

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：62615

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12424

研究課題名(和文) スマートフォン動画カメラによる高速可視光通信の実現

研究課題名(英文) Implementation of high-speed visible light communication

研究代表者

橋爪 宏達 (Hashizume, Hiromichi)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授

研究者番号：40172853

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：スマートフォンなどに搭載される低速なビデオカメラを使って、高速可視光通信を実現する研究である。ビデオカメラの動作をインテグラル・サンブラという数学モデルで厳密に記述し、カメラ出力を周波数空間で解析すると見通しのよい結果を得られることがわかった。このモデルから導かれる光源の変調は、発光スペクトルの調波を組み替えた仮想正弦波と称するものに対して行って、これを周波数分割多重した OFDM 通信が可能であることがわかった。これらの知見は本研究によりはじめて得られたもので、得られる通信速度は従来試行されたものの10倍に達することが判明した。本効果を実験で確かめるとともに、学会発表と2件の特許出願を行った。

研究成果の概要(英文)：This research was conducted to implement a high-speed visible light communication system using low speed video cameras such as being mounted on smartphones. For this purpose we described the function of video cameras using a mathematical model called integral sampler which lead the conclusion that analysis of video camera should be performed in frequency domain. Also the model suggested that the light source should modulate so called virtual sinusoidal wave which is obtained by re-allocating the harmonics of light source signal. This modulation is much similar to OFDM. Those conclusions are obtained as the result of this research. By the experiment we demonstrated a high-speed communication which is almost 10 times faster than ones which were ever reported. The result was published as scientific papers as well as two patent applications.

研究分野：情報学

キーワード：可視光通信 スマートフォン 信号処理

1. 研究開始当初の背景

肉眼でも確認できる可視光線を使用して行う可視光通信は、各種の形態が古くから研究されてきたが、近年、特に LED 照明とスマートフォンの普及により、両者を組み合わせた形態のものが注目されている。しかし主にスマートフォンカメラの低速性（毎秒 30～60 フレーム）により、10bps 程度の通信速度しか得られなかった。この低速性が可視光通信の広い利用を妨げていた。

LED は高速変調が可能である。しかし低速な動画カメラを使う可視光通信は、本質的に高速化への困難をかかえている。しかしその形態で理論的にどこまでの速度を得られるのか。そのような速度限界をさぐる研究はなかった。

2. 研究の目的

スマートフォンに搭載されている、民生型の動画カメラによる可視光通信の通信速度の理論限界を求める。またそこで求めた理論限界を実験で実証することで、従来報告された可視光通信の通信速度を超える高速な可視光通信を実現する。その通信ソフトをスマートフォンに搭載して、アプリの形で効果を実証する。

3. 研究の方法

研究代表者は動画カメラの動的動作を厳密に記述できる、インテグラル・サンブラという数学モデルを得ていた。この研究ではインテグラル・サンブラで可視光通信時のカメラ動作を記述することから始めた。

4. 研究成果

インテグラル・サンブラによる解析でわかったことは、動画カメラは 1 フレームの一定時間、露光時間に入ってくる光を積分するが、この積分動作は入力光の畳み込み (convolution) としても記述できることである。従ってカメラ動作を時間領域でなく周波数領域で解析すれば、面倒な積分は単に周波数スペクトルの積になり、除外できることになる。カメラは入力光のスペクトルに対し周波数フィルタとして働く。

また低速なフレーム/秒 (フレームレート) の撮影は、入力スペクトルについてアンダーサンプリングであって、信号の発光がカメラに同期していれば、ハーモニクス (調波) の組み換えが起こる。上記のカメラ露光による周波数フィルタリングとハーモニクス組み換えが、動画カメラの光信号に対して与える変更の全容であり、それを理解しながらあらためて周波数領域で可視光通信を設計すれば、撮像素子の全能力を使うシステムを設計できることがわかった。

周波数領域で通信システムを設計するのはデジタル通信技術で周波数分割多重 (FDM) などとしてよく知られているもので、特に OFDM (直交周波数分割多重通信) はシャノン

