

Литература

1. Дранев Ю. Я. О риск-нейтральном подходе ценообразования реальных опционов // Корпоративные финансы. 2010. No 1 (13). – С. 62–73.
2. Жмакова О. Ю. Инвестиционная привлекательность энергетической отрасли. – Москва: Экономика, 2014. – С. 145.
3. Зданович И. В. Развитие энергетического комплекса в Российской Федерации: проблемы, перспективы развития, инвестиционный климат // Экономика. 2014. № 2. – С. 4-5.
4. Каримова А. И. Развитие альтернативных источников энергии. – Челябинск: Граната-пресс, 2013. – С. 230.
5. Одинец О. Р. Инвестиции в развитие ТЭК: проблемы и перспективы развития. – Екатеринбург: Стимул, 2011. – С. 312.
6. James O. Organizational-economic mechanism of technical re-equipment of electric power industry: Monograph. San Francisco, Status. 2012. 159 S.
7. Messmer A. the Development of future energy. USA, Boston, rainbow, 2013. 213 S.
8. Zosimus Century the Development of alternative energy sources. Canada, Ottawa, Albatros, 2013.
9. Revis R. development of the fuel and energy complex. USA, San Francisco. 2013.
10. Schmidt P. A. Investitionsattraktivität der Energiewirtschaft. Deutschland, Berlin. Paradigma. 2014.

References

1. Tanev Y. Y. On the risk - neutral pricing approach of real options. // Corporate Finance. 2010. No 1 (13). С. 62-73.
2. Zhmakova O. Yu Investment attractiveness of the energy sector. Moscow: Economy, 2014. S. 145.
3. Zdanovich I. C. energy Development in the Russian Federation: problems and prospects of development of the investment climate. //The economy. 2014. No. 2. S. 4-5.
4. Karimov A. I. Development of alternative energy sources. Chelyabinsk, "Granada press, 2013. S. 230.
5. Odinets O. R. Investment in the development of the energy sector: problems and prospects. Yekaterinburg, "Stimulus", 2011. S. 312.
6. James O. Organizational-economic mechanism of technical re-equipment of electric power industry: Monograph. San Francisco, Status. 2012. 159 S.
7. Messmer A. the Development of future energy. USA, Boston, rainbow, 2013. 213 S.
8. Zosimus Century the Development of alternative energy sources. Canada, Ottawa, Albatros, 2013.
9. Revis R. development of the fuel and energy complex. USA, San Francisco. 2013.
10. Schmidt, P. A. Investitionsattraktivität der Energiewirtschaft. Deutschland, Berlin. Paradigma. 2014.

Чжэн Жуй – кандидат экономических наук, Сианьский нефтяной университет, г. Сиань, КНР, e-mail: zr6512065@yandex.ru

Zheng Rui – Doctor of Economics, Xi'an Shiyou University, Xi'an, China.

УДК 535

DOI 10.18101/2306-753X-2015-2-68-79

© **Сюй Цзюаньцзюань**
Xu Juanjuan 徐娟娟

Исследование методов «слепого» разделения сигнала Research on Blind Separation for the LED Optical Signal

The paper research the problem for multi-path effect arising from the inter-symbol interference on LED visible light communication Put forward a blind source separation method and use it to process the mixed-signal in the receiver of visible light communication. An algorithm based on the forward filter for the convolutive mixed source signals is proposed and use it to separate double convolutive mixed source signal, reached the purposes of suppressing inter-symbol interference.

Key words: LED visible light, inter-symbol interference, blind separation, China.

LED光信号盲分离研究

徐娟娟

摘要: 本文对 LED 可见光通信中存在的多径效应产生的码间干扰问题, 提出了用盲信号分离的方法对可见光通信接收端检测到的混合信号进行分离, 用基于前向滤波器的卷积混合分离方法, 对两个 LED 发射光源和两个接收机输出混合光信号分离, 达到了抑制码间干扰的目的。

