



不可視の色振動を用いた 2 次元パターンによる ディスプレイ-カメラ間通信の基礎検討

阿部知史¹⁾, 荒見篤郎¹⁾, 平木剛史¹⁾, 福嶋政期²⁾, 苗村健¹⁾

1) 東京大学 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, {abe, atsuro, hiraki, naemurag}@nae-lab.org)

2) 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ (〒 332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8, s.fukushima@aist.go.jp)

概要: 近年, スマートフォンの普及とパブリックディスプレイの増加に伴い, 遍在的な情報提示技術として, ディスプレイ-カメラ間通信が注目を集めている. その際に, 一般的なディスプレイを用い, かつ映像の見た目を損なわずに, カメラへ情報を伝送することが求められる. 本稿では, ディスプレイの各画素の色度を振動させることで, 不可視の QR コードを埋め込む手法を提案し, 実際にスマートフォンによって情報がデコード可能であることを確認した.

キーワード: ディスプレイ-カメラ間通信, 色振動, ユビキタスコンピューティング

1. はじめに

近年, 多くの人々がスマートフォンを所有し, 公共の空間にデジタルサイネージなどを表示するディスプレイが増加している. その中で, 遍在的な情報提示を行う技術として, ディスプレイ-カメラ間通信が注目を集めている. 画面に表示される QR コードによって, スマートフォンのカメラで認識可能な情報を伝送する方法は, 現在広く用いられている典型的な例である.

このような可視パターンを用いる手法に対し, 輝度の高速変化を用いて, 人間には知覚されないがカメラには認識できる不可視の情報を伝送する手法が提案されている [4, 6]. ここで, 人間に知覚可能な輝度変化の時間周波数は 50 Hz 程度であり [5], 色度変化の場合は 25 Hz 程度である [3] ことが分かっている. したがって, 輝度ではなく色度の高速変化を用いることで, 低速なデバイスを用いても不可視性を保った情報伝送が可能であると考えられる.

本稿では, 一般的なリフレッシュレートが 60 Hz のディスプレイで提示する映像に, 不可視の色振動を用いて 2 次元パターンを埋め込む手法を提案する. また, アプリケーションを開発しスマートフォンのカメラによってその情報がデコードできることを確認した.

2. 関連研究

ディスプレイからカメラデバイスへの情報伝送手段として, QR コード [2] のような可視パターンを用いる手法がある. これらは, 高い情報量と信頼性を確保しているが, 人間にコンテンツを見せるための領域と, デバイスに情報を伝送するための領域が分かれてしまう. そのため, 映像全体の見た目を損なうことや, 情報提示領域を小さくした場

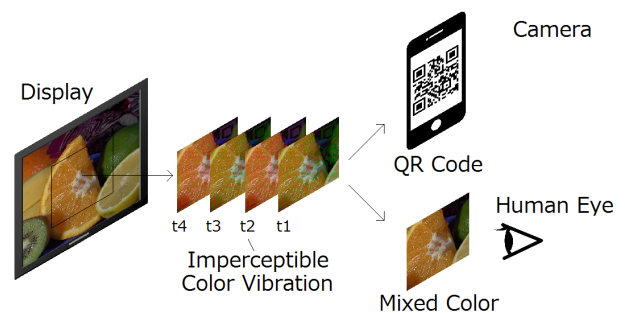


図 1: 提案システム

合には, 近接しないとそれをデコードできないということが問題となる.

その問題を解決するために, 不可視の情報を伝送する手法が提案されている. VRCodes [7] は, 2 色の交互表示によって不可視情報を伝送するが, 人間の視覚を邪魔しないことのみを目的としており, 表示される色はグレーに限られている. したがって, コンテンツ領域と情報領域はやはり分離している. それに対し, InFrame [6] は, 輝度の高速変化が人間には知覚されないことを利用して, コンテンツ領域に不可視情報を埋め込む手法を提案している. しかしながら, リフレッシュレート 120 Hz 以上の高速なディスプレイを使用しなければならず, 一般的に普及しているディスプレイで利用可能な技術とは言えない.

そこで我々はこれまでに, 一般的なディスプレイで表示する画像に不可視の色振動を用いてデータを埋め込む手法を提案した [1]. この手法は, 色の選択パターンによって異なるデータを表現するが, そのデータは画素ごとに定められており, 空間展開によって複数画素でデータを表現することは行っていない.

