

可視光通信のための調光制御可能な MPPM 方式のシンボル誤り率改善法

7308044

尾崎 崇

1 研究背景及び目的

近年 LED の普及に伴い、その高速な応答特性を活かした可視光通信が注目されている。また可視光通信では照明器具を用いて通信を行うので、通信だけでなく照明としての役割を果たす必要があり、調光制御可能な変調方式が必要であるこの要求に対して、VR-MPPM (Variable Rate Multi-pulse Pulse Position Modulation) が提案されている [2]。しかし VR-MPPM 方式にはシンボル誤り率が高いという問題点がある。本稿では、MPPM スロットと一つの MPPM スロットを二つに分割したサブスロットを用い、従来の MPPM 方式の信号に加えて、調光専用の信号を追加した新しい変調方式を提案することで、MPPM 方式のシンボル誤り率改善を図っている。

2 変調方式

2.1 VR-MPPM

VR-MPPM 方式は $\lfloor \log_2 (M C_m) \rfloor$ ビットの送信情報に応じて、1 フレーム内の M 個のスロットから $m (M > m)$ 個のスロットを選択する MPPM 方式を、調光制御ができるように拡張した方式である。調光制御は調光情報に応じて m を変化させることで行う。

2.2 提案方式

提案方式のシステムモデルを図 1 に示す。本提案方式ではまず従来方式と同じように $\lfloor \log_2 (M C_m) \rfloor$ ビットの情報に応じて 1 フレーム内の M 個のスロットから m 個のスロットを選択する。さらに各スロットを二つに分割したサブスロットを用いることで、 m ビットの情報に応じて各スロットごとに 1 つのサブスロットを選択する。したがって 1 フレームあたりの送信ビット数は $\lfloor \log_2 (M C_m) \rfloor + m$ ビットとなる。また調光情報に応じて、選択されていない $M - m$ 個のスロットに調光専用のパルスを生成すること調光制御を行う。

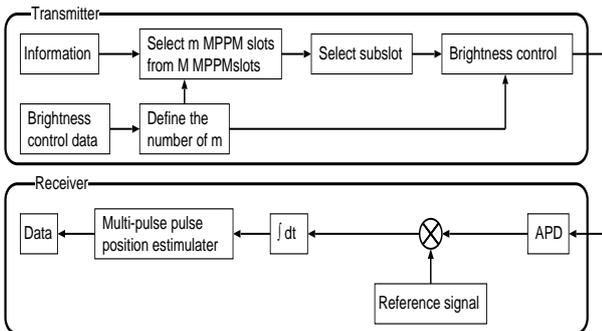


図 1 提案方式のシステムモデル

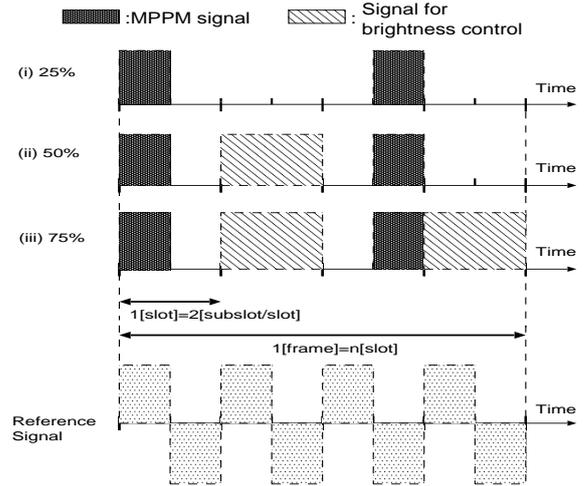


図 2 送信信号の調光例と参照信号

図 2 に $M=4, m=2$ とした場合の送信信号とその調光例を示す。この場合、平均輝度はそれぞれ 25%, 50%, 75% となる。同様に $m=1$ の場合は 12.5%, 37.5%, 62.5%, 87.5%, $m=3$ の場合は 37.5%, 62.5%, 87.5% の平均輝度を表現できる。

受信機では、受信信号の各スロットごとに参照信号 (図 2) との相関をとることで、 M 個の相関値が出力される。このとき参照信号はマンチェスタ信号となっているため調光用パルスが生成されたスロットの相関値はほぼ 0 とすることができる。そして各スロットごとの相関値の絶対値を比較し、出力が大きい順に m 個のスロットを選択し、MPPM 方式の情報データを復調する。さらに推定した m 個のスロットの相関値の正負を判定することによって、選択されたサブスロットを判定する。

3 理論解析と性能比較及びその考察

3.1 理論解析

シンボル正解率を P_{suc} とするとシンボル誤り率 (SER) は式 (1) で表される。

$$SER = 1 - P_{suc} \quad (1)$$

また提案方式と VR-MPPM 方式のシンボル正解率はそれぞれ式 (2), (3) で表される。なお詳しい導出方法は付録に記載する。

$$P_{suc} = m \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(q_{p1} - \mu_1)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

$$\begin{aligned} & \times \left[\int_{q_{p1}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(q_{p2} - \mu_2)^2}{2\sigma^2} \right\} dq_{p2} \right]^{m-1} \\ & \times \left[\int_{-q_{p1}}^{q_{p1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(q_{qm+1})^2}{2\sigma^2} \right\} dq_{qm+1} \right]^{M-m} dq_{p1} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P_{suc} &= m \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(q_{v1} - \mu_1)^2}{2\sigma^2} \right\} \\ & \times \left[\int_{q_{v1}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(q_{v2} - \mu_2)^2}{2\sigma^2} \right\} dq_{v2} \right]^{m-1} \\ & \times \left[\int_{-\infty}^{q_{v1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(q_{vm+1})^2}{2\sigma^2} \right\} dq_{vm+1} \right]^{M-m} dq_{v1} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで μ_i は平均値, σ^2 は分散, q_{pi} は各スロットごとの相関値, q_{vi} は各スロットごとの積分器出力であり, 添字 $i(i = 1, 2, \dots, M)$ はスロットの番号を示す.