关键词: LED 光通信; 码间干扰; 盲分离。

引言

在室内LED可见光通信系统中, LED光源具有较大的发射功率和宽广的辐射角, 光线分布在整个房间, 不同的光源与接收机之间具有不同的光路径。由于存在多径效应到达接收机的信号存在时延, 产生码间干扰 (ISI), 导致了系统传输性能的恶化。码间干扰克服技术是LED可见光无线通信的关键技术之一, 如何降低多径传播引起的码间干扰 (ISI), 提高通信系统传输数据的可靠性对实现LED光通信有重要意义。

目前LED可见光通信中, 如何消除不同光路径引起的码间干扰问题, 已有研究方法主要有两种: 第一种是将OOK调制方式中的 NRZ (non-return to zero) 码换为 RZ (return to zero), 如果采用 OOK_RZ 编码方式, 相邻脉冲之间具有一定的“保护间隔”(码元周期与脉冲长度只差), 只要延迟小于“保护间隔”就不会产生 ISI, 但这种方法降低ISI的能力是十分有限, 且系统所需的传输带宽远远增大。第二种是采用光OFDM (正交频分复用技术) 方式, OFDM具有很强的抗多径能力。在LED可见光通信系统中, 首先要对信源电信号进行OFDM编码, 然后加一直流偏置, 通过白光LED调制为光信号发射出去。一方面将串行的高速数据并行地调制在多个正交的子载波上, 降低了码速率, 减少ISI的影响, 另一方面在每个OFDM符号之间加入保护间隔, 消除残留的ISI。

关于LED光通信码间干扰克服技术的研究都处在探索研究阶段, 已有的研究还只是考虑从改变调制和编码方式入手, 从电学角度出发分析解决。LED光通信中接收端接收到的信号是经过不同光路径到达得到的混合光信号 (主径光信号和多径信号混合光信号), 光信号在信道中如何传输未知, 传输的源信号也未知。所以本文提出了用盲信号分离的方法对LED光通信接收端的混合光信号进行分离, 得到各路原始光传输信号, 消除多径信号引起码间干扰, 降低系统的误码率, 从而提高LED光通信的可靠性。

1、基于前向滤波器的卷积混合盲分离算法

与卷积混合的盲分离相比, 瞬时混合的盲分离是一个相对简单的问题, 也是人们研究比较多的问题, 很多瞬时混合盲分离的算法被提出来。但在一些现实环境中, 卷积混合方式更能很好的描述实际工作状态。因为信号的传播总是存在一定的时间延迟, 而且不同的传感器和不同的信号源之间的传递通道也可能不同, 以及环境存在的反射干扰等影响, 使得接收到的混合信号不再是各个源信号之间简单的线性叠加。本文研究的LED光通信接收端光电探测器探测到的光信号不仅有经直射路径到达的, 还有部分信号是经过墙面、物体等反射后到达的, 这样就会有多径效应, 符合卷积混合模型。

卷积盲分离算法有时域和频域两种实现途径。由于时域卷积混合模型较复杂, 直接用时域模型来分析处理卷积混合信号会更加复杂。为此, 本文将对时域卷积混合模型进行等价简化处理。用基于前向滤波器的分离算法对LED光通信接收端的混合光信号进行分离。

1.1 前向分离模型的提出

对于卷积混合的盲信号分离系统有两种不同的结构：前向分离系统结构和后向分离系统结构。本文讨论采用前向分离系统，得出相应分离算法。

于两个源信号卷积混合的情况，其时域卷积混合模型可以表示为：

$$x_1(t) = \sum_{i=0}^{N_1} a(i)s_1(t-i) + \sum_{i=0}^{N_2} b(i)s_2(t-i) \tag{1}$$

$$x_2(t) = \sum_{i=0}^{N_3} c(i)s_1(t-i) + \sum_{i=0}^{N_4} d(i)s_2(t-i) \tag{2}$$

