと一部分の 64×64 画素の拡大画像を示した。図4 (c)は伝送前のパターンのシミュレーション結果画像、図4 (d)は伝送前のパターンの光学的な再生像を示した。伝送後は、図4 (e)の 512×512 画素の CGH パターンと一部分の 64×64 画素の拡大画像、図4 (f)のパターンのシミュレーション結果画像と図4 (g)のパターンの光学的な再生像を示した。また図4 (c)と(f)のシミュレーション結果画像を比較して通信品質を確認した。PSNR で評価した結果、平均二乗誤差 (MSE : Mean Squared Error) は 0.0 であり、二つの画像が同一であることが示された。パターンの 24bit フルカラー画像は、512×512 画素で 768 kB の容量であった。また、平均通信時間は 3.5 sec であった。

4-1-2 光学系の検討

図2に示すようにレンズを設置し、光線の強度を改善し情報伝達の距離を増やした。レンズがない場合は、3 cm の距離の通信であった。しかしレンズを用いて 5 m 以上もの通信が可能となった。通常の携帯端末の仕様を考えると、室内の天井までの高さが 3 から 4m 程で受信できればよく、再生も同じである。また、情報伝達の距離は、光出力と受光感度の影響が大きい変数である。それぞれの変数は距離に比例関係である。本実験では使用する白色 LED と PD が、購入品であるため光出力と感度を上げることはできなかった。受光感



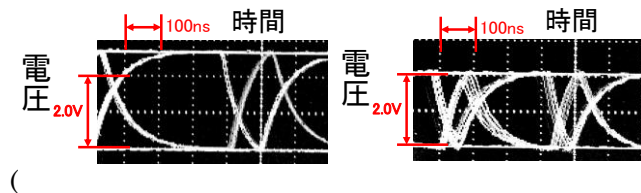
度について、IrSimple に使用される PD の波長感度特性は、赤外線の領域にピークがある。これを可視光線に適用するには、PD の低感度領域だが、レンズによる集光で通信が可能となった。また、集光され光が狭まるため、秘匿性が高いことが確認できた。

4-1-3 PD の電気的な検討

図5に送受信パルス波形の観察結果を示す。上の黄色は、送信波形で LED 制御信号の駆動電圧を示す。下の赤色は受信波形で、アダプタ 2 の PD 出力波形とアダプタ 2 に外付けした波形モニタ出力を示した。図5 (a)の受信可能な PD 出力波形は、ピークからボトムとの波形でおよそ 2.5 V である。図5 (b)の受信不可能の PD と波形モニタ電圧出力の 2 V は、2.3 V を超えていない。この CMOS タイプ回路 $V_{cc} = 3.3 V$ の静的特性の最小値は 2.3 V である。この電圧を越えて受信可能にするには、受光に対する電圧を増やす必要がある。受光感度が高くなれば、通信距離を延長できる。

4-1-4 アイパターンによる検討

図6にアイパターンによる通信品質の評価を示す。まず、IrSimple の 4 PPM 変調方式の場合の測定条件は、周期 500 ns = 周波数 2 MHz の M 系列発生器 (7 段) の出力信号を使って、4-1-3 章の良好な通信が可能距離である。図6 (a)のジッタ、オーバーシュートとアンダーシュートが小さく、品質の良いアイパターンといえる。しかし、図6 (b)のように信号速度が速くなると、比例してジッタ、オーバーシュートとアンダーシュートが大きくなり品質が悪いアイパターンになる。信号



4-1-5 BER(Bit Error Rate)の特性による検討

図7に受光パワーと BER の関係を示す。変調方式として 4 PPM 方式を利用し、BER を 10^{-4} 以下に抑えるには、0 dBm (1 mW) 以上の光入力が必要である。

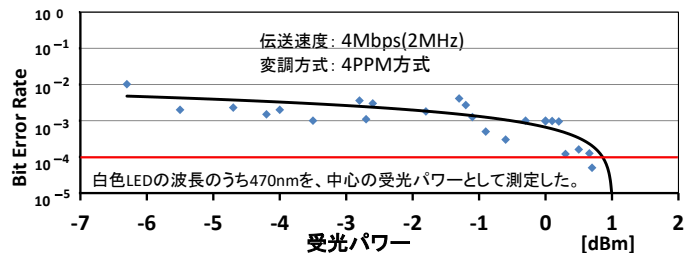


図7 受光パワー対 BER 特性

4-2 白色光の通信プロトコル信号による再生像

白色 LED の通信プロトコル信号の光による再生系を図 2(c) 再生系に示す。この系を用いて 5 m 以上の距離で白色再生像がえられ、波長特性は図 8 の点線のとおり広い。その白色再生像を 470nm・540nm・650nm バンドパスフィルタ (eo TECHSPEC Bandpass Filter : 65144,65218,65170,86657) で分光した波長特性を図 8 の実線に示す。本実験でフィルタの半値幅 25nm を選択した。しかし、この波長帯も広いため再生像にカメラ (Nikon 製:D500 本体/AF-S MICRO NIKKOR 105mm 1:2.8G レンズ) の焦点が波長によって一致しないためにぼけることがわかった。波長帯が狭いほど高解像度になることは知られている。フィルタの半値幅を 25nm から 10nm に狭めることにより、解像度の上がった像を観察できた。

