

令和元年6月12日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06348

研究課題名（和文）デジタルサイネージのための人に視認されにくい可視光イメージセンサ通信

研究課題名（英文）Image-Sensor-Based Visible Light Communications Hard to Identify by Human Eyes for Digital Signage

研究代表者

岡田 啓 (Okada, Hiraku)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授

研究者番号：50324463

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、デジタルサイネージ本来の視覚情報提供機能に加え、可視光イメージセンサ通信によるデータ情報伝送手法を検討した。本手法ではデジタルサイネージの表示機能そのものを用いるため、特別な送信機を追加する必要はない。受信機としては、スマートフォンなどの携帯端末に通常装備されているカメラ（イメージセンサ）を用いる。デジタルサイネージ本来の視覚情報を阻害しないように、人が視認できないように情報を動画像（視覚情報）に重畳し、これを携帯端末のイメージセンサで撮影し、復調する可視光通信方式を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、デジタルサイネージは最も社会で注目されている技術の一つである。これに可視光イメージセンサ通信を適用することで、視覚情報に加え、データ情報伝送機能を付加することは、新たな広告手段を提供することができる。このため、システム創成という観点から社会への貢献が大きい。

デジタルサイネージの本来の機能である視覚情報を阻害しないようにデータ情報を伝送するために、本提案方式では色の視覚特性を利用している。さらに、時刻同期ずれの課題に対しイメージセンサを用いることにより生じる新たな特徴であるローリングシャッタ方式に着目している。これらの点に本研究の大きな特色があり、学術的独創性がある。

研究成果の概要（英文）：In this research, we proposed the transmission method of data information by visible light communications using digital signage, which ordinarily displays visual information. This method does not require any additional devices for data transmissions because it employs the display function of digital signage itself. An image sensor of a smartphone is used as a receiver. The data information is embedded on the visual information hard to identify by human eyes and displayed on digital signage. The image sensor captures and demodulates it to the data information.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式 可視光イメージセンサ通信 デジタルサイネージ ローリングシャッタ方式

1. 研究開始当初の背景

液晶ディスプレイ技術の向上と普及に伴い、駅や商用施設等に多くのデジタルサイネージ(電子看板)が設置されており、今後もますますの普及が予想されている。デジタルサイネージは表示内容の改編が容易、設置場所の地域特性を考慮したコンテンツを提供することができる、秒単位での広告販売が可能であるといったさまざまな利点を持っている。しかし、提供することができる視覚情報には、デジタルサイネージの大きさに加え、その見た目などにより制約がある。

この制約を緩和する一つの方策として、本研究では、デジタルサイネージ本来の視覚情報提供機能に加え、可視光イメージセンサ通信によるデータ情報伝送手法

を検討する。その概念を図1に示す。データ情報伝送手法として、携帯電話で用いられている移動体通信網、無線 LAN などのライセンス不要な ISM (Industry-Science-Medical) バンドを用いた無線通信が考えられる。前者の場合、どのデジタルサイネージを見ているのかを識別するために高精度な端末の位置検出が必須になること、後者の場合、同じく位置推定が必要になること、既存のデジタルサイネージに無線通信装置の追加が必要となることが問題になる。これに対し可視光イメージセンサ通信では、デジタルサイネージの表示機能そのものを送信機として、スマートフォンなどの携帯端末に通常装備されているイメージセンサ(カメラ)を受信機として用いることができ、特別な機器を追加する必要はない。さらに、データ情報はデジタルサイネージに表示される視覚情報に重畳される。このため、携帯端末のイメージセンサで撮影したデジタルサイネージの画像上の位置と可視光イメージセンサ通信により取得したデータ情報を対応させることも可能である。

可視光イメージセンサ通信によるデータ情報伝送手法を実現するためには、デジタルサイネージに表示される視覚情報を阻害しないために、人が視認できないようにデータ情報を重畳する必要がある。従来手法では、高速な変化を人が視認できないことを利用するか、逆にゆっくりとした変化を人が視認できないことを利用している。前者は高速に動作する表示装置およびイメージセンサが必要であり、後者はデータ情報の伝送速度が十数 bps 程度と非常に遅くなる。

2. 研究の目的

本研究では、デジタルサイネージを用いた視覚情報を阻害しない高速可視光イメージセンサ通信を検討する。提案方式では、人が視認できないようにデータ情報を視覚情報に重畳してデジタルサイネージに表示する。これを携帯端末のイメージセンサで撮影し、復調することでデータ情報を得る。