Satoshi ABE, Atsuro ARAMI, Takefumi HIRAKI,
Shogo FUKUSHIMA and Takeshi NAEMURA

3. 提案手法

本手法では、映像の各画素の元の色から、同一の輝度を持つ変調色 1 と変調色 2 を生成し、それらを交互に表示することで不可視の色振動を生成する。色振動のあり/なしを画素ごとに定め、0/1 のビットに対応させることによって、2次元パターンを埋め込むことができる。我々は、この不可視の 2次元パターンを、スマートフォンが画像処理によって認識するシステム (図 1) を提案する。

3.1 エンコード

一般に、輝度が一定で色度のみが振動する色変化が約 25 Hz 以上の周波数で提示されるとき、人間にはその色変化は知覚されず、融合した 1 色のみが知覚される [3] ことが知られている。リフレッシュレートが 60 Hz のディスプレイを用いて、同一輝度の 2 色を交互に表示することで、30 Hz の色度振動が生成されるので、不可視の色振動が提示可能である。ここで、輝度 Y を軸に持つ色空間である XYZ 色空間を用いる。 Y 値を固定し、XZ 平面において元の色について対称の位置にある 2 色を選択し、この 2 色を交互に表示すれば、色の融合によって元の色のみが知覚されると考えられる。

色振動のあり/なしを画素ごとに定めることによって、ディスプレイ上に 0/1 の 2次元パターンを埋め込むことが可能である。埋め込む 2次元パターンとしては、現在広く用いられている QR コードを採用する。

この際、カメラが 0/1 を十分に識別可能であるように色振動の振幅を設定する必要がある。そのため、色 (R_1, G_1, B_1) と色 (R_2, G_2, B_2) の色振動の認識しやすさを予測する評価関数を、

$$E(R_1, G_1, B_1; R_2, G_2, B_2) = |R_1 - R_2| + |G_1 - G_2| + |B_1 - B_2| \quad (1)$$

と定め、この値が閾値 E_{th} 以上であるように 2 色を与える。

ただし、以上の条件を満たす変調色の組は複数存在するため、そのいずれを選択するべきかについては検討が必要である。

3.2 デコード

30 Hz の色振動をディスプレイ-カメラ間の同期なしに捉えるために、120 fps で動画を撮影する。これは、2014 年発売の Galaxy S5 (Samsung) など既に撮影可能なフレームレートであり、現行モデルでは一般的に利用可能である。このとき、図 2 のように、2 変調色を撮影したフレームが 1 フレームおきに現れる。撮影した各フレームに対して、1 フレームおきに差分を取ることで、色振動をしている部分のみが残り、反転 2 値化処理によってデコード可能な QR コードが得られる。

4. 実験

実際に提案システムによってディスプレイからカメラデバイスへの情報伝達が可能であることを確認するための実験を行った (図 3)。

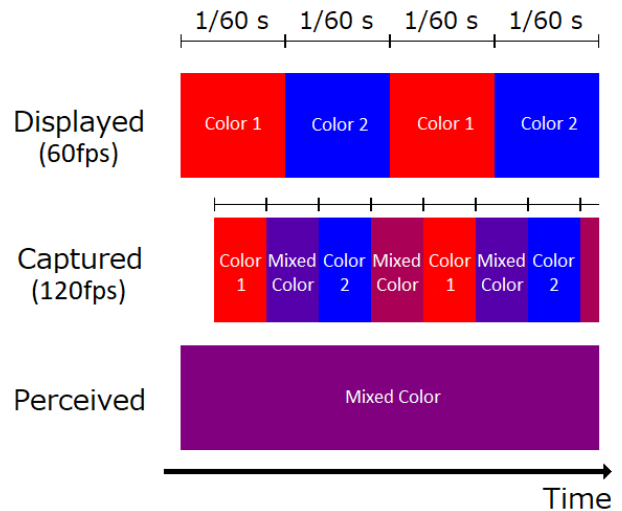


図 2: 上段: ディスプレイ, 中段: カメラ, 下段: 人間から見た色の時間系列



図 3: スマートフォンがディスプレイ映像に埋め込まれた不可視の QR コードを認識する様子

4.1 条件

映像を表示するデバイスとして輝度 $60 \text{ cd} / \text{m}^2$ の色校正済みの液晶ディスプレイ (CG-2420, EIZO) を用い、それを撮影するデバイスとしてスマートフォン (Galaxy S8, Samsung) を用いた。映像として、 1920×1080 の、グレー $((R, G, B) = (127, 127, 127))$ 単色の画像に対して、 500×500 の QR コード (文字列: <https://nae-lab.org>) を埋め込むことで得られる 2 枚の画像 (図 4) を交互に表示した。この際、変調における評価関数の閾値を $E_{th} = 100$ とし、図 4a, 図 4b の QR コード部分の色はそれぞれ、 $(R, G, B) = (158, 116, 128)$, $(R, G, B) = (81, 137, 126)$ であった。組立式暗室 (ADR-F2, アズワン) 内で、ディスプレイから垂直 30 cm の位置にスマートフォンを固定し、5 秒間撮影した後に、画像処理とデコードを行った。