其中 $a(i)$ 、 $b(i)$ 、 $c(i)$ 、 $d(i)$ 是传输源信号的混合滤波器通道的系统参数。将式(1)、式(2)进行Z变换得到：

$$X_1(z) = H_{11}(z)S_1(z) + H_{12}(z)S_2(z) \tag{3}$$

$$X_2(z) = H_{21}(z)S_1(z) + H_{22}(z)S_2(z) \tag{4}$$

其中 H_{11} 、 H_{12} 、 H_{21} 、 H_{22} 分别为系统参数 $a(i)$ 、 $b(i)$ 、 $c(i)$ 、 $d(i)$ 的Z变换、
 令 $S'_1(z) = H_{11}(z)S_1(z)$ 、 $S'_2(z) = H_{22}(z)S_2(z)$ 、 $W_{12}(z) = H_{12}(z)/H_{22}(z)$ 、
 $W_{21}(z) = H_{21}(z)/H_{11}(z)$ ，则式(3)、式(4)就可以变为

$$X_1(z) = S'_1(z) + W_{12}(z)S'_2(z) \tag{5}$$

$$X_2(z) = W_{21}(z)S'_1(z) + S'_2(z) \tag{6}$$

再令 $s'_1(t) = Z^{-1}[S'_1(z)]$ ， $s'_2(t) = Z^{-1}[S'_2(z)]$ ，称 $s'_1(t)$ 、 $s'_2(t)$ 为等价源信号，它们保留了源信号的主要特征，是被滤波的源信号。等价源信号与源信号只是在幅度上是不同的，可以认为是源信号的估计。这里，用两个因果FIR滤波器来近似 $W_{12}(z)$ 、 $W_{21}(z)$ 。

由(5)、(6)式，可以得到两个等价源信号和观测信号的关系为：

$$x_1(t) = s'_1(t) + \sum_{i=0}^{n_1} a(i)s'_2(t-i) \tag{7}$$

$$x_2(t) = s'_2(t) + \sum_{i=0}^{n_1} b(i)s'_1(t-i) \tag{8}$$

其中 $a(i) = Z^{-1}[W_{12}(z)]$ ， $b(i) = Z^{-1}[W_{21}(z)]$ 。

令 $c(i) = Z^{-1}[\hat{W}_{12}(z)]$ ， $d(i) = Z^{-1}[\hat{W}_{21}(z)]$ 可以得到分离系统输入输出之间的关系式为：

$$y_1(t) = x_1(t) - \sum_{i=0}^{n_1} c(i)x_2(t-i) \tag{9}$$

$$y_2(t) = x_2(t) - \sum_{i=0}^{n_2} d(i)x_1(t-i) \quad (10)$$

将式 (7)、式 (8) 代入 (9)、(10) 两式, 并进行Z变换得到:

$$Y_1(z) = [1 - \hat{W}_{12}(z)]S'_1(z) + [W_{12}(z) - \hat{W}_{21}(z)]S'_2(z) \quad (11)$$

$$Y_2(z) = [1 - \hat{W}_{21}(z)]S'_1(z) + [1 - \hat{W}_{21}(z)W_{21}(z)]S'_2(z) \quad (12)$$

式(11)、式(12)代表了分离算法的数学模型。由分离算法的数学模型可以得到整个分离系统的结构模型, 如图1所示。

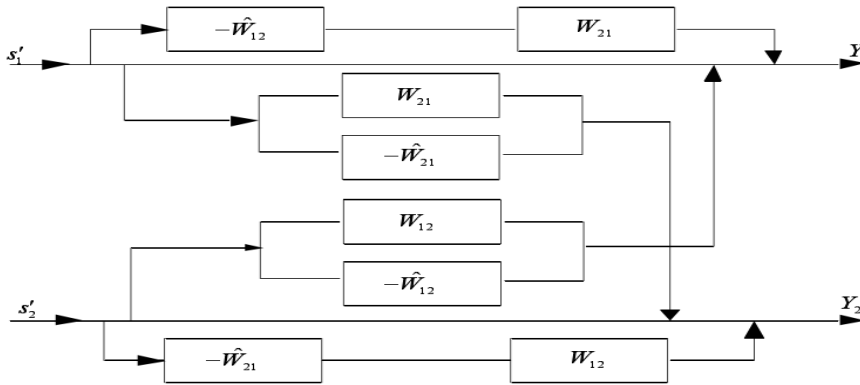


图1分离系统结构图

1.2 算法的原理及实现

由式 (11) 和式 (12) 我们可以看出: 如果分离系统的输出 $Y_1(z)$ 、 $Y_2(z)$ 仅含有 $S'_1(z)$ 或 $S'_2(z)$ 项, 就说明分离信号和源信号相等, 这样就达到了卷积混合盲信号分离的目的。因为混合和分离滤波器 $W_{12}(z)$ 、 $W_{21}(z)$ 、 $\hat{W}_{12}(z)$ 、 $\hat{W}_{21}(z)$ 均为因果 FIR 滤波器, 所以 $\hat{W}_{12}(z)W_{21}(z) \neq 1$, $\hat{W}_{21}(z)W_{12}(z) \neq 1$ 。如果源信号是可分离的, 则只可能是:

