

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5925146号  
(P5925146)

(45) 発行日 平成28年5月25日(2016.5.25)

(24) 登録日 平成28年4月28日(2016.4.28)

(51) Int.Cl. F I  
**HO4B 10/116 (2013.01)** HO4B 9/00 116  
**HO4B 10/69 (2013.01)** HO4B 9/00 690

請求項の数 10 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2013-42955 (P2013-42955)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成25年3月5日(2013.3.5)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2014-171173 (P2014-171173A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成26年9月18日(2014.9.18)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成27年1月14日(2015.1.14)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(72) 発明者	白木 善史
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	鎌本 優
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 受信装置、受信方法、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信装置と可視光通信をする受信装置であって、  
 前記送信装置から光信号を受信して、前記光信号に対応する電気信号を出力する受光素子と、

前記電気信号の強度を所定の時間間隔ごとに計測して、当該計測結果をインデクスごとの受信信号の系列として出力する受信信号生成部と、

前記受信信号の系列と、前記受信信号の以前の系列における同期ずれのパラメータと最大輝度のパラメータとを用いて仮の復号結果の系列を生成する仮復号部と、

前記受信信号の系列と、前記仮の復号結果の系列とを用いて、前記同期ずれのパラメータと前記最大輝度のパラメータとを更新する同期部と、  
 受信装置。

【請求項2】

請求項1に記載の受信装置であって、

前記仮復号部は、

前記受信信号のフレームのインデクスを  $i$  とし、

$i$  インデクス  $i$  の受信信号に対応する送信装置の送信信号のインデクスの推定値を  $j^{\wedge}$  とし、

$j^{\wedge}$  受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(j^{\wedge})$  とし、

10

20

前記仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  と、これに隣接するフレームの仮の復号結果  $M'(j^{\wedge} \pm 1)$  の少なくともいずれか一方を、前記受信信号の以前の系列における最大輝度のパラメータと同期のずれのパラメータに応じた割合で配分することにより復号したときの信号を配分復号信号とし、

前記配分復号信号とインデクス  $i$  での前記受信信号との差が小さくなる基準に基づいて、前記仮の復号結果の系列を生成する受信装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の受信装置であって、

前記同期部は、

前記受信信号のフレームのインデクスを  $i$  とし、

前記インデクス  $i$  の受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号のインデクスの推定値を  $j^{\wedge}$  とし、

前記受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(j^{\wedge})$  とし、

前記仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  と、これに隣接するフレームの仮の復号結果  $M'(j^{\wedge} \pm 1)$  の少なくともいずれか一方を、前記受信信号の以前の系列における最大輝度のパラメータと同期のずれのパラメータに応じた割合で配分することにより復号したときの信号を配分復号信号とし、

前記配分復号信号と前記受信信号  $B'(i)$  との誤差が小さくなるように、前記同期ずれのパラメータと前記最大輝度のパラメータとを更新する受信装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の受信装置であって、

前記光信号の点滅周期を  $T_f$  とし、前記受信信号生成部の計測周期を  $T_s$  とし、前記送信装置の発光素子の制御に要する処理時間を  $d$  とし、前記受光素子の露光時間を  $\tau$  とし、前記同期ずれのパラメータを  $TI$  とし、前記最大輝度のパラメータを  $R$  とし、前記受信信号のインデクスを  $i$  とし、前記インデクス  $i$  における受信信号を  $B'(i)$  とし、前記受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(i)$  とし、

$T_f = T_s$  かつ  $d = 0$  である場合に、

前記仮復号部が、

【数 1 4】

$$\hat{M}'_i = \operatorname{argmin}_{M'} \left\| \sum_{i \in \Omega} \left[ R \left\{ \left( \frac{T_f}{2} + \frac{\tau}{2} - TI \right) M'(i-1) + \left( TI + \frac{\tau}{2} - \frac{T_f}{2} \right) M'(i) \right\} - B'(i) \right] \right\|_2$$

により計算した系列  $M^{\wedge}'_i$  で仮の復号結果の系列を更新する受信装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の受信装置であって、

前記光信号の点滅周期を  $T_f$  とし、前記受信信号生成部の計測周期を  $T_s$  とし、前記送信装置の発光素子の制御に要する処理時間を  $d$  とし、前記受光素子の露光時間を  $\tau$  とし、前記同期ずれのパラメータを  $TI$  とし、前記最大輝度のパラメータを  $R$  とし、前記受信信号のインデクスを  $i$  とし、前記インデクス  $i$  における受信信号を  $B'(i)$  とし、

$T_f / 2 < T_s < T_f$  かつ  $d = 0$  であって、

前記インデクス  $i$  の受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号のインデクスの推定値を出力する関数  $I^+(i, TI, T_s, T_f, \tau)$ 、 $I^-(i, TI, T_s, T_f, \tau)$  をそれぞれ、

10

20

30

40

【数 15】

$$I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau) = \left\lfloor \frac{1}{2} + \frac{TI + Ts(i-1) - \frac{\tau}{2}}{Tf} \right\rfloor$$

$$I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau) = \left\lceil \frac{1}{2} + \frac{TI + Ts(i-1) + \frac{\tau}{2}}{Tf} \right\rceil$$

10

と定義し、インデクス  $I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau)$  の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau))$  とし、インデクス  $I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau)$  の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau))$  とした場合に、

前記仮復号部が、

【数 16】

$$\hat{M}'_i = \operatorname{argmin}_{M'} \left\| \sum_{i \in \Omega} R \left\{ \left( Tf^-(i, TI, Ts, Tf, \tau) - \frac{Tf}{2} - TI + \frac{\tau}{2} - Ts(i-1) \right) M'(I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right. \right. \\ \left. \left. + \left( \frac{Tf}{2} + TI + \frac{\tau}{2} + Ts(i-1) - Tf^+(i, TI, Ts, Tf, \tau) \right) M'(I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right\} - B'(i) \right\|_2$$

20

により計算した系列  $\hat{M}'_i$  で仮の復号結果の系列を更新する受信装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の受信装置であって、

前記光信号の点滅周期を  $Tf$  とし、前記受信信号生成部の計測周期を  $Ts$  とし、前記送信装置の発光素子の制御に要する処理時間を  $d$  とし、前記受光素子の露光時間を  $\tau$  とし、前記同期ずれのパラメータを  $TI$  とし、前記最大輝度のパラメータを  $R$  とし、前記受信信号のインデクスを  $i$  とし、前記インデクス  $i$  における受信信号を  $B'(i)$  とし、

30

$d > 0$  であって、

前記インデクス  $i$  の受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号のインデクスの推定値を出力する関数  $I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau)$ 、 $I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau)$  をそれぞれ、

【数 17】

$$I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau) = \left\lfloor \frac{1}{2} + \frac{TI + Ts(i-1) - \frac{\tau}{2}}{Tf} \right\rfloor$$

$$I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau) = \left\lceil \frac{1}{2} + \frac{TI + Ts(i-1) + \frac{\tau}{2}}{Tf} \right\rceil$$

40

と定義し、インデクス  $I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau)$  の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau))$  とし、インデクス  $I^-(i, TI, T$

50

$s, T_f, \dots$ ) の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M' (I^-(i, T_I, T_s, T_f, \dots))$  とし、

時刻  $t_m, t_p, T_{mm}, T_{mp}, T_{pm}, T_{pp}$  を、

【数 18】

$$t_m = \frac{T_f}{2} + T_I + T_s(i-1) - \frac{\tau}{2}$$

$$t_p = \frac{T_f}{2} + T_I + T_s(i-1) + \frac{\tau}{2}$$

$$T_{mm} = \frac{T_f}{2} + T_f(I^- - 1) - \frac{T_f - d}{2}$$

$$T_{mp} = \frac{T_f}{2} + T_f(I^- - 1) + \frac{T_f - d}{2}$$

$$T_{pm} = \frac{T_f}{2} + T_f(I^+ - 1) - \frac{T_f - d}{2}$$

$$T_{pp} = \frac{T_f}{2} + T_f(I^+ - 1) + \frac{T_f - d}{2}$$

10

と定義し、

$T_f - d, I^- = I^+$  の場合に、 $T^-$  と  $T^+$  を、

【数 19】

$$\begin{cases} T^- = t_p - T_{mm}, & T^+ = 0, & t_m \leq T_{mm}, & t_p \leq T_{mp} \\ T^- = \tau, & T^+ = 0, & t_m > T_{mm}, & t_p \leq T_{mp} \\ T^- = T_{mp} - t_m, & T^+ = 0, & t_m > T_{mm}, & t_p > T_{mp} \end{cases}$$