4.2 結果

結果として、情報 (文字列: <https://nae-lab.org>) が正しく認識できた。画像処理により得られる画像は図 5 のよう

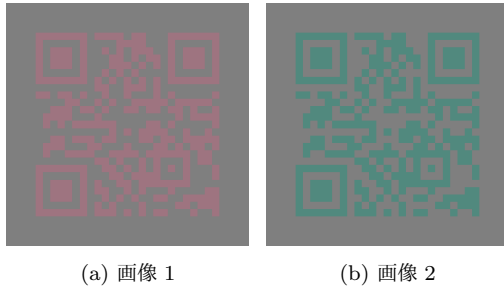


図 4: 表示した画像の QR コード埋め込み部分

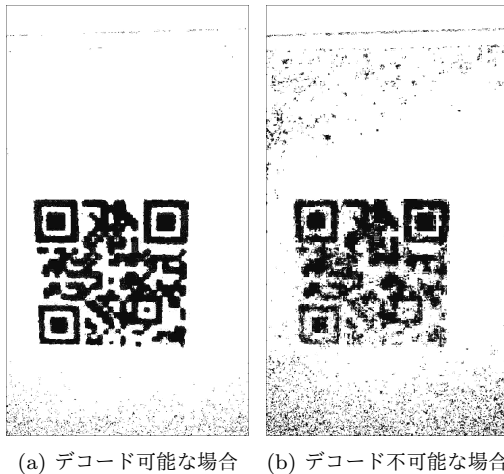


図 5: 得られた画像

になっていた。実際には、得られる画像シーケンスの中から、ノイズが少なくデコード可能であるものに対してのみ、デコードが成功していた。

5. 結論

本稿では、一般的な液晶ディスプレイを用いて映像の見た目を損なわずにカメラデバイスへの情報伝送を行うために、色度振動を用いて不可視の QR コードを埋め込む手法を提案し、実際にそれがデコード可能であることを実験により確認した。

今後の展望として、表示映像を、単色画像ではなく画像一般に拡張することや、ノイズを除去することでデコード

の速度や安定性を向上させることが考えられる。また、本稿ではエンコードの際に XYZ 色空間を用いて変調を行ったが、輝度を軸に持つ色空間は複数あるため、そのいずれを用いるかについても検討が必要である。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP16H01739 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Abe, S., Arami, A., Hiraki, T., Fukushima, S. and Naemura, T. 2017. Imperceptible Color Vibration for Embedding Pixel-by-Pixel Data into LCD Images. Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '17, 14641470.
- [2] Automatic identification and data capture techniques - QR code 2005 bar code symbology specification. ISO/IEC 18004:2006.
- [3] Jiang, Y., Zhou, K. and He, S. 2007. Human visual cortex responds to invisible chromatic flicker. Nature Neuroscience. 10, 5 (May 2007), 657662.
- [4] Li, T., An, C., Campbell, A.T. and Zhou, X. 2015. HiLight: Hiding Bits in Pixel Translucency Changes. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review. 18, 3 (Jan. 2015), 6270.
- [5] Ricciuti, H.N. and Misiak, H. 1954. The Application of the Constant Method in Determining Critical Flicker Frequency (CFF). The Journal of General Psychology. 51, 2 (Oct. 1954), 213219.
- [6] Wang, A., Peng, C., Zhang, O., Shen, G. and Zeng, B. 2014. InFrame: Multiflexing Full-Frame Visible Communication Channel for Humans and Devices. Proceedings of the 13th ACM Workshop on Hot Topics in Networks - HotNets-XIII, 17.
- [7] Woo, G., Lippman, A. and Raskar, R. 2012. VR-Codes: Unobtrusive and active visual codes for interaction by exploiting rolling shutter. 2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) (Nov. 2012), 5964.