情報量理論の理論限界に近い通信速度を得られる技術として地デジ放送などに広く使われている。インテグラル・サンブラから始まった本研究の解析により、OFDM により可視光通信を設計すべきことがわかった。

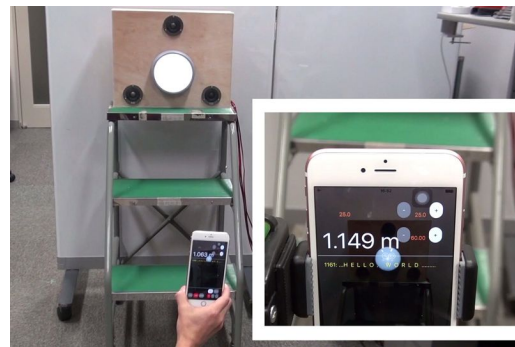
しかし一般の通信と違い、可視光通信では動画カメラのアンダーサンプリング効果によるスペクトル調波組み換えにより、各調波が再設定される。可視光通信の OFDM では各調波を搬送波として扱うが、それは信号発光の調波でなく、アンダーサンプリングで組み替えられた調波をあてなければならない。

組み替えられた調波は一見存在しない、仮想世界のものであり、これを仮想正弦波と呼ぶことにした。

インテグラル・サンブラの着想、それを可視光通信に適用すること、ハーモニクス組み換え、仮想正弦波の概念およびその OFDM 通信での利用、これらが本研究で得られた発見であり、可視光通信の新しい分野を切り開く技術である。

可視光通信にこの技術を適用することで、従来の通信速度を 10 倍程度に高めることに成功した (おそらく世界記録)。また、これまで他研究者の行ってきた研究も、インテグラル・サンブラの効果として統一的に説明することに成功した。この成果は同分野の多くの研究者の興味をひいている。

成果は 7 編の研究論文として公表するとともに、2 件の特許出願 (うち 1 件は国際特許) を行った。またスマートフォンアプリとしても実装し、効果を実証的に展示できるようにした。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

杉本雅則, 秋山尚之, 橋爪宏達, TOPVLC : 時間遅延推定のための最適変調信号を用いることによる高速可視光通信手法、電子情報通信学会論文誌、Vol. J101-B, No.5, pp.1-11, 2018 年 査読有

橋爪宏達, 杉本雅則 汎用ビデオカメラ

を用いた可視光通信、電子情報通信学会誌、Vol.101, No.1, pp.44-51, 2017 年 査読有

Takayuki Akiyama, Masanori Sugimoto and Hiromichi Hashizume, Time-of-arrival-based Smartphone Localization Using Visible Light Communication, Proceedings of 8th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2017), 10.1109/IPIN.2017.8115904, pp. 1-8, 2017 年 査読有

中村将成, 秋山尚之, 橋爪宏達, 杉本雅則, 音波によるスマートフォンの屋内3次元位、第55回情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会、017-UBI-55(No. 2), pp.1-6, 2017 年 査読有

Masanari Sugimoto, Hayato Kumaki, Takayuki Akiyama, Hiromichi Hashizume Optimally Modulated Illumination for Rapid and Accurate Time

Synchronization, IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 65(Issue2), pp505-516, 2017 査読有

DOI: 10.1109/TSP.2016.2612176

中村将成, 秋山尚之, 杉本雅則, 橋爪宏達 可聴周波数帯域を用いることによるスポット制御可能な情報伝送手法 情報処理学会論文誌、vol.57(,No.11), pp2501-2514.2016 年 査読有

中村将成, 秋山尚之, 杉本雅則, 橋爪宏達 音響信号を用いたスマートフォンの高速・高精度屋内3次元位置認識手法 情報処理学会論文誌、Vol.57(No.11), pp2489-2500, 2016 査読有

[学会発表](計 12件)

Marcelo Koti Kamada, Hiromichi Hashizume and Masanori Sugimoto, GPS Signal Generation Platform for Seamless Localization, Proceedings of 8th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2017), 2017 年

Hiroaki Murakami, Hiromichi Hashizume and Masanori Sugimoto, Smartphone Inertial Sensor-based Indoor Localization using Acoustic Signal GPS