20

と定義し、

$T_f - d, I^- \neq I^+$  の場合に、 $T^-$  と  $T^+$  を、

【数 20】

$$\begin{cases} T^- = T_{mp} - t_m, & T^+ = 0, & t_m \leq T_{mp}, & t_p \leq T_{pm} \\ T^- = T_{mp} - t_m, & T^+ = t_p - T_{pm}, & t_m \leq T_{mp}, & t_p > T_{pm} \\ T^- = 0, & T^+ = t_p - T_{pm}, & t_m > T_{mm}, & t_p < T_{pm} \end{cases}$$

30

と定義し、

$> T_f - d, I^- = I^+$  の場合に、 $T^-$  と  $T^+$  を、

【数 21】

$$\begin{cases} T^- = t_p - T_{mm}, & T^+ = 0, & t_m \leq T_{mm}, & t_p \leq T_{mp} \\ T^- = T_{mp} - T_{mm}, & T^+ = 0, & t_m \leq T_{mm}, & t_p > T_{mp} \\ T^- = T_{mp} - t_m, & T^+ = 0, & t_m > T_{mm}, & t_p > T_{mp} \end{cases}$$

40

と定義し、

$> T_f - d, I^- \neq I^+$  の場合に、 $T^-$  と  $T^+$  を、

【数 2 2】

$$\begin{cases} T^- = Tmp - tm, & T^+ = 0, & tm \leq Tmp, & tp \leq Tpm \\ T^- = Tmp - tm, & T^+ = tp - Tpm, & tm \leq Tmp, & tp > Tpm \\ T^- = 0, & T^+ = tp - Tpm, & tm > Tmp, & tp > Tpm \end{cases}$$

と定義した場合に、  
前記仮復号部が、

【数 2 3】

$$\hat{M}'_i = \operatorname{argmin}_{M'} \left\| \sum_{i \in \Omega} \left[ R \left\{ T^-(i, TI, Ts, Tf, \tau, d) M'(I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + T^+(i, TI, Ts, Tf, \tau, d) M'(I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right\} - B'(i) \right] \right\|_2$$

により計算した系列  $M^{\wedge \prime}_i$  で仮の復号結果の系列を更新する  
受信装置。

【請求項 7】

送信装置と可視光通信をする受信装置が行う受信方法であって、  
前記送信装置から光信号を受信して、前記光信号に対応する電気信号を出力する受光素  
子ステップと、

前記電気信号の強度を所定の時間間隔ごとに計測して、当該計測結果をインデクスごとの  
受信信号の系列として出力する受信信号生成ステップと、

前記受信信号の系列と、前記受信信号の以前の系列における同期ずれのパラメータと最大輝度の  
パラメータとを用いて仮の復号結果の系列を生成する仮復号ステップと、

前記受信信号の系列と、前記仮の復号結果の系列とを用いて、前記同期ずれのパラメータと前記最大輝度の  
パラメータとを計算する同期ステップとを含む

受信方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の受信方法であって、  
前記仮復号ステップは、  
前記受信信号のフレームのインデクスを  $i$  とし、  
インデクス  $i$  の受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号のインデクスの推定  
値を  $j^{\wedge}$  とし、

前記受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(j^{\wedge})$  とし、

前記仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  と、これに隣接するフレームの仮の復号結果  $M'(j^{\wedge} \pm 1)$  の少なくともいずれか一方を、前記受信信号の以前の系列における最大輝度のパラ  
メータと同期のずれのパラメータに応じた割合で配分することにより復号したときの信号  
を配分復号信号とし、

前記配分復号信号と前記受信信号  $B'(i)$  との差が小さくなる基準に基づいて、前記  
仮の復号結果の系列を生成する

受信方法。

【請求項 9】

請求項 7 または 8 に記載の受信方法であって、  
前記同期ステップは、  
前記受信信号のフレームのインデクスを  $i$  とし、  
インデクス  $i$  の受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号のインデクスの推定  
値を  $j^{\wedge}$  とし、

10

20

30

40

50

前記受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号を復号した仮の復号結果を  $M'(j^{\wedge})$  とし、

前記仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  と、これに隣接するフレームの仮の復号結果  $M'(j^{\wedge} \pm 1)$  の少なくともいずれか一方を、前記受信信号の以前の系列における最大輝度のパラメータと同期のずれのパラメータに応じた割合で配分することにより復号したときの信号を配分復号信号とし、

前記配分復号信号と前記受信信号  $B'(i)$  との誤差が小さくなるように、前記同期ずれのパラメータと前記最大輝度のパラメータとを更新する  
受信方法。

【請求項 10】

請求項 7 から 9 の何れかに記載された受信方法の各ステップをコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は可視光通信における受信装置、受信方法、プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、可視光源は明かりを得るための照明用途のみならず通信用途にも用いられている。これは可視光源として発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode) の普及が進んだことが寄与している。発光ダイオードは素子 1 つあたりの発光量は白熱電球や蛍光灯などの従来の可視光源には及ばないものの、その寿命や大きさおよび消費電力の面で従来の可視光源に対して優れている。発光ダイオードは上記のような特徴に加え、応答速度が非常に速いという特性を持つ。また、発光ダイオードの発光を電気的に制御することは容易である。発光ダイオードには上記のような特性があるため、近年では明かりを得るための照明用途のみならず、可視光の点滅を利用した信号伝送用途に用いるための研究開発が行われている。たとえば非特許文献 1 では発光ダイオードを用いた家庭用照明器具に信号を重畳させて通信を行うことを提案している。また、現在のところ可視光は電波法の規制の対象外であることから帯域や電力の制限がなく、帯域や電力を大きくとることができるため、このことを利用して発光ダイオードを通信専用用いることを提案している研究もある (例えば、非特許文献 2 参照)。発光ダイオードなどの可視光源を用いて行う通信を可視光通信と呼ぶ。可視光通信では受信装置の受光素子としてフォトディテクタあるいはそのアレーであるイメージセンサを用いる。フォトディテクタでは通常、信号を連続的に得ることが出来る。一方で、イメージセンサは大量のフォトディテクタからの信号を一度に取得できるが、その性質上通常は周期  $T_s$  で標本化された信号のみ取得可能である。本明細書においては、受光素子として主にイメージセンサを用いることを想定する。以下、図 1 を参照して従来の可視光通信システムについて概説する。図 1 は、従来の可視光通信システム 9000 の機能構成を示すブロック図である。図 1 に示すとおり、従来の可視光通信システム 9000 は、送信装置 8 と受信装置 9 とからなり、送信装置 8 は、変調部 81、発光部 82 を備え、受信装置 9 は、受光部 91、同期部 93、復号部 94 を備える。発光部 82 は、発光信号制御部 821 と、発光素子 822 とを備え、受光部 91 は、受光素子 911 を備え、同期部 93 は、クロック素子 931 と、シンボルタイミング再生回路 932 と、輝度推定素子 933 とを備える。

【0003】

以下、図 2 を参照して図 1 に示す可視光通信システム 9000 において使用される信号について説明する。図 2 は従来の可視光通信システム 9000 で使用される信号を例示する図であって、図 2 A は伝送信号の例、図 2 B は変調信号の例、図 2 C は処理時間  $d = 0$  の場合の電気信号の例、図 2 D は処理時間  $d = 0$  の場合の光信号の例、図 2 E は処理時間  $d = 0$  の場合の電気信号の例、図 2 F は処理時間  $d = 0$  の場合の光信号の例をそれぞれ示す。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 4 】

< 送信装置 8 : 変調部 8 1 >

送信装置 8 の変調部 8 1 は、デジタルの伝送信号  $S(i)$  を入力として (図 2 A 参照)、当該伝送信号を変調し、0 または 1 のみ (スイッチがオンかオフか) の変調信号  $M(i)$  を出力する (図 2 B 参照)。このような変調方法をオンオフ変調と呼ぶ。ここで、 $i$  は時間を示すインデクスであって伝送信号の番号を表す整数とする。変調部 8 1 は、入力された伝送信号  $S(i)$  の系列  $S(1)$ 、 $S(2)$ 、... の変調信号  $M(i)$  の系列  $M(1)$ 、 $M(2)$ 、... を生成し、当該変調信号  $M(i)$  の系列  $M(1)$ 、 $M(2)$ 、... を出力する。伝送信号  $S(i)$ 、変調信号  $M(i)$  はともに 1 ビットの情報である。

## 【 0 0 0 5 】

例えば、伝送信号の系列が  $S(1) = 0$ 、 $S(2) = 1$ 、 $S(3) = 1$ 、 $S(4) = 1$  であった場合、変調部 8 1 は変調結果として  $M(1) = 0$ 、 $M(2) = 1$ 、 $M(3) = 1$ 、 $M(4) = 1$  を出力する。