3. 研究の方法

本研究では、具体的には以下の二つの課題について取り組む。

(1) 人が視認できないデータ情報重畳伝送方式の検討

デジタルサイネージ本来の機能である視覚情報を阻害しないデータ情報重畳伝送方式を考案する。人の視覚特性として、輝度変化よりも色変化の識別、特に青色が不得意であることが知られている。この特性を利用し、液晶ディスプレイで通常用いられる RGB 色空間ではなく、Y (輝度)、Cr (赤色差)、Cb (青色差) により表される YCrCb 色空間を用い、青色差成分にデータ情報を重畳する青色差変調方式を用いる。本方式を実装し、その性能を評価することで実現性を明らかにする。

(2) 時刻同期ずれの影響軽減策の検討

デジタルサイネージと携帯端末は、それぞれ独自のクロックにより動作しており、これらのクロックの微妙なずれにより、送受信機間で同期ずれが生じる。また、スマートフォンなどの携帯端末に搭載されているイメージセンサは、画像上部から画素走査線毎に順次読み出しを行なうローリングシャッタ方式が用いられている。そこで、フレーム毎ではなく、ローリングシャッタ方式により走査線毎に信号を受信・復調処理することを検討する。走査線毎の信号伝送に適した同期用パイロット信号を挿入することで、送受信機間の同期ずれの影響を軽減する方策を考案する。実験によりその導入効果を検証する。

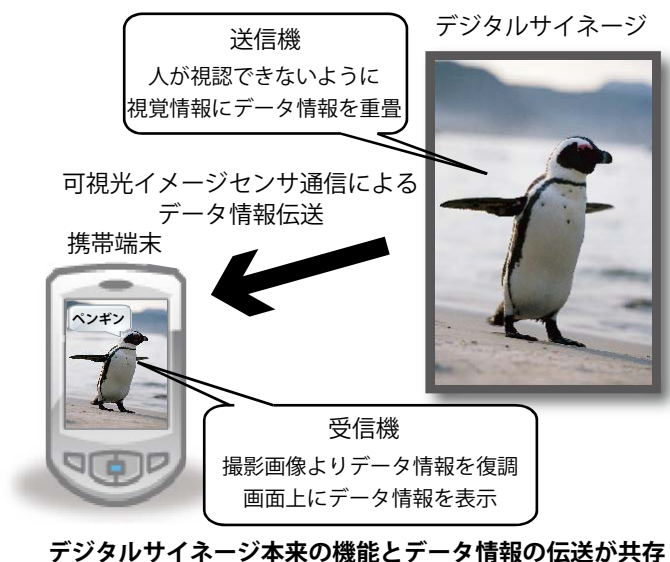


図1 可視光イメージセンサ通信を用いたデジタルサイネージ

4. 研究成果

(1) 人が視認できないデータ情報重畳伝送方式の検討

人の視覚特性として、輝度変化よりも色変化の識別、特に青色が不得意であることを利用し、青色差成分にデータ情報を重畳する青色差変調方式を提案した。そして、実際にどのような色成分や強度で視覚情報に重畳するのがよいのかを検討した。

まず始めに視認性について検証するために、被験者による主観評価を行うことで、信号強度を変えて MOS (Mean Opinion Score) を測定した。そして、同じく信号強度を変えて RGB および YCrCb の各色成分で情報を伝送したときのビット誤り率を測定することで、結果として MOS 対ビット誤り率特性を算出した。その結果、視覚情報の Cb, Cr 成分へのデータ情報の埋込みが高い MOS 評価値を獲得しつつ、より高い通信の信頼性を達成する事が確認できた (図 2)。