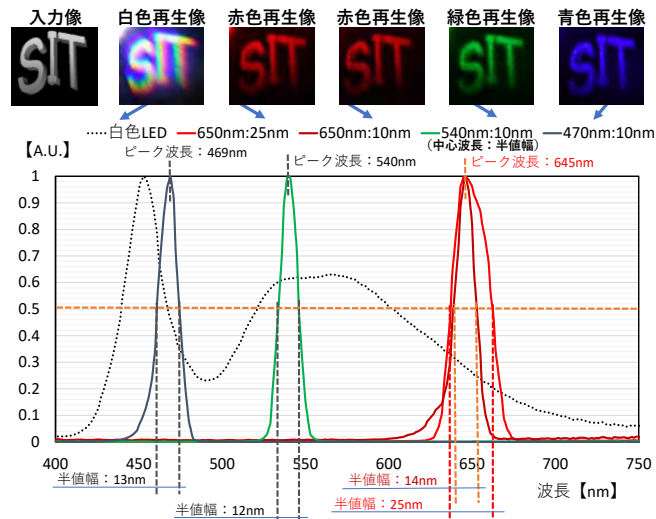


図 8 フィルタを使った再生像と波長特性

5. 結論

白色 LED を用いた IrSimple の片方向通信は、3D データの干渉縞の高速デジタル可視光通信を行なうことができ、通信に用いたのと同じ光で再生するため、有望な技術であるとわかった。また、IrSimple の適用により、容易に開発が行えた。今後の展望である干渉縞の 3D データは、2D データとして扱えるため、情報量が余り増加しないと筆者らは考えている。しかし、IrSimple の片方向通信を用いた可視光通信は、動画で 4K・8K の高解像度になった場合に影響が出ている。この対応のために、IrSimple を 4 Mbps より高速にするか、新しい変調方式や干渉縞の最適な圧縮技術などを導入する必要があるといえる。今後、これらの問題が解決されると、動画のリアルタイム情報通信を行なうことも可能であると考えられる。

文 献

[1] 高野邦彦, 若林良二, 岡村悦章, 野村大輔, 青山

浩久, 秋山裕紀, 武藤憲司, 鈴木弘, 島田一雄: “SSTV を用いたホログラフィ立体画像の無線伝送法”, 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.12, pp.1770-1773 (2003).

- [2] 高野邦彦, 武藤憲司, 佐藤甲癸, 藍天, 趙洪明: “赤外線通信を用いたホログラフィ立体画像伝送”, 電子情報通信学会総合大会, D-11-77, pp.77 (2007).
- [3] 高野邦彦, 野口幹容, 甲谷佑太, 宝地戸俊介, 藍天, 佐藤甲癸, 武藤憲司: “動画ホログラムの無線伝送に関する基礎検討”, 画像電子学会誌, Vol.37, No.5, pp.645-650 (2008).
- [4] 近藤那樹, 北岡涼太郎, 水野翔太, 中條渉: “120fps イメージセンサと 16 素子 LED アレイを用いた可視光通信のシンボルレート限界とビットレート”, 信学技報, WBS2016-1, pp.1-5 (2016-05).
- [5] 松田勇介, 小澤佑介, 榎田洋太郎: “RGB-LED アレイを用いたデジタル制御型 CSK 信号の照明色温度とその周波数”, 信学技報, WBS2016-5, pp.23-28 (2016-05).
- [6] 望月輝, 藤本暢宏: “三原色型白色 LED による高速照明光通信の一検討”, 電子情報通信学会総合大会, B-10-102 (2012).
- [7] 吉留祐樹, 佐々木良輔, 村口正弘: “雑音耐性に優れた可視光通信の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, CMN-14-48, pp.73-77 (2014).
- [8] 原田亮, 戸川真, 村口正弘: “OFDM による可視光通信システムの研究”, 電子情報通信学会技術研究報告, MW2012-45, OPE2012-38, EST2012-27, MWP2012-26, pp.119-124 (2012).
- [9] 田口靖洋, 網野翔太, 宮保憲治, 島田尊正: “可視光通信を活用した放射線警告用照明システムの検討”, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, AS-2-3 (2012).
- [10] 田中仁, 萬代雅希, 渡辺尚: “二次元コードを用いた可視光通信の基礎考察と実験について”, 第 8 回情報学ワークショップ, pp.165-170 (2010).
- [11] 北村匡彦, 苗村健: “DMD を用いた空間分割型可視光通信の基礎検討”, 第 5 回情報科学技術フォーラム, LK-010, pp.293-295 (2006).
- [12] 戸塚真隆, 佐藤甲癸, 大木眞琴, 高野邦彦, 瀧本幸男, 松本充司: “白色 LED を用いたホログラムの光空間伝送および立体像再生の特性改善”, Wireless Technology Park 2012, pp.29-30 (2012).
- [13] 戸塚真隆, 高野邦彦, 大木眞琴, 松本充司, 佐藤甲癸: “可視光通信システムによる計算機合成ホログラムの伝送と再生”, 画像電子学会誌, Vol.45, No.1, pp.27-31 (2016).
- [14] 直江仁志, 深江文博, 山口久美子, 松本充司: “IrDA 次世代高速赤外線通信標準方式「IrSimple」”, 画像電子学会誌, Vol.35, No.5, pp.598-602 (2006).
- [15] 直江仁志, 深江文博, 酒井宏仁, 大澤昇平, 神之門司, 中島孝士, 豆田憲治: “高速赤外線通信プロトコル IrSimple の標準化”, シャープ技報, Vol.95, pp.63-68 (2007).
- [16] 日亜化学工業株式会社: 白色 LED 標準仕様書 NSPW500DS, NICHIA STS-DA1-1476A <Cat.No.110318>.