## 【 0 0 0 6 】

< 送信装置 8 : 発光部 8 2 >

発光信号制御部 8 2 1 は  $M(i)$  に従い発光素子を駆動するための電気信号  $E(t)$  を出力する。ただし、時間的に離散的な信号  $M(i)$  に対して  $E(t)$  は時間的に連続的な信号である (図 2 C 参照)。発光素子 8 2 2 は  $E(t)$  に従い発光・消灯を繰り返し光信号  $F(t)$  を出力する (図 2 D 参照)。時系列のインデクス  $i$  に相当する  $E(t)$  の出力時間はインデクス  $i$  で示される時刻を中心とする所定時間幅  $T_f$  とする。以下では  $T_f$  を点滅周期と呼ぶ。

## 【 0 0 0 7 】

具体的には、発光信号制御部 8 2 1 は、入力された変調信号  $M(i)$  が 1 である場合は、時刻  $i \times T_f - T_f / 2 + T$  (ただし  $T$  は遅延量) から所定時間  $T_f$  経過した時刻  $i \times T_f + T_f / 2 + T$  までの間で発光素子 8 2 2 に電気信号を与える。入力された変調信号  $M(i)$  が 0 である場合は、時刻  $i \times T_f - T_f / 2 + T$  から所定時間  $T_f$  ( $T - T_f$ ) 経過した時刻  $i \times T_f + T_f / 2 + T$  までの間、発光素子 8 2 2 には電気信号を与えない。なお、図 2 の例では、遅延量  $T = (-T_f / 2)$  である。発光素子 8 2 2 は発光信号制御部 8 2 1 から与えられた電気信号により発光する。これらにより、発光部 8 2 から光信号  $F(t)$  が出力される。また、発光信号制御部 8 2 1 の性能によっては発光素子 8 2 2 の制御に時間を要する場合があります。処理時間  $d$  の間発光できない場合がある。そのような場合は、入力された変調信号  $M(i)$  が 1 である場合は、時刻  $i \times T_f - T_f / 2 + d / 2 + T$  から所定時間  $T_f - d$  ( $T - T_f$ ) 経過した時刻  $i \times T_f + T_f / 2 - d / 2 + T$  までの間、発光素子 8 2 2 に電気信号を与える。入力された変調信号  $M(i)$  が 0 である場合は、時刻  $i \times T_f - T_f / 2 + d / 2 + T$  から所定時間  $T_f - d$  ( $T - T_f$ ) 経過した時刻  $i \times T_f + T_f / 2 - d / 2 + T$  までの間、発光素子 8 2 2 には電気信号を与えない (図 2 E 参照)。発光素子 8 2 2 は発光信号制御部 8 2 1 から与えられた電気信号  $E(t)$  に従って光信号  $F(t)$  を出力する (図 2 F 参照)。発光素子 8 2 2 は例えば LED とすることができる。これらの動作により、発光部 8 2 から光信号  $F(t)$  が出力される。なお、図 2 に示すように、インデクス  $i$  は所定の時間幅  $T_f$  を持つ。ただし、時間的に離散的な信号を表す場合はインデクス  $i$  の示す時間幅のある一点 (例えば中心の時刻) をやはり  $i$  によって表す。例えば離散的な信号を表す場合、インデクス  $i$  と  $i + 1$  で表される時間の差は  $T_f$  となる。また、前述したように発光素子 8 2 2 の制御に時間を要する場合があります。処理に要する時間を  $d$  とおくとインデクスあたりの発光時間は  $T_f - d$  となる。

## 【 0 0 0 8 】

< 受信装置 : 受光部 9 1 >

受光素子 9 1 1 は送信装置 8 (の発光素子 8 2 2) から出力された光信号  $F(t)$  にノイズが重畳した光信号  $F'(t)$  を受信 (受光) する。理想的には  $F(t) = F'(t)$  であるが、フォトディテクタの性能や遅延により変化する場合もあるのでここでは  $F(t)$

10

20

30

40

50

)と $F'(t)$ を分けて記述する。おおよそ $F(t+T) = F'(t)$ であることが想定される。前述したように $T$ は遅延量を表す。受光素子911は、たとえばフォトディテクタやフォトディテクタを格子状に並べたイメージセンサや高速カメラ等である。また、受光素子911の前段に光学レンズを設けてもよい。

#### 【0009】

図3を参照して従来の可視光通信システム9000における発光素子、受光素子の実現例について説明する。図3は従来の可視光通信システム9000における発光素子、受光素子を例示する図である。図3に示すように、従来の可視光通信システム9000においては、例えば発光素子822をLED素子とすることができる。また受光素子911をフォトディテクタ911-a, b, c, ...よりなるイメージセンサとして実現することができ、図3に示すように、インデクス $i$ で表される送信装置8の点滅がイメージセンサ上の領域 $k$ (図3の編み掛け部分)に結像するとする。受信装置8は領域 $k$ のすべてのフォトディテクタの出力値の合計を送信装置8からの受信信号としてとらえる。

#### 【0010】

##### <シンボルクロック同期>

通信路において情報を伝送する際には元の情報をなんらかのかたちで符号化することが一般的である。符号化された情報を構成する最小単位の信号をシンボルと呼ぶ。デジタル通信路では、送信装置から送信される符号化された情報を復号装置で正しく復号するために送信装置のシンボルのクロック(1つのシンボルを伝送する際に使用する時間幅を表す情報)を受信装置側で検出することが重要である。これを行うことを受信装置と送信装置の間でのシンボルクロック同期という。シンボルクロック同期は通信をしている間常に行われていることが望ましい。これは、一般に受信装置と送信装置の間で同じ発振器を共有する手段がないため、同期が常にずれてしまう可能性があるからである。

#### 【0011】

##### <同期部93>

同期部93は、送信装置8から送信された情報 $F(t)$ を正しく復号するために必要なパラメータ(同期ずれのパラメータ $TI$ と最大輝度のパラメータ $R$ )を推定し、出力する。具体的には、クロック素子931、シンボルタイミング再生回路932、輝度推定素子933の以下の動作により、復号に必要なパラメータ( $TI, R$ )が生成される。

#### 【0012】

##### <クロック素子931>

クロック素子931は、クロックを発生する。

#### 【0013】

##### <シンボルタイミング再生回路932>

シンボルタイミング再生回路932は、クロック素子931から取得したクロックと受光部91から得た電気信号 $E'(t)$ とを用いて、クロック素子931のクロックと送信装置8のクロックの同期ずれのパラメータ $TI$ を求めて出力する。シンボルタイミング再生回路932としては、例えば非特許文献5が知られている。非特許文献5では、入力された2つの信号の位相差を検出しフィードバック制御をかけることで位相を同期させる。2つの信号のうち片方が発振器からの入力であり、もう片方が同期させたい信号である。

#### 【0014】

##### <輝度推定素子933>

輝度推定素子933は、受光部91から得た電気信号 $E'(t)$ を用いて、最大輝度のパラメータ(最大輝度値) $R$ を推定する。

#### 【0015】

##### <復号部94>

復号部94は、受光部91から出力された電気信号 $E'(t)$ を、同期ずれのパラメータ $TI$ と最大輝度のパラメータ $R$ とを手掛かりに最小二乗法などを用いて復号し、復号結果 $M'^*(i)$ を出力する。電気信号 $E'(t)$ をなんらかのかたちで離散化することで最小二乗法をデジタル回路で行うことができる。なお、受信装置9に復調部を設け、復調

10

20

30

40

50

部が復号結果  $M'(i)$  を復調して復調結果  $S'(i)$  を出力する構成としてもよい。この場合復調部 81 と対応するように構成されている必要がある。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0016】

【非特許文献1】小峯 敏彦、田中 裕一、中川 正雄、「白色LED照明信号伝送と電力線信号伝送の融合システム」、電子情報通信学会技術研究報告、社団法人電子情報通信学会、2002年3月12日、Vol.101、No.726、pp.99-104

【非特許文献2】石田 正徳、春山 真一郎、中川 正雄、「並列可視光無線通信方式における通信速度限界の検討」、電子情報通信学会技術研究報告CS 通信方式、社団法人電子情報通信学会、2007年1月4日、Vol. 106、No. 450、pp. 37-41

10

【非特許文献3】Miyachi, S.; Komine, T.; Haruyama, S.; Nakagawa, M.; "Analysis of LED-allocation algorithm for high-speed parallel wireless optical communication system," Proc. IEEE 2006 Radio and Wireless Symposium, pp. 191 - 194.

【非特許文献4】Nagura, T.; Yamazato, T.; Katayama, M.; Yendo, T.; Fujii, T.; Okada, H.; "Improved Decoding Methods of Visible Light Communication System for ITS using LED Array and High-Speed Camera," Proc. IEEE 71st Vehicular Technology Conference 2010, pp. 1-5.