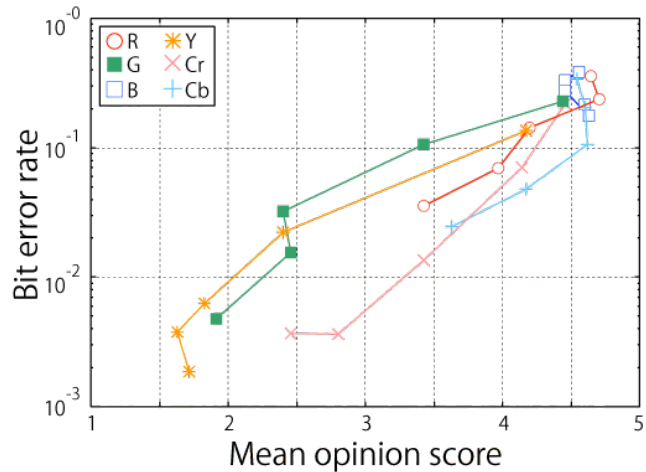


図 2 MOS 対ビット誤り率特性

上記では視覚情報として静止画を扱っていたが、さらに動画にも適用できるように検討を進めた。受信機においてデータ情報を復調するとき、視覚情報を取り除く必要がある。静止画の場合、連続する 2 つのフレームの差分画像を取ることで視覚情報を削除することができる。動画の場合は完全に視覚情報を削除することができないため、データ情報への干渉として視覚情報が残る。これに対し画像処理におけるパターンマッチングに基づくセル位置補正やピクセル値分布に基づく雑音除去手法を適用することで、干渉による性能劣化を軽減する手法を提案した。評価実験の結果、提案手法によりビット誤り率が改善できることを確認した (図 3)。

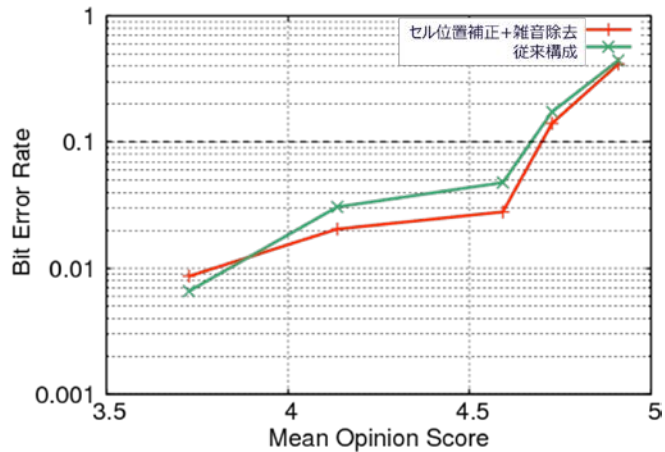


図 3 視覚情報として動画を用いた場合

(2) 時刻同期ずれの影響軽減策の検討

送信機と受信機は互いに独立したクロックにより動作しているため、送受信機の同期ずれが生じる。さらに、受信機のカメラではローリングシャッタ方式が用いられているため、各走査線の露光中に送信機の表示するフレームが切り替わると、受信機は連続する二つの送信フレームの混合画像を取得することとなり、通信性能が劣化する要因となる。

まず始めに送受信機の時刻非同期動作とローリングシャッタ現象が受信機で取得する画像に与える影響についてシミュレーションにて評価を行った。その結果、露光時間の短縮により撮影された画像における混合画像が発生している面積が減少していることが分かった。また、送受信機の同期ずれが生じている場合、取得画像の上端と下端で異なる色になっていることが分かった。

そこで、露光時間を短くすることで、送信画像の上部と下部にパイロットを挿入することで同期状態を検出する手法を提案した。提案システムを実機実装し、その性能を実験により評価した。その結