$$[W_{12}(z) - \hat{W}_{12}(z)]S'_2(z) = 0 \quad (13)$$

$$[W_{21}(z) - \hat{W}_{21}(z)]S'_1(z) = 0 \quad (14)$$

只要 $W_{12}(z) = \hat{W}_{12}(z)$, $W_{21}(z) = \hat{W}_{21}(z)$, 就一定能达到卷积混合信号分离的目的。这时, 分离系统的输出信号为:

$$Y_1(z) = [1 - \hat{W}_{12}(z)\hat{W}_{21}(z)]S'_1(z) \quad (15)$$

$$Y_2(z) = [1 - \hat{W}_{21}(z)\hat{W}_{12}(z)]S'_2(z) \quad (16)$$

由上面的分析可知: 当分离滤波器等于或近似等于混合滤波器时(即 $W_{12}(z) = \hat{W}_{12}(z)$, $W_{21}(z) = \hat{W}_{21}(z)$), 就实现了卷积混合信号的分离。可以通过理论证明: 当输出信号满足一定的关系时, 就能达到实现信号分离的条件(即 $W_{12}(z) = \hat{W}_{12}(z)$,

$W_{21}(z) = \hat{W}_{21}(z)$)。多数算法就是在寻求输出信号的某种关系，使得实现信号分离的条件能够满足。文献[6]证明了：当输出信号及其各阶延时信号间互不相关时，即

$$R_{y_1 y_2}(\tau) = 0, \quad \forall \tau \in (-\infty, \infty) \tag{17}$$

(其中， $R_{y_1 y_2}(\cdot)$ 是 y_1, y_2 的互相关函数)，就能达到实现信号分离的条件。对于 N_1 、 N_2 阶数的分离滤波器模型，则有效阶数延时的互相关函数为：

$$R_{y_1 y_2}(\tau) = 0, \quad \forall \tau \in (-N_1, N_2) \tag{18}$$

其中 N_1, N_2 是模型的阶数。由于互相关函数是非对称的，则 (18) 式成立时，必有 (17) 式成立。(9)、(10) 式经过变换后得：

$$x_1(t) = y_1(t) + \sum_{i=0}^{N_1} c(i)x_2(t-i) \tag{19}$$

$$x_2(t) = y_2(t) + \sum_{i=0}^{N_2} d(i)x_2(t-i) \tag{20}$$

将 (19) 式、(20) 式代入 (9) 式、(10) 式得：

$$y_1(t) = x_1(t) - \sum_{i=0}^{N_1} c(i) \sum_{j=0}^{N_2} d(j)x_1(t-i-j) - \sum_{i=0}^{N_1} c(i)y_2(t-i) \tag{21}$$

$$y_2(t) = x_2(t) - \sum_{i=0}^{N_2} d(i) \sum_{j=0}^{N_1} c(j)x_2(t-i-j) - \sum_{i=0}^{N_2} d(i)y_1(t-i) \tag{22}$$

令 $w(k) = \delta(k) - \sum_{i=0}^{N_1} c(i)d(k-i), k = 0, 1, \dots, N_1 + N_2$ ，其中， $\delta(\cdot)$ 是冲激函数，则

(21) 式、(22) 式可表示为：

$$y_1(t) = \sum_{k=0}^{N_1+N_2} w(k)x_1(t-k) - \sum_{i=0}^{N_1} c(i)y_2(t-i) \tag{23}$$

$$y_2(t) = \sum_{j=0}^{N_1+N_2} \mu(k)x_2(t-k) - \sum_{j=0}^{N_2} d(i)y_1(t-j) \tag{24}$$