【非特許文献5】Bertrand, C.; Sehier, P.; , "A novel approach for full digital modems implementing asynchronous sampling techniques," Global Telecommunications Conference, 1996. GLOBECOM '96. 'Communications: The Key to Global Prosperity , vol.2, no. , pp.1320-1324 vol.2, 18-22 Nov 1996

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

受光素子としてフォトディテクタを用いる場合、信号を連続的に得ることが出来るので非特許文献5のようなシンボルタイミング再生回路を用いることは容易である。しかしながら、デジタル回路によってシンボルクロック同期を行うことが望まれる場合においてはある程度大きな標本化周波数が必要となる。例えば、イメージセンサを用いる場合、得られる信号は標本化された信号（離散時間信号）となる。この場合、シンボルタイミング再生回路によるシンボルクロック同期を行うために必要な周波数は本来の通信に必要な標本化周波数よりも大きくなってしまいうため、問題であった。

30

【0018】

さらに、受光素子としてイメージセンサを用いた場合、一般的にイメージセンサと後段の一般の処理装置との間のスループット（単位時間当たりのデータ伝送量）には限界があるために、画素数×標本化周波数は一定の値を上回ることができない。このため、標本化周波数を上げようとするれば、画素数を絞らざるを得なくなり、その結果一つの受信装置に設ける受光素子の数を減らさざるを得ない。一方、標本化周波数に上限がある受信装置を用いた場合、正確なシンボルクロック同期を行うためには送信機の点滅周期を大きく（点滅周波数を小さく）せざるを得ない。そこで本発明では、シンボルタイミング再生に要する標本化周波数を従来よりも小さくすることができる受信装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明の受信装置は、送信装置と可視光通信をする受信装置であって、受光素子と、受信信号生成部と、仮復号部と、同期部とを含む。

【0020】

受光素子は、送信装置から光信号を受信して、光信号に対応する電気信号を出力する。受信信号生成部は、電気信号の強度を所定の時間間隔ごとに計測して、当該計測結果をインデクスごとの受信信号の系列として出力する。仮復号部は、受信信号の系列と、受信信

50

号の以前の系列における同期ずれのパラメータと最大輝度のパラメータとを用いて仮の復号結果の系列を生成する。同期部は、受信信号の系列と、仮の復号結果の系列とを用いて、同期ずれのパラメータと最大輝度のパラメータとを更新する。

【発明の効果】

【0021】

本発明の受信装置によれば、シンボルタイミング再生に要する標本化周波数を従来よりも小さくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】従来の可視光通信システムの機能構成を示すブロック図。

10

【図2】従来の可視光通信システムで使用される信号を例示する図。

【図3】従来の可視光通信システムにおける発光素子、受光素子を例示する図。

【図4】本発明の実施例1に係る可視光通信システムの機能構成を示すブロック図。

【図5】本発明の実施例1に係る可視光通信システムの動作を示すシーケンス図。

【図6】本発明の実施例2に係る可視光通信システムの機能構成を示すブロック図。

【図7】本発明の実施例2に係る可視光通信システムの動作を示すシーケンス図。

【図8】本発明の実施例3に係る可視光通信システムの機能構成を示すブロック図。

【図9】本発明の実施例3に係る可視光通信システムの動作を示すシーケンス図。

【図10】 $T_f = T_s$ であって各露光時間が各点滅周期内に収まらない場合の受信信号の例を示す図。

20

【図11】 $T_f = T_s$ であって各露光時間が各点滅周期内に収まる場合の受信信号の例を示す図。

【図12】 $T_f / 2 < T_s < T_f$ かつ $d = 0$ の場合の受信信号の例を示す図

【図13】図12の例において $I^+$ と $I^-$ の具体例を示す図。

【図14】 $d = 0$ の場合の受信信号の例を示す図。

【図15】点滅周期と露光時間のずれにより生じる6通りの場合分けについて示す図。

【図16】時刻 $t_m$ 、 $t_p$ 、 $T_{mm}$ 、 $T_{mp}$ 、 $T_{pm}$ 、 $T_{pp}$ の定義を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、同じ機能を有する構成部には同じ番号を付し、重複説明を省略する。

30

【実施例1】

【0024】

以下、図4、図5、図10、図11を参照して実施例1の可視光通信システム1000について説明する。図4は本実施例の可視光通信システム1000の機能構成を示すブロック図である。図5は本実施例の可視光通信システム1000の動作を示すシーケンス図である。図10は $T_f = T_s$ であって各露光時間が各点滅周期内に収まらない場合の受信信号の例を示す図である。図11は $T_f = T_s$ であって各露光時間が各点滅周期内に収まる場合の受信信号の例を示す図である。

【0025】

40

図4に示すとおり、本実施例の可視光通信システム1000は、送信装置8と受信装置1とからなり、送信装置8は前述の可視光通信システム9000に含まれる送信装置8と同じものである。受信装置1は、受光部11、仮復号部12、同期部13、復号部14、記憶部15を備える。受光部11は、受光素子111、受信信号生成部112を備える。

【0026】

後述する受信信号生成部112の計測周期を $T_s$ 、受光素子111の露光時間を $t$ とし、本実施例では点滅周期 $T_f$ と計測周期 $T_s$ が等しく、かつ処理時間 $d = 0$ である場合について扱う。

【0027】

<受光部11>

50

受光素子 111 は、従来技術と同じくたとえばフォトディテクタとすることができる。また、受光素子 111 の前段に光学レンズを設けてもよい。さらに、受光素子 111 はフォトディテクタを格子状に並べたイメージセンサでもよい。受信信号生成部 112 は標本化素子、メモリ、演算装置などからなる。受光素子 111 は、送信装置 8 から光信号  $F'(t)$  を受信して、光信号  $F'(t)$  に対応する電気信号  $E'(t)$  を受信信号生成部 112 に対して出力する (S111)。

【0028】

受信信号生成部 112 は、電気信号  $E'(t)$  の強度を所定の時間間隔  $T_s = T_f$  毎に計測する (S112)。受光素子 111 が単独のフォトディテクタの場合、受信信号生成部 112 は、具体的には図 10 に示すように、時刻  $TI + iT_s - T_s/2 - \dots/2$  から  $TI + iT_s - T_s/2 + \dots/2$  までに標本化素子に蓄積された電荷を計測し、計測結果をインデクスごとの受信信号  $B'(i)$  の系列として出力する。一方、受光素子 111 がイメージセンサの場合、受信信号生成部 112 は標本化素子にたまった電荷を計測し、予め定められた範囲  $k$  内の計測結果を加算し、加算結果をインデクスごとの受信信号  $B'(i)$  の系列として出力する。

【0029】

< 仮復号部 12 >

仮復号部 12 はメモリ、演算装置などからなる。仮復号部 12 は受信信号生成部 112 から受信信号  $B'(i)$  の系列を取得し、受信信号  $B'(i)$  の以前の系列 (現系列に含まれるフレームのうち先頭フレームの受信信号の時刻のインデクスが  $i$  である場合、以前の系列は例えば  $i-1$  以前の系列) において同期部 13 で得られた同期ずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とを記憶部 15 から取得して、 $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号を復号した仮の復号結果  $M'(i)$  の系列を生成する (S12)。なお、受信信号  $B'(i)$  より以前の系列がない場合には、予め定めた初期値 (予め記憶部 15 に記憶しておく) を用いるものとする。仮復号部 12 における初期値復号方法としてピタゴラスアルゴリズムなどの最尤推定が用いられることが想定される。通常、仮復号部 12 はある程度の数  $L$  ( $L$  は正の整数) の受信信号  $B'(i)$  をまとめて復号化を行う。この時出力される仮の復号化結果  $M'(i)$  の数は  $K$  ( $K$  は正の整数) である。  $K$  は  $L$  と  $TI$  によって決まる値であり、図 11 のように各露光時間が各点滅周期内に収まる場合に限り、 $K = L$  となり、それ以外の図 10 の場合には  $K = L - 1$  となる。具体的には、仮復号部 12 は、以下の式 (1) により計算した系列  $M^{\wedge}'_i$  で、仮の復号結果  $M'$  を更新する (S12)。

【0030】

【数 1】

$$\hat{M}'_i = \arg \min_{M'} \left\| \sum_{i \in \Omega} \left[ R \left\{ \left( \frac{Tf}{2} + \frac{\tau}{2} - TI \right) M'(i-1) + \left( TI + \frac{\tau}{2} - \frac{Tf}{2} \right) M'(i) \right\} - B'(i) \right] \right\|_2$$

…(1)

【0031】

式 (1) は観測された受信信号  $B'(i)$  と同期ずれのパラメータ  $TI$  を手掛かりとして最小二乗法により系列  $M^{\wedge}'_i$  を求めることに相当する。ただし、 $\|\cdot\|_2$  は  $L_2$  ノルムを表し、 $\Omega$  は  $L$  個の連続した時間インデクスの集合である。