Signal Generation Platform for Seamless Localization, Proceedings of 8th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2017), pp. 1-4, Sept, 2017

雨夜将吾, 嶋田祥太, 秋山尚之, 橋爪宏達, 杉本雅則(北大) 空間分割多重化による汎用動画カメラを用いた高速可視光通信 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会(ASN), 信学技報 vol. 117(no. 134) 159-164, 2017 年

嶋田祥太, 秋山尚之, 橋爪宏達, 杉本雅則 汎用動画カメラを用いた OFDM 可視光通信 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会(ASN), vol. 117(no. 134) 153-158, 2017 年

Koki Kudo, Masanori Sugimoto, Takayuki Akiyama and Hiromichi Hashizume, Multicamera Synchronization for Smartphones using Optimally, Proceedings of ACM MobiSys 2017 2017 年

Takayuki Akiyama, Masanori Sugimoto, and Hiromichi Hashizume, Time Synchronization Method Using Visible Light Communication for Smartphone Localization, Proceedings of ICWMC 2016 1-4(国際学会), Spain, Barcelona, 2016年

Masanari Nakamura, Takayuki Akiyama, Hiromichi Hashizume, Masanori Sugimoto, A Spot-controllable Data Transfer Technique Using COTS Speakers, 7th Int'l Conference on Indoor Positioning and Navigation (IPIN2016) 38-RP 1-8 (国際学会), Spain, Madrid, 2016年

Masanari Nakamura, Takayuki Akiyama, Hiromichi Hashizume, Masanori Sugimoto, "3D Indoor Positioning and Rapid Data Transfer Technique using Modulated Illumination", 7th Int'

Conference on Indoor Positioning and Navigation, Spain, Madrid, 2016年
Takayuki Akiyama, Masanori Sugimoto,
Hironichi Hashizume, (IPIN2016)
198-WIP 1-4 (国際学会), An Acoustic
Indoor Positioning Method Assisted by
Visual Light Synchronization for
Smartphones, Proceedings of
International Workshop on
Asia-Pacific, 韓国、2016年

秋山尚之、杉本雅則、橋爪宏達 可視光
通信による時刻同期とスマートフォン測
位 可視光通信協会 2016ワークショッ
プ、2016年

嶋田祥太、秋山尚之、橋爪宏達、杉本雅
則、汎用動画カメラによる高速可視光通
信とその応用 情報処理学会 第50回ユ
ビキスタスコンピュータ、台湾 Chi Nan
University 台中、2016年

橋爪宏達

市販カメラを使った高速可視光通信
可視光通信協会セミナー(招待講演)、日本
川崎市、2016年

(国際学会)
〔図書〕(計 3件)

Hironichi Hashizume
Desktop Publishing Pioneer Meeting at
Computer History Museum
IEEE Annals of the History of Computing,
Vol. 39, No. 03, pp. 65-67, 2017年7月

橋爪宏達、杉本雅則、(担当:共著, 範囲:
超音波テクノ)
空中超音波のドップラーイメージング 日
本工業出版 2016年9月

橋爪宏達
ISPJ 78th National Convention Report
IEEE 2016年6月
橋爪宏達、杉本雅則、高速高精度デバイス間
同期技術とその応用、化学工業 2016年2月

〔産業財産権〕

出願状況(計 2件)

名称: 情報送信装置、情報受信装置、情報伝
送システム及びプログラム、測位システム、
照明器具並びに証明システム

発明者: 橋爪宏達、杉本雅則、秋山尚之、熊
木逸人

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願2016-163574

出願年月日: 2016年08月24日

国内外の別: 国内

名称: 情報送信装置、情報受信装置、情報伝
送システム及びプログラム

発明者: 秋山 尚之、杉本 雅則、熊木 逸人、
嶋田祥太

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願2017-135654

出願年月日: 2017年7月11日

国内外の別: 国内

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋爪 宏達(Hashizume, Hironichi)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研
究系・教授

研究者番号: 40172853

(2) 研究分担者

研究者番号:

(3) 連携研究者

杉本 雅則(Sugimoto, Masanori)

北海道大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 90280560

(4) 研究協力者()