

知能反射面を用いた可視光通信システムの一検討

澤木 拓夢[†] 小島 駿[†] 今井 健太郎^{††} 大津 金光[†] 横田 隆史[†]

[†]宇都宮大学工学部情報工学科 ^{††}千葉大学大学院融合理工学府基幹工学専攻

1 はじめに

スマートフォン等の爆発的普及に伴い、無線通信需要は増加の一途をたどっている。現在広く使用されている移動体無線通信では、使用可能な周波数帯域の逼迫に加え、ミリ波やテラヘルツ波等の高周波数帯域での減衰による性能劣化が顕著であり、ユースケースが限られてしまう問題がある。これらの問題を解決する方式として昨今では可視光通信技術が注目を集めている。可視光通信では高速・安定した通信が可能な一方で、障害物等が存在するような環境での通信性能の確保に課題がある。そこで本稿では、可視光通信において広範なカバレッジの確保と高速通信の両立をめざし、高速・大容量化が実現可能な Direct Current biased Optical - Orthogonal Frequency Division Multiplexing(DCO-OFDM) 方式に知能反射面 (IRS: Intelligent Reflecting Surface) を適用した可視光通信システムを提案し、その基礎的な性能評価を行う。

2 可視光通信

可視光通信とは、人の目で見ることのできる光を用いて無線通信を実現する手法であり、その波長は 380 ~ 780nm となる。図 1 にその基本的な概念図を示す。可視光は直進性が高く、外部からの受信を遮断する場合には見えている光を遮断すればよいので、セキュリティ確保が容易であり、加えてマイクロ波帯等で常用されている電波を用いないため、電子レンジ等の機器との干渉を避けることができる。また、人体にも安全であることに加え、身の回りに使用されている機器に備わっている LED を僅かな機器の増設のみで可視光通信に使用できるため、新世代の IT インフラの構築に期待ができる。

3 OFDM

OFDM とは、周波数軸上において互いに直交関係を有する複数のサブキャリアを多重化する方式であり、図 2 に OFDM 方式の周波数軸上の関係を示す。OFDM 通信方式では OFDM 信号を構成するサブキャリアの周波数帯域が狭帯域であるため、時間シンボル長が長くなり、送信側からの直接波以外の反射波による信号電力の変動がおこるマルチパスフェージングに対して強くなる利点がある。一方で可視光通信では実数値の

みの伝送となるため、そのままでは OFDM を適用できない問題がある。

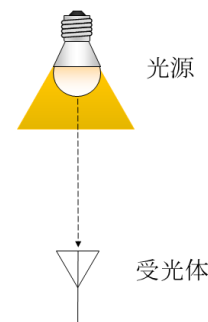


図 1: 可視光通信の基本概念

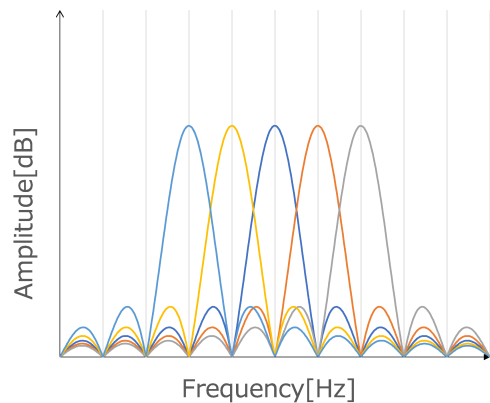


図 2: OFDM 通信方式における直交サブキャリアの周波数領域の表現

4 提案手法

本稿では、可視光通信におけるカバレッジの確保と高速通信の実現を目指し、DCO-OFDM に IRS を適用した可視光通信システムを提案する。

4.1 DCO-OFDM

DCO-OFDM 方式とは、基底帯域 OFDM 信号に直流バイアスを加えることで非負極性の信号を生成し、これを送信することによって通信を行う方式である。伝送効率は低下するが、虚数成分を用いない OFDM 伝送を実現可能であり、可視光通信と親和性が高い。

4.2 知能反射面 (IRS)

知能反射面 (IRS: Intelligent Reflecting Surface) とは、多数の反射素子でできており、それを動的に動か

A study of Visible Light Communication System with Intelligent Reflective Surface

[†]Hiromu Sawaki, Shun Kojima, Ootsu Kanemitsu, Yokota Takashi

^{††}Kentaro Imai

Department of Information Science, Faculty of Engineering, Utsunomiya University ([†])

Graduate School of Science and Engineering, Chiba University (^{††})

し、特性を適切に変化させることによって、反射波の位相や電力を制御することのできる反射面のことである。低コストでカバレッジの拡大が可能であり、近年盛んに研究されている。本稿では可視光通信における IRS によるカバレッジ拡大の可能性を探るため様々な環境における評価を行う。