【0032】

< 同期部 13 >

同期部 13 はメモリ、演算装置などからなる。同期部 13 は受信信号生成部 112 から受信信号  $B'(i)$  の系列と、仮復号部 12 から仮の復号結果  $M'(i)$  の系列とを取得して、最小二乗法などを用いて、インデクスごとに同期ずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とを計算して記憶部 15 に格納し、当該  $TI$ 、 $R$  を復号部 14 に出力する (S13)。具体的には、同期部 13 は以下の式 (2) を用いて各パラメータ  $TI$ 、 $R$  を

算出する。従って、記憶部 15 には、インデクスごとに同期ずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とが記憶される。

【 0033】

【数 2】

$$\{R, TI\} = \operatorname{argmin}_{R, TI} \left\| \sum_{i \in \Omega} \left[ R \left\{ \left( \frac{Tf}{2} + \frac{\tau}{2} - TI \right) M'(i-1) + \left( TI + \frac{\tau}{2} - \frac{Tf}{2} \right) M'(i) \right\} - B'(i) \right] \right\|_2$$

…(2)

【 0034】

式 (2) では系列  $M'$  を用いて最小二乗法により  $TI$  と  $R$  を推定している。

10

【 0035】

< 復号部 14 >

復号部 14 は、同期部 13 で求めた  $TI$  と  $R$ 、および受信信号生成部 112 から取得した受信信号  $B'(i)$  の系列を用いて、受信信号  $B'(i)$  を復号した復号結果  $M'^+(i)$  を出力する (S14)。復号の方法は、仮復号部 12 と同様である。なお、復号部 14 は必須の構成要件ではない。復号部 14 を用いずに、仮復号部 12 で得た仮の復号結果  $M'(i)$  をそのまま、復号結果として出力しても良い。また、前述同様受信装置 1 に復調部を設け、復調部が復号結果  $M'^+(i)$  を復調して復調結果  $S'(i)$  を出力する構成としてもよい。この場合復調部は変調部 81 と対応するように構成されている必要がある。

20

【 0036】

本実施例の受信装置 1 によれば、シンボルタイミング再生に要する標本化周波数を従来よりも小さくすることができる。また、本実施例の受信装置 1 によれば、同じ標本化周波数の従来の受信装置を用いた場合よりも高い点滅周期の送信信号の正確なシンボルクロック同期を実現することが出来る。

【実施例 2】

【 0037】

以下、図 6、図 7、図 12、図 13 を参照して実施例 2 の可視光通信システム 2000 について説明する。図 6 は本実施例の可視光通信システム 2000 の機能構成を示すブロック図である。図 7 は本実施例の可視光通信システム 2000 の動作を示すシーケンス図である。図 12 は  $Tf/2 < Ts < Tf$  かつ  $d = 0$  の場合の受信信号の例を示す図である。図 13 は図 12 の例において  $I^+$  と  $I^-$  の具体例を示す図である。実施例 1 では、 $Tf$  と  $Ts$  が同期している ( $Tf = Ts$ ) ことを前提としていたため、送信装置の伝送信号 (送信信号) の時間のインデクスと受信装置の受信信号の時間のインデクスが同じ ( $i$ ) ものとして説明していた。しかし、実施例 2 では  $Tf$  と  $Ts$  が同期していないので、送信信号の時間のインデクスと受信信号の時間のインデクスが異なる。送信信号の時間のインデクスを  $j$ 、受信信号の時間のインデクスを  $i$  とすると、インデクス  $i$  の受信信号  $B'(i)$  は、インデクス  $j$  の送信信号  $M(j)$  に対応する発光素子の発光を受光素子で取得したものである。受信装置側で正確な  $j$  の値を知ることはできないので、受信装置では、 $I^+$  と  $I^-$  を送信信号のインデクス  $j$  の推定値として用いる。

30

40

【 0038】

図 6 に示すとおり、本実施例の可視光通信システム 2000 は、送信装置 8 と受信装置 2 とからなり、送信装置 8 は前述の送信装置 8 と同じものである。受信装置 2 は、受光部 11、仮復号部 22、同期部 23、復号部 14、記憶部 15 を備える。仮復号部 22、同期部 23 以外の各機能構成部は実施例 1 における同一番号を付した各機能構成部と同じであるから説明を割愛する。

【 0039】

本実施例では  $Tf$  と  $Ts$  が異なる場合について述べる。具体的には、 $Tf/2 < Ts < Tf$  かつ  $d = 0$  の場合について扱う。本実施例の仮復号部 22 は、実施例 1 の仮復号部 12 と同じように、受信信号生成部 112 から受信信号  $B'(i)$  の系列を取得し、受信信

50

号  $B'(i)$  の以前の系列において同期部 23 で得られた同期ずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とを記憶部 15 から取得して、仮の復号結果  $M'(i)$  の系列を生成する (S22)。なお、 $B'(i)$  より以前の系列がない場合には、予め定めた初期値 ( 予め記憶部 15 に記憶しておく ) を用いるものとする。復号方法はビタビアルゴリズム ( 参考非特許参考文献 1 ) などの最尤推定が用いられることが想定される。

( 参考非特許文献 1 ) C.M. ビショップ ( 著 ) , 元田 浩 ( 監訳 ) , 栗田 多喜夫 ( 監訳 ) , 樋口 知之 ( 監訳 ) , 松本 裕治 ( 監訳 ) , 村田 昇 ( 監訳 ) , 「パターン認識と機械学習」, 丸善出版、2012

【 0040 】

通常、仮復号部 22 はある程度数の  $K$  の  $B'(i)$  をまとめて復号化を行う。この時出力される仮の復号化結果  $M'(j^{\wedge})$  の数は  $L$  であり、これは  $Tf$  と  $Ts$  の関係及び同期ずれのパラメータ  $TI$  によって決まる。ここで、 $j^{\wedge}$  は送信信号のインデックスの推定値である。

10

仮復号部 22 は、以下の式 (3) により計算した系列  $M^{\wedge}'_i$  で仮の復号結果の系列  $M'$  を更新する (S22)。

【 0041 】

【 数 3 】

$$\hat{M}'_i = \underset{M'}{\operatorname{argmin}} \left\| \sum_{i \in \Omega} R \left\{ \left( Tf^{-}(i, TI, Ts, Tf, \tau) - \frac{Tf}{2} - TI + \frac{\tau}{2} - Ts(i-1) \right) M'(I^{-}(i, TI, Ts, Tf, \tau)) + \left( \frac{Tf}{2} + TI + \frac{\tau}{2} + Ts(i-1) - Tf^{-}(i, TI, Ts, Tf, \tau) \right) M'(I^{+}(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right\} - B'(i) \right\|_2 \dots (3)$$

20

【 0042 】

ただし、 $I^{+}(i, TI, Ts, Tf, \tau)$ 、 $I^{-}(i, TI, Ts, Tf, \tau)$  はそれぞれ送信信号のインデックスの推定値 ( $j^{\wedge}$  の値) を出力する関数であり、

【 0043 】

【 数 4 】

$$I^{-}(i, TI, Ts, Tf, \tau) = \left\lfloor \frac{1}{2} + \frac{TI + Ts(i-1) - \frac{\tau}{2}}{Tf} \right\rfloor \dots (4)$$

30

$$I^{+}(i, TI, Ts, Tf, \tau) = \left\lceil \frac{1}{2} + \frac{TI + Ts(i-1) + \frac{\tau}{2}}{Tf} \right\rceil \dots (5)$$

【 0044 】

と定義される。式 (3) の役割は式 (1) と同様であるが、 $Tf$  と  $Ts$  が非同期 ( 値が異なる ) であるため、 $i$  における  $B'(i)$  を系列  $M'$  のうちどのスロットに対応させるかを、 $i$  の値に応じて  $I^{+}$  と  $I^{-}$  によって計算するための項が追加されている。式 (4) と式 (5) で定義される  $I^{+}$ 、 $I^{-}$  の具体例を図 13 に示した。

40

【 0045 】

< 同期部 23 >

同期部 23 は受信信号  $B'(i)$  の系列と、仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  の系列とを取得して、最小二乗法などを用いて、インデックスごとに同期ずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とを計算する (S23)。具体的には、同期部 23 は以下の式 (6) を用いて  $K$  個の  $M'(j^{\wedge})$  と  $L$  個の  $B'(i)$  を用いて各パラメータ  $TI$  と  $R$  を算出する。

【 0046 】

【数 5】

$$\{R, TI\} = \arg \min_{R, TI} \left\| \sum_{i \in \Omega} \left[ R \left\{ \left( Tf^- (i, TI, Ts, Tf, \tau) - \frac{Tf}{2} - TI + \frac{\tau}{2} - Ts(i-1) \right) M' \left( I^- (i, TI, Ts, Tf, \tau) \right) \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \left( \frac{Tf}{2} + TI + \frac{\tau}{2} + Ts(i-1) - Tf^- (i, TI, Ts, Tf, \tau) \right) M' \left( I^+ (i, TI, Ts, Tf, \tau) \right) \right\} - B'(i) \right] \right\|_2 \dots (6)$$