平均輝度は式 (4) で表される [1].

$$\text{平均輝度} = \frac{m \times \text{パルス幅}}{\text{フレーム長}} \times 100[\%] \quad (4)$$

式 (1) ~ (4) を用いて算出された値を用いて, 事項の性能比較を行う.

3.2 性能比較

加法的白色ガウス雑音が支配的な場合の, 平均輝度に対するシンボル誤り率が 10^{-4} を達成するのに必要な情報 1 ビットあたりの平均送信信号エネルギー対雑音電力密度比 (E_b/N_0) [dB] を比較する. 対象は VR-MPPM 方式 ($M=8$) と提案方式 ($M=4$) とし, 1 フレームの長さと同調光レベルを統一した. また提案方式では 1 フレームあたりの送信ビット数が最大となる m を選択した. フレーム同期はとれているものとする.

比較結果を図 3 に示す. 平均輝度が 50 % の時以外では, シンボル誤り率の改善が確認できた.

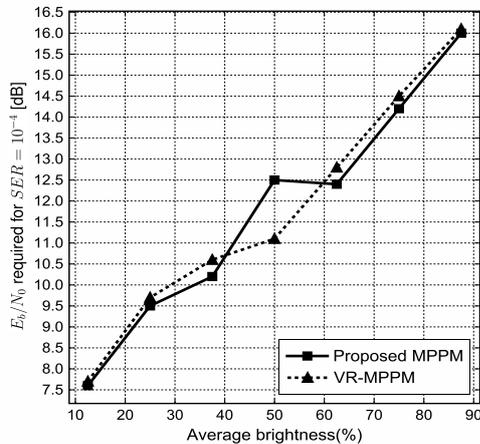


図 3 平均輝度に対するシンボル誤り率を 10^{-4} とするのに必要な E_b/N_0 [dB]

3.3 平均輝度=50 %でのシンボル誤り率の改善

MPPM を用いず, 各スロットごとに情報に応じてサブスロットを選択することで, シンボル誤り率の改善を図る. この時の理論式は式 (5) となり, パルスの配置は図 4 のように変更した.

$$P_{suc} = \left[\int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(q_{p1} - \mu_1)^2}{2\sigma^2} \right\} dq_{p1} \right]^M \quad (5)$$

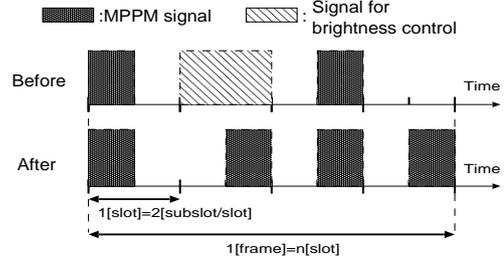


図 4 パルスの配置方法の変更

図 5 にパルスの配置方法を変更した後の比較結果を示す. パルスの配置方法の変更により, 平均輝度が 50 % の点でシンボル誤り率が改善されたことがわかる.

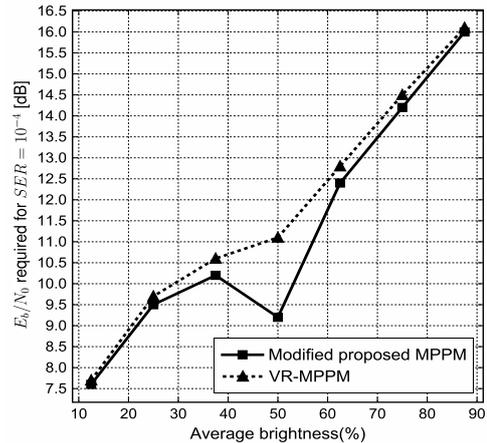


図 5 平均輝度に対するシンボル誤り率を 10^{-4} とするのに必要な E_b/N_0 [dB] (パルスの配置変更後)

4 まとめ

本稿では, VR-MPPM 方式のシンボル誤り率を, 従来の送信信号に加えて, 調光用の信号を追加することで改善を図った. その結果 VR-MPPM 方式のシンボル誤り率を改善することができた.

今後は提案方式を, 可視光での通信 (背景光や熱雑音の影響などを考慮) に応用し性能評価を行う.

参考文献

- [1] S.Rajagopal, S.-K. Lim, et. al, " IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support ", IEEE Comm. Magazine, Vol.50, Issue.3, pp.72-82, March 2012.
- [2] M. Tahir, Abu Bakar Siddique, " Optical Brightness-Rate Control using VR-MPPM and its Spectral Analysis for VLC System ", IEEE Comm. LETTERS, Vol.16, No.7, pp.1125-1128, July 2012.