4.3 システムモデル

提案する IRS を用いた可視光通信モデルを図 3 に示す。送信機から照射された光が、チャンネル h_1 を経て IRS により反射し、チャンネル h_2 を通過した後、受信機 r に到達する。送信信号を s 、受信信号を r とすると、それぞれのチャンネル h_1, h_2 で、フェージング h_1, h_2 が加わる。最後にノイズ n を考慮し、最終的な受信信号 r は以下の式で表すことができる。

$$r = h_1 * h_2 * s + n \quad (1)$$

なお、先行研究 [1] より、可視光通信における IRS に適している素材は鏡面であることが分かっている。そのため、本研究では鏡面の使用を前提とし、基礎的な評価を行うため、IRS 上の反射においては理想的な反射とし、位相の変化などは考慮しないものとする。

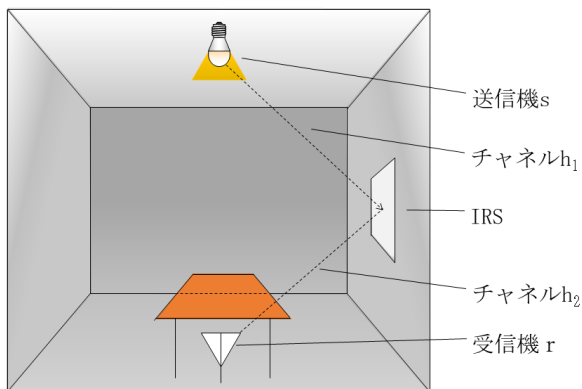


図 3: 提案モデル

5 シミュレーション結果

4.3 節のモデルを使用し、シミュレーションを行う。変調方式は QPSK, サブキャリア数 128, OFDM シンボル数を 20 とし、遅延によるシンボルへの干渉を避けるガードインターバル (GI) を OFDM シンボル 1 つの 1/4 の長さとなる 16 を取り、帯域幅を 20MHz としている。本シミュレーションでは遅延波の遅延量と個数を操作することで、比較評価をする。また、遅延量は遅延波の個数が多くなるほど増加することを想定している。

図 4 に遅延波の数が様々に変化する場合の BER 特性を示す。この図より、3 番目の遅延波が到来すると、SNR が大きくなるにつれて、GI を超えた遅延波の影響が支配的になり、BER 特性が劣化していることが確認できる。4 番目の遅延波が存在する場合には、遅

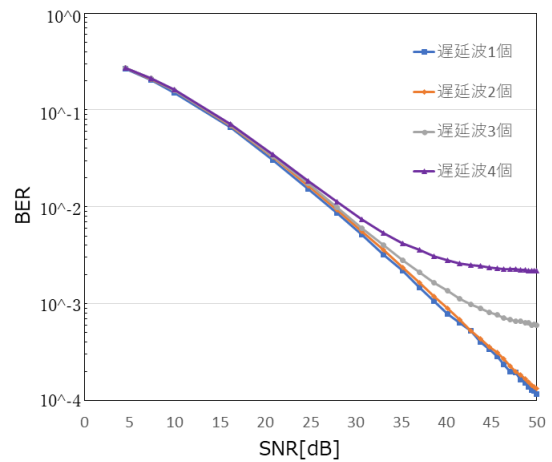


図 4: 遅延波の数を变化させた場合の BER 特性

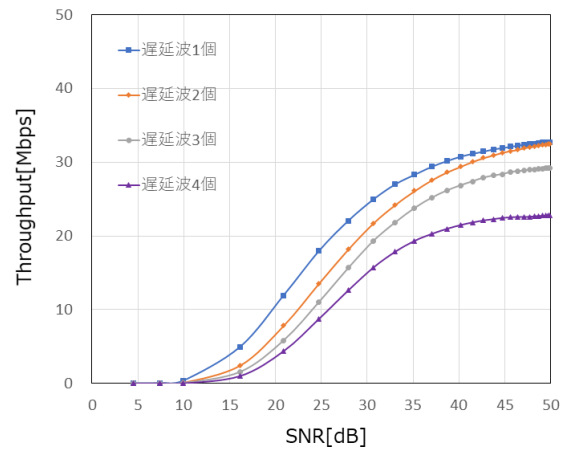


図 5: 遅延波の数を变化させた場合のスループット特性

延波の影響がより顕著になり、遅延波が 3 つの場合と比較しさらに BER 性能が劣化する。

図 5 に遅延波の数が変化した場合のスループット特性を示す。BER 特性の場合と同様に、SNR が大きい条件下では、3 番目の遅延波が存在する場合において約 6%, 4 番目の遅延波が存在する場合において約 31% の最大スループットの劣化が確認できる。

6 おわりに

本論文では、可視光通信における知能反射面を用いたモデルを提案し、その基礎評価を行った。シミュレーション結果より、IRS を用いた可視光通信システムにおいて、遅延波の影響が著しく通信性能に悪影響を与えることを明らかにした。

参考文献

- [1] P. Jativa, F. Seguel, P. Adasme, “Evaluation of Intelligent Reflecting Surfaces for Diffuse Visible Light Communications Link”, IEEE Latin-American Conference on Communications, pp.1-5, 2020.