【0047】

本実施例の受信装置 2 によれば、シンボルタイミング再生に要する標本化周波数を従来よりも小さくすることができる。また、本実施例の受信装置 2 によれば、同じ標本化周波数の従来の受信装置を用いた場合よりも高い点滅周期の送信信号の正確なシンボルクロック同期を実現することが出来る。

10

【実施例 3】

【0048】

以下、図 8、図 9、図 14、図 15、図 16 を参照して実施例 3 の可視光通信システム 3000 について説明する。図 8 は本実施例の可視光通信システム 3000 の機能構成を示すブロック図である。図 9 は本実施例の可視光通信システム 3000 の動作を示すシーケンス図である。図 14 は  $d = 0$  の場合の受信信号の例を示す図である。図 15 は点滅周期と露光時間のずれにより生じる 6 通りの場合分けについて示す図であって、図 15 (a) は  $T = Tf - d$  における 6 通りの場合分けについて示す図、図 15 (b) は  $T > Tf - d$  における 6 通りの場合分けについて示す図である。図 16 は時刻  $t_m$ 、 $t_p$ 、 $T_{mm}$ 、 $T_{mp}$ 、 $T_{pm}$ 、 $T_{pp}$  の定義を説明する図である。

20

【0049】

図 8 に示すとおり、本実施例の可視光通信システム 3000 は、送信装置 8 と受信装置 3 とからなり、送信装置 8 は前述の送信装置 8 と同じものである。受信装置 3 は、受光部 11、仮復号部 32、同期部 33、復号部 14、記憶部 15 を備える。仮復号部 32、同期部 33 以外の各機能構成部は実施例 1 における同一番号を付した各機能構成部と同じであるから説明を割愛する。

【0050】

本実施例では発光部 82 における処理の性質上、発光パタンの切り替えに有限な処理時間  $d$  がかかる場合 ( $d = 0$  の場合) について述べる。また、本実施例は、一般的な形式で説明するために仮復号部 32 及び同期部 33 について実施例 2 に基づいて記述したが、本実施例の受信装置 3 はこれに限定されることはなく、実施例 1 に基づいて記述することも可能である。受光部 11 の機能は実施例 1、2 と同様である。発光部 82 における発光の様子は図 2F に示される。 $F'(t)$  と  $B'(i)$  の関係は図 14 に示すとおりである。なお、本実施例において露光時間は  $d$  より大きいものとする。

30

【0051】

< 発光部 82 >

発光部 82 の発光信号生成部 821 は、入力された変調信号  $M(j)$  が 1 である場合は、時刻  $j \times Tf - Tf/2 + d/2 + T$  から所定時間  $Tf - d$  ( $T = Tf$ ) 経過した時刻  $j \times Tf + Tf/2 - d/2 + T$  までの間、発光素子 822 に電気信号を与える。入力された変調信号  $M(j)$  が 0 である場合は、時刻  $j \times Tf - Tf/2 + d/2 + T$  から所定時間  $Tf - d$  ( $T = Tf$ ) 経過した時刻  $j \times Tf + Tf/2 - d/2 + T$  までの間、発光素子 822 には電気信号を与えない。発光素子 822 は発光信号生成部 821 から与えられた電気信号により発光する。これらにより、発光部 82 から光信号  $F(t)$  が出力される。

40

【0052】

< 仮復号部 32 >

仮復号部 32 は受信信号生成部 112 から受信信号  $B'(i)$  の系列を取得し、受信信号  $B'(i)$  の以前の系列において同期部 33 で得られた同期ずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とを記憶部 15 から取得して、仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  の系列を

50

生成する (S32)。復号方法はビタビアルゴリズム (参考非特許文献1) などの最尤推定が用いられることが想定される。通常、仮復号部32はある程度数の数KのB'(i)をまとめて復号化を行う。この時出力される仮の復号化結果M'(j^h)の数はLであり、これはTfとTsの関係及び同期ずれのパラメータTIによって決まる。仮復号部32は、以下の式(7)により計算した系列M^h\_iで仮の復号結果の系列M'を更新する(S32)。

【0053】

【数6】

$$\hat{M}'_i = \arg \min_{M'} \left\| \sum_{i \in \Omega} \left[ R \left\{ T^-(i, TI, Ts, Tf, \tau, d) M'(I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau)) + T^+(i, TI, Ts, Tf, \tau, d) M'(I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right\} - B'(i) \right] \right\|_2 \dots (7) \quad 10$$

【0054】

ここで  $Tf - d$  ならば  $T^-$  と  $T^+$  は、

$I^- = I^+$  のとき、

【0055】

【数7】

$$\begin{cases} T^- = tp - Tmm, & T^+ = 0, & tm \leq Tmm, & tp \leq Tmp \\ T^- = \tau, & T^+ = 0, & tm > Tmm, & tp \leq Tmp \\ T^- = Tmp - tm, & T^+ = 0, & tm > Tmm, & tp > Tmp \end{cases} \dots (8) \quad 20$$

【0056】

$I^- \neq I^+$  のとき、

【0057】

【数8】

$$\begin{cases} T^- = Tmp - tm, & T^+ = 0, & tm \leq Tmp, & tp \leq Tpm \\ T^- = Tmp - tm, & T^+ = tp - Tpm, & tm \leq Tmp, & tp > Tpm \\ T^- = 0, & T^+ = tp - Tpm, & tm > Tmm, & tp < Tpm \end{cases} \dots (9) \quad 30$$

【0058】

のように書ける。式(8)、式(9)は図15(a)に示す6通りの場合に対応するようになっている。

一方で  $> Tf - d$  ならば  $T^-$  と  $T^+$  は、

$I^- = I^+$  のとき、

【0059】

【数9】

$$\begin{cases} T^- = tp - Tmm, & T^+ = 0, & tm \leq Tmm, & tp \leq Tmp \\ T^- = Tmp - Tmm, & T^+ = 0, & tm \leq Tmm, & tp > Tmp \\ T^- = Tmp - tm, & T^+ = 0, & tm > Tmm, & tp > Tmp \end{cases} \dots (10) \quad 40$$

【0060】

$I^- \neq I^+$  のとき、

【0061】

【数 1 0】

$$\begin{cases} T^- = Tmp - tm, & T^+ = 0, & tm \leq Tmp, & tp \leq Tpm \\ T^- = Tmp - tm, & T^+ = tp - Tpm, & tm \leq Tmp, & tp > Tpm \\ T^- = 0, & T^+ = tp - Tpm, & tm > Tmp, & tp > Tpm \end{cases} \dots(11)$$

【0 0 6 2】

のように書ける。

式(10)、式(11)は図15(b)に示す6通りの場合に対応するようになっている。

10

ただし、ここで

【0 0 6 3】

【数 1 1】

$$tm = \frac{Tf}{2} + TI + Ts(i-1) - \frac{\tau}{2} \dots(12)$$

$$tp = \frac{Tf}{2} + TI + Ts(i-1) + \frac{\tau}{2} \dots(13)$$

$$Tmm = \frac{Tf}{2} + Tf(I^- - 1) - \frac{Tf - d}{2} \dots(14)$$

$$Tmp = \frac{Tf}{2} + Tf(I^- - 1) + \frac{Tf - d}{2} \dots(15)$$

$$Tpm = \frac{Tf}{2} + Tf(I^+ - 1) - \frac{Tf - d}{2} \dots(16)$$

$$Tpp = \frac{Tf}{2} + Tf(I^+ - 1) + \frac{Tf - d}{2} \dots(17)$$

20

【0 0 6 4】

である。すなわち、時刻  $tm$ 、 $tp$ 、 $Tmm$ 、 $Tmp$ 、 $Tpm$ 、 $Tpp$  はそれぞれ図16に図示する時刻を示すものとする。

30

【0 0 6 5】

<同期部 3 3>

同期部 3 3 は受信信号生成部 1 1 2 から受信信号  $B'(i)$  の系列と、仮復号部 1 2 から仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  の系列とを取得して、最小二乗法などを用いて、インデクスごとに同期ずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とを計算して記憶部 1 5 に格納し、当該  $TI$ 、 $R$  を復号部 1 4 に出力する (S 3 3)。具体的には、同期部 3 3 は  $K$  個の  $M'(j^{\wedge})$  と  $L$  個の  $B'(i)$  を用いて、以下の式(18)により各パラメータ  $TI$  と  $R$  を算出する。

【0 0 6 6】

【数 1 2】

$$\{R, TI\} = \arg \min_{R, TI} \left\| \sum_{i \in \Omega} \left[ R \left\{ T^-(i, TI, Ts, Tf, \tau, d) M'(I^-(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + T^+(i, TI, Ts, Tf, \tau, d) M'(I^+(i, TI, Ts, Tf, \tau)) \right\} - B'(i) \right] \right\|_2 \dots(18)$$