当 $E\{[y_1(t)]^2\}$ 取最小值时， $E\{[y_1(t)]^2\}$ 对滤波器系数 $c(i)$ 的导数必为零，即

$$\begin{cases} \frac{\partial (E\{[y_1(t)]^2\})}{\partial (c(i))} = 2E\{y_1(t)y_2(t-i)\} = 0 \\ \forall i \in [0, N_1] \end{cases} \tag{25}$$

同理可得：

$$\begin{cases} \frac{\partial \left(E \left\{ [y_2(t)]^2 \right\} \right)}{\partial (d(j))} = 2E \{ y_2(t) y_1(t-j) \} = 0 \\ \forall j \in [0, N_2] \end{cases} \quad (26)$$

综合 (25)、(26) 式, 由正交性定理可知, 这两个输出信号及其延时信号间是相互正交的, 即

$$y_1(t) \perp y_2(t-\tau), \quad \forall \tau \in [-N_1, N_2] \quad (27)$$

由于源信号是零均值的, 相互正交与互不相关是等价的。故当 $E \{ [y_1(t)]^2 \}$ 和 $E \{ [y_2(t)]^2 \}$ 取最小值时, 可以得到:

$$R_{y_1 y_2}(\tau) = E [y_1(t) y_2(t-\tau)] = 0, \quad \forall \tau \in [-N_1, N_2] \quad (28)$$

(28) 式等价于 (27) 式。所以, 当 (27) 式成立时, 则 (28) 式成立。即输出信号及其各阶延时信号间互不相关。由此可以得出: 当 $E \{ [y_1(t)]^2 \}$ 和 $E \{ [y_2(t)]^2 \}$ 同时取最小值时, 输出信号及其各阶延时信号间是互不相关的, 即达到了实现信号分离的条件。通过上面的理论分析, 得到下面的分离准则函数:

$$J = \begin{cases} J_1 = \min_{c(i)} \left(E \{ [y_1(t)]^2 \} \right) \\ J_2 = \min_{d(j)} \left(E \{ [y_2(t)]^2 \} \right) \\ i = 1, \dots, N_1; j = 1, \dots, N_2 \end{cases} \quad (29)$$

当 (29) 式成立时, 分离系统的输出信号就是源信号的估计。将 (23) 式、(24) 式分别代入 (25) 式、(26) 式得:

$$E \left\{ \left[\sum_{k=0}^{N_1+N_2} w(k) x_1(t-k) - \sum_{i=0}^{N_1} c(i) y_2(t-i) \right] y_2(t-i) \right\} = 0 \quad (30)$$

$$E \left\{ \left[\sum_{k=0}^{N_1+N_2} \mu(k) x_2(t-k) - \sum_{j=0}^{N_2} d(j) y_1(t-j) \right] y_1(t-j) \right\} = 0 \quad (31)$$

这就是著名的 Wiener-Hopf 方程 (差分方程), 它定义了最优滤波器系数必须满足的条件。由此可知, 当设计的分离滤波器达到最优化 Wiener 滤波器时, 便实现了卷积混合信号的分离。本文用标准的 LMS 算法来解 Wiener-Hopf 方程, 使分离准则函数 J 达到最小值, 从而实现了卷积混合信号的分离。将 (9) 式、(10) 式代入目标函数 (29), 求对应于滤波器系数的偏导数, 并用各自的瞬时值代替数学期望值得:

$$\begin{cases} \Delta c(i) = \frac{\partial J_1}{\partial c(i)} = 2y_1(t)x_2(t-i), i = 0, \dots, N_1 \\ \Delta d(i) = \frac{\partial J_2}{\partial d(i)} = 2y_2(t)x_1(t-j), j = 0, \dots, N_2 \end{cases} \quad (32)$$