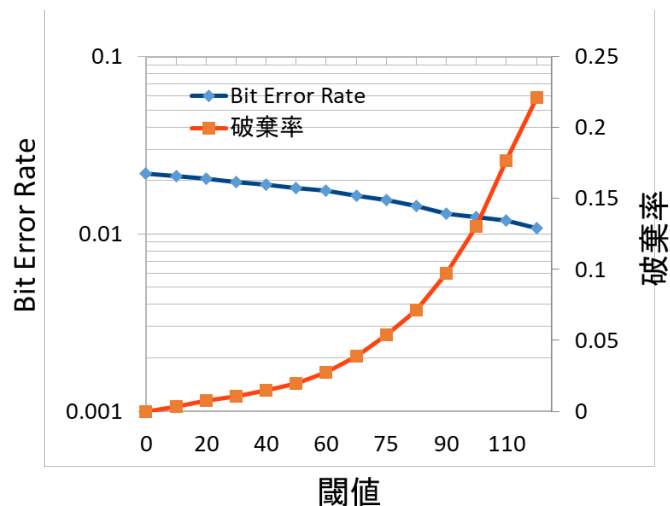


図 4 走査線毎のデータ復調特性

果，提案方式により再撮影率を低く抑えつつ，ビット誤りを減らすことができるのを示した。しかし，この手法だと受信フレーム毎にしか同期状態を検出することができない。

そこで，送信画像の左部と右部にパイロットを挿入しローリングシャッタ方式を用いることで，走査線毎に同期状態を検出し，データ情報を復調する手法を提案した。評価実験の結果，同期状態を走査線毎に検出することができ，走査線毎にデータを復調することができるのを確認した。同期しているかどうかの判定に用いる閾値を変えることで，同期していないとみなされるために破棄される走査線の割合（破棄率）が増えるにつれ，ビット誤り率が低減することを示した（図4）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① H. Okada, S. Yoshida, T. Wada, K. Kobayashi, M. Katayama, Overlaying a Motion Video with Data Information for Digital Signage and Image-Sensor-Based Visible Light Communication Systems, IEICE Communications Express, 査読有, 2019
DOI: 10.1587/comex.2019XBL0069
- ② H. Okada, S. Sato, T. Wada, K. Kobayashi, M. Katayama, Preventing Degradation of the Quality of Visual Information in Digital Signage and Image-Sensor-Based Visible Light Communication Systems, IEEE Photonics Journal, 査読有, vol.10, no.3, 2018
DOI:10.1109/JPHOT.2018.2829146
- ③ 山里敬也, 岡田啓, 可視光通信実用化技術, 電子情報通信学会誌, 査読無, vol.101, no.1, 2018, pp.59-65

〔学会発表〕（計10件）

- ① 吉田章太, 岡田啓, 和田忠浩, 小林健太郎, 片山正昭, 視覚情報に動画を使用したデジタルサイネージ可視光通信方式の提案と性能評価, 電子情報通信学会 ASN 研究会, 2019
- ② 岡田啓, 吉田章太, 和田忠浩, 小林健太郎, 片山正昭, [依頼講演] 映像コンテンツへのデータ情報埋め込みを行うデジタルサイネージ-イメージセンサ可視光通信, 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2018
- ③ 吉田章太, 岡田啓, 小林健太郎, 片山正昭, 和田忠浩, 動画へデータ情報を埋め込んだデジタルサイネージ可視光通信システムの通信品質評価, 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2018
- ④ S. Yoshida, H. Okada, T. Wada, K. Kobayashi, M. Katayama, Performance Evaluation of Digital Signage and Image-Sensor-Based Visible Light Communication Systems Using Motion Video as Visual Information, Workshop on Smart City based on Ambient Intelligence, 2018
- ⑤ H. Ichikawa, S. Sato, H. Okada, T. Wada, K. Kobayashi, M. Katayama, A Synchronization Method between Transmitter and Receiver for Image Sensor Visible Light Communications, Indonesia-Japan Joint Workshop on Ambient Intelligence and Sensor Networks, 2017
- ⑥ 市川寿, 佐藤翔, 岡田啓, 和田忠浩, 小林健太郎, 片山正昭, イメージセンサ可視光通信における送受信機間同期手法の一検討, 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2017
- ⑦ H. Ichikawa, S. Sato, H. Okada, T. Wada, K. Kobayashi, M. Katayama, Evaluation of Time Asynchronous of Display-Camera Links for Visible Light Communications, RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2017
- ⑧ 佐藤翔, 岡田啓, 山里敬也, 和田忠浩, 小林健太郎, 片山正昭, デジタル映像コンテンツへの情報埋め込みを用いたイメージセンサ可視光通信における映像品質と通信品質の評価, 可視光通信ワークショップ, 2016
- ⑨ S. Sato, H. Okada, K. Kobayashi, T. Yamazato, M. Katayama, Visible Light Communication Systems Using Blue Color Difference Modulation for Digital Signage, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, 2016
- ⑩ 佐藤翔, 岡田啓, 和田忠浩, 小林健太郎, 片山正昭, デジタルサイネージにおけるコンテンツ映像への情報埋め込みがもたらす視覚情報品質の劣化と通信品質の評価, 電子情報通信学会 CQ 研究会, 2016

6. 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名：佐藤 翔

ローマ字氏名：(SATO Sho)

研究協力者氏名：市川 寿

ローマ字氏名：(ICHIKAWA Hisashi)

研究協力者氏名：吉田 章太
ローマ字氏名：(YOSHIDA Shota)
研究協力者氏名：中村 恭子
ローマ字氏名：(NAKAMURA Kyoko)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。