40

【0 0 6 7】

本実施例の受信装置 3 によれば、シンボルタイミング再生に要する標本化周波数を従来よりも小さくすることができる。また、本実施例の受信装置 3 によれば、同じ標本化周波数の従来の受信装置を用いた場合よりも高い点滅周期の送信信号の正確なシンボルクロック同期を実現することが出来る。

50

【実施例 4】

【0068】

<送信装置が複数ある場合>

送信装置が複数（H個）ある場合でも、本発明の可視光通信システムを構成することができる。この場合は、送信装置に対応する受光部、仮復号部、同期部を複数組（計H組）用意すればよい。この場合は同期ずれのパラメータTI、及び最大輝度のパラメータRはそれぞれの送信装置に対応して計算される。送信装置が複数ある場合においても、各々の送信装置に対して独立に同期をとることが可能である。

【実施例 5】

【0069】

<離散的最適化>

同期部で行うパラメータTIの推定はあらかじめ用意したいくつかの候補の中から選ぶという形で（式2）、（式4）、（式18）などを最適化してもよい。

〔その他の変形例等〕

本発明は上述の実施形態に限定されるものではない。例えば、仮復号部12、22、32は、  
+ =

を満たす同期のずれのパラメータTIに応じた重みとしたとき、

【0070】

【数13】

$$\hat{M}'_i = \operatorname{argmin}_{M'} \left\| \sum_{i \in \Omega} [R\{\alpha M'(j \pm 1) + \beta M'(j)\} - B'(i)] \right\|_2$$

... (1')

【0071】

に基づいて復号信号の系列  $M^{\wedge}'_i$  を求める処理として一般化することができる。つまり、仮復号部は、現在のフレームの受信信号の時刻のインデックスを  $i$  とし、受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号の時刻のインデックス（発光素子の発光時刻のインデックス）の推定値を  $j^{\wedge}$  としたとき、受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置における変調信号  $M(j^{\wedge})$  を復号した仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  と当該変調信号に隣接するインデックスの仮の復号結果  $M'(j^{\wedge} + 1)$  の少なくともいずれか一方（つまり、 $M'(j^{\wedge} - 1)$  および/または  $M'(j^{\wedge} + 1)$ ）とを受信信号の以前の系列における最大輝度のパラメータ  $R$  と同期のずれのパラメータ  $TI$  とに応じた割合で配分することにより復号したときの信号  $(R\{M'(j^{\wedge} \pm 1) + M'(j^{\wedge})\})$  と受信信号  $B'(i)$  との差が小さくなる基準に基づいて、仮の復号信号の系列  $M^{\wedge}'$  を求める。ここで、実施例1のように送信装置の点滅周期  $Tf$  と受信装置の計測周期  $Ts$  が等しい場合は、 $j^{\wedge} = i$  である。実施例2や3のように、 $Tf$  と  $Ts$  が同期していない場合は、 $j^{\wedge}$  と  $i$  の値は異なる。このような場合の  $j^{\wedge}$  の値は、例えば、式(4)(5)により推定することができる。

【0072】

また、同期部13、23、33は、現在の受信信号の時刻のインデックスを  $i$  とし、受信信号  $B'(i)$  に対応する送信装置の送信信号の時刻のインデックスの推定値を  $j^{\wedge}$  としたとき、送信信号  $M(j^{\wedge})$  を復号したときの仮の復号結果  $M'(j^{\wedge})$  と隣接するインデックスの仮の復号結果の少なくともいずれか一方とを受信信号の以前の系列における最大輝度のパラメータ  $R$  と同期のずれのパラメータ  $TI$  とに応じた割合で配分することにより復号したときの信号  $(R\{M'(j^{\wedge} \pm 1) + M'(j^{\wedge})\})$  と受信信号  $B'(i)$  との誤差が小さくなるように、同期ずれのパラメータ  $R$  と最大輝度のパラメータ  $TI$  とを更新する処理であればなんでもよい。例えば、式(2)、式(6)、式(18)で用いた最小二乗誤差に限らず、絶対値誤差やデシベル（対数）誤差に基づいて、誤差が小さくなるように同期のずれのパラメータ  $TI$  と最大輝度のパラメータ  $R$  とを更新する処理であれば、同様の

10

20

30

40

50

効果を得ることができる。また、上述の各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的あるいは個別に実行されてもよい。その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能であることはいうまでもない。

【0073】

また、上述の構成をコンピュータによって実現する場合、各装置が有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。そして、このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記処理機能がコンピュータ上で実現される。

【0074】

この処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体としては、例えば、磁気記録装置、光ディスク、光磁気記録媒体、半導体メモリ等のようなものでもよい。

【0075】

また、このプログラムの流通は、例えば、そのプログラムを記録したDVD、CD-ROM等の可搬型記録媒体を販売、譲渡、貸与等することによって行う。さらに、このプログラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することにより、このプログラムを流通させる構成としてもよい。

【0076】

このようなプログラムを実行するコンピュータは、例えば、まず、可搬型記録媒体に記録されたプログラムもしくはサーバコンピュータから転送されたプログラムを、一旦、自己の記憶装置に格納する。そして、処理の実行時、このコンピュータは、自己の記録媒体に格納されたプログラムを読み取り、読み取ったプログラムに従った処理を実行する。また、このプログラムの別の実行形態として、コンピュータが可搬型記録媒体から直接プログラムを読み取り、そのプログラムに従った処理を実行することとしてもよく、さらに、このコンピュータにサーバコンピュータからプログラムが転送されるたびに、逐次、受け取ったプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。また、サーバコンピュータから、このコンピュータへのプログラムの転送は行わず、その実行指示と結果取得のみによって処理機能を実現する、いわゆるASP(Application Service Provider)型のサービスによって、上述の処理を実行する構成としてもよい。なお、本形態におけるプログラムには、電子計算機による処理の用に供する情報であってプログラムに準ずるもの(コンピュータに対する直接の指令ではないがコンピュータの処理を規定する性質を有するデータ等)を含むものとする。

【0077】

また、この形態では、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させることにより、本装置を構成することとしたが、これらの処理内容の少なくとも一部をハードウェア的に実現することとしてもよい。

10

20

30



【 図 5 】

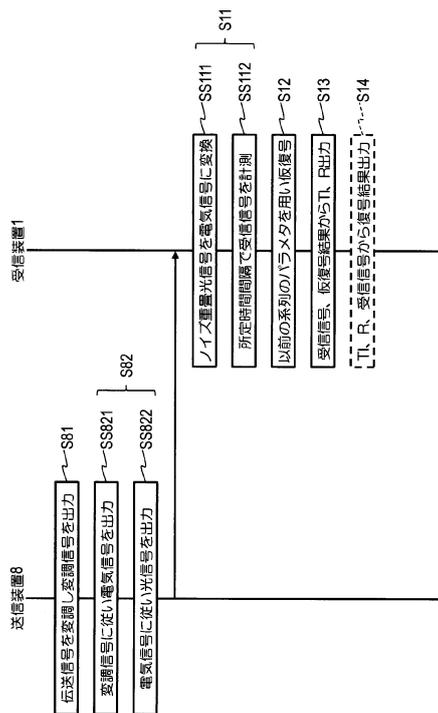


図5

【 図 6 】

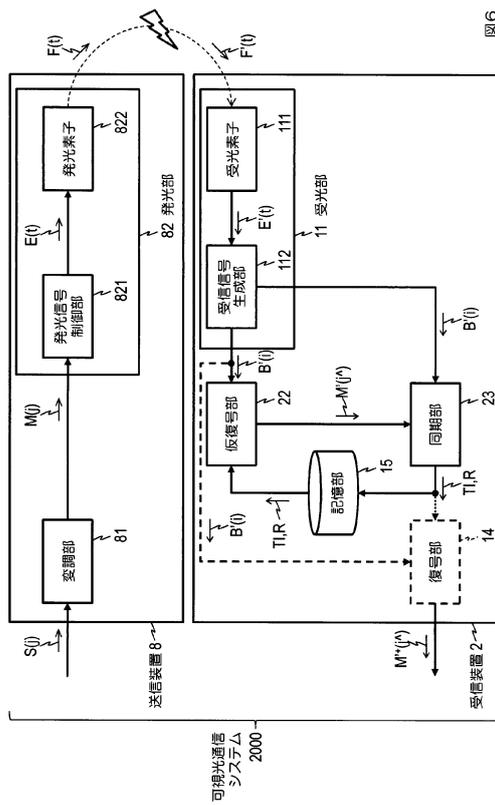


図6

【 図 7 】

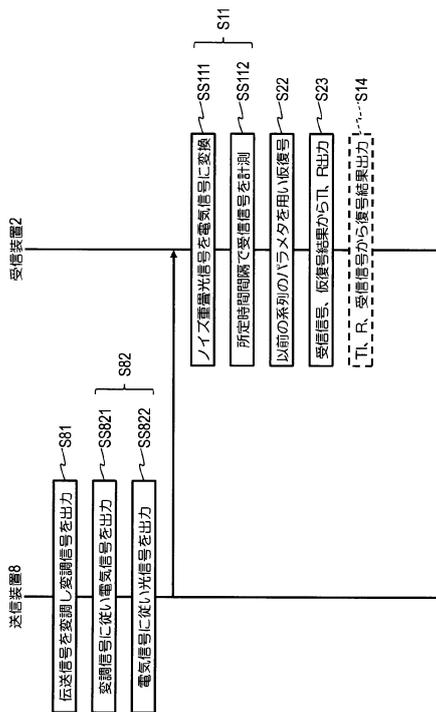


図7

【 図 8 】

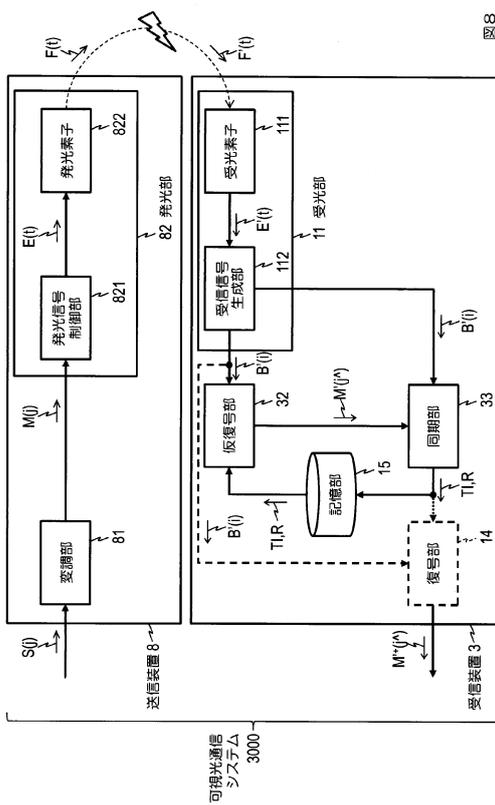


図8

【 図 9 】

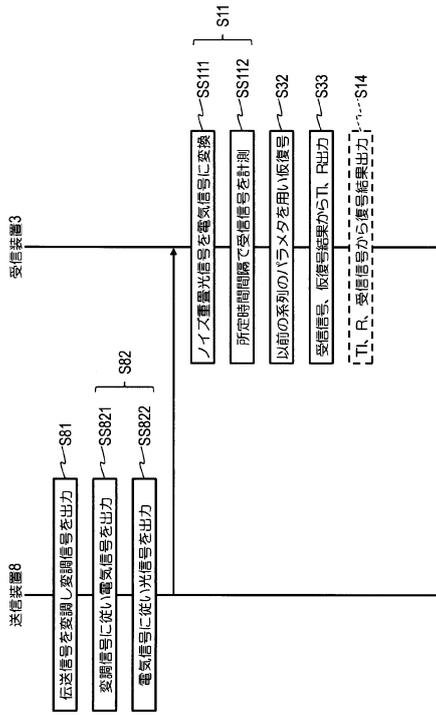


図9

【 図 10 】

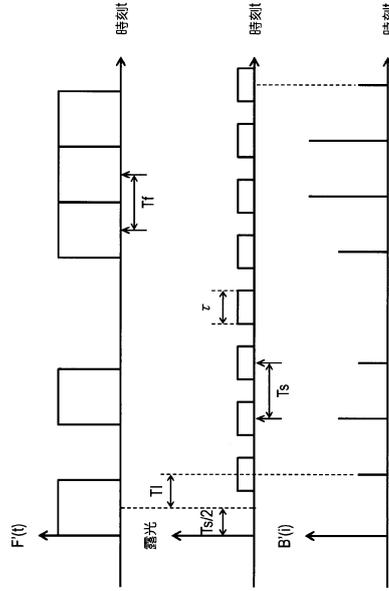


図10

【 図 1 1 】

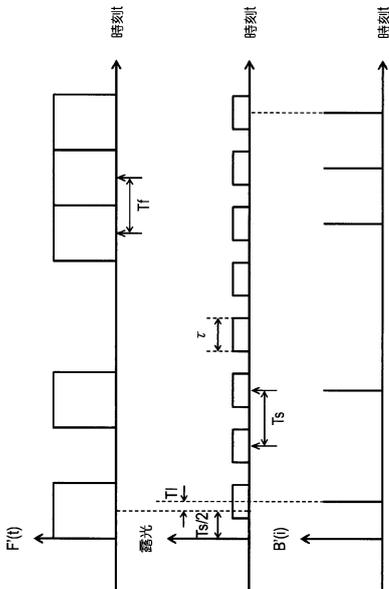


図11

【 図 1 2 】

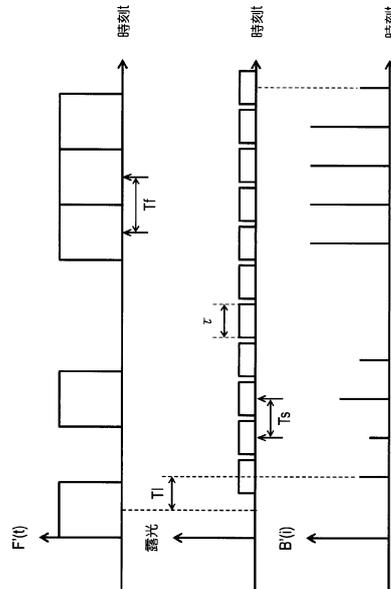


図12

【図13】

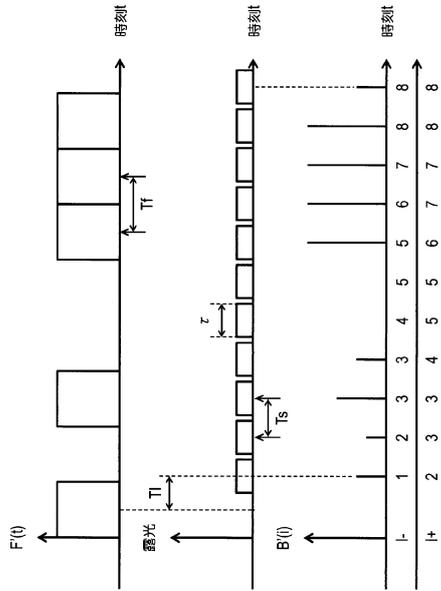


図13

【図14】

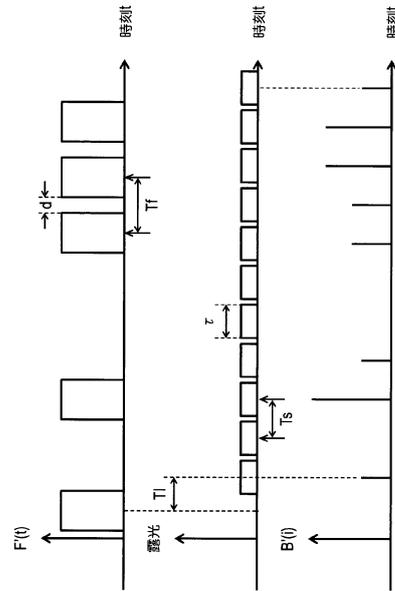


図14

【図15】

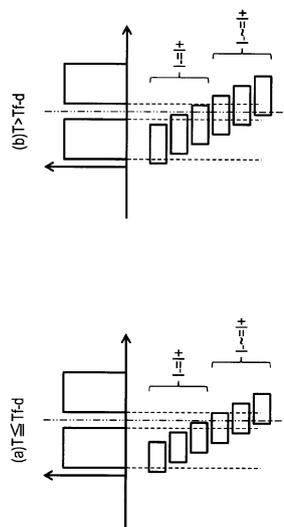


図15

【図16】

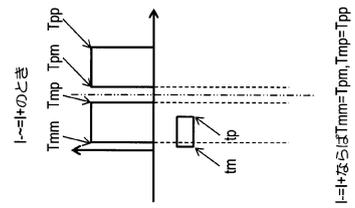


図16

## フロントページの続き

- (72)発明者 守谷 健弘  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 ガブリエル パブロ ナバ  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 川口 貴裕

- (56)参考文献 特開平09-233570(JP,A)  
特開2009-294876(JP,A)  
特開2008-219773(JP,A)  
特開2009-044464(JP,A)  
特開2009-088704(JP,A)  
特開2010-004245(JP,A)  
Wei Mao and Joseph M. Kahn, Free-Space Heterochronous Imaging Reception of Multiple Optical Signals, IEEE Transactions on Communications, 2004年 2月, Vol. 52, No.2, p.269-279

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |       |   |       |
|------|-------|---|-------|
| H04B | 10/00 | - | 10/90 |
| H04J | 14/00 | - | 14/08 |