令 $W_1 = [c(1), \dots, c(N_1)]$ 、 $W_2 = [d(1), \dots, d(N_2)]$ 、 $X_1(t) = [x_1(t), \dots, x_1(t - N_2)]$ 、 $X_2(t) = [x_2(t), \dots, x_2(t - N_1)]$ ，则可以得到：

$$W_2(t) = W_2(t-1) + \mu_2 y_2(t-1) [X_1(t-1)] \quad (33)$$

$$W_1(t) = W_1(t-1) + \mu_1 y_1(t-1) [X_2(t-1)] \quad (34)$$

其中 μ_1 、 μ_2 是步长， $W_1(t)$ 、 $W_2(t)$ 为 W_1 、 W_2 在 t 时刻的瞬时值。

综上所述，算法的实现过程如下：

- 1、初始化，给 $W_1(0)$ 、 $W_2(0)$ 、 μ_1 、 μ_2 、赋初值；
- 2、更新滤波器系数，将初始值代入 (33)、(34) 两式得到新的滤波器系数 $W_1(t)$ 、 $W_2(t)$ ；
- 3、去相关，将新的滤波器系数 $W_1(t)$ 、 $W_2(t)$ 代入 (9) 式、(10) 式得到分离输出信号。

2、混合光信号分离仿真

图2给出了LED光通信的整个流程，首先把二进制输入信号经OOK调制，由LED灯发射出去，经过室内信道，被接收机的光电探测机检测，得到混合信号 $X(t)$ 。对接收端的混合信号 $X(t)$ 用盲信号处理方法对其进行分离。首先建立室内有发射机和接收机的房间模型，接下来用上面提出的算法的进行仿真及分析。

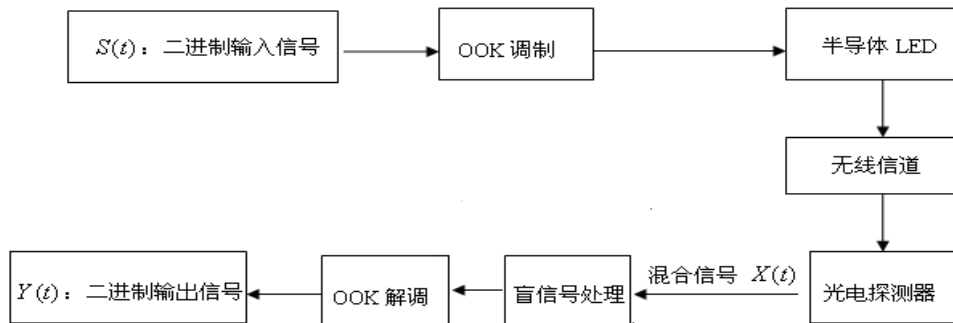


图2 LED可见光通信框图

2.1、仿真环境的建立

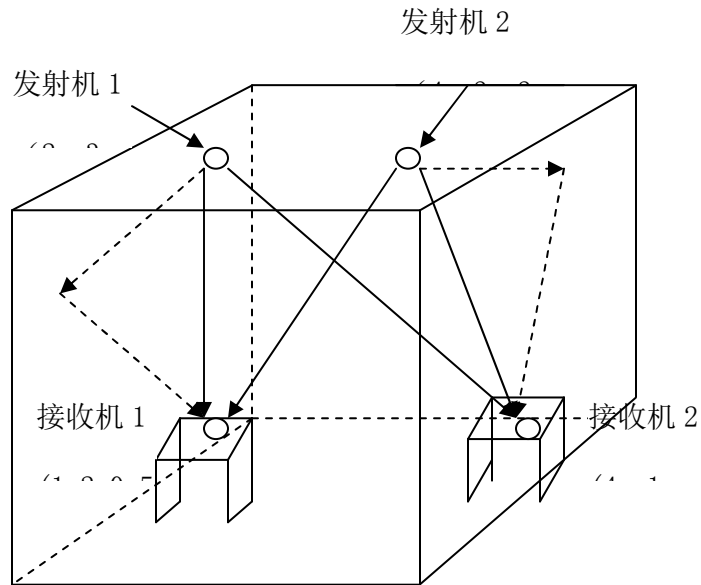


图 3 光源和接收机示意图

仿真环境如图3所示，房间的长宽高为 $6m \times 6m \times 3m$ ，两个LED灯安装在天花板上，同时用来照明和通信，接收机放在桌子上，桌子高为 $0.5m$ 。仿真参数见表1。

表1 仿真参数

仿真参数	仿真参数值
光调制方式	IM-DD
信号调制方式	OOK
数据速率	100Mbps
$L \times W \times H(m)$	$6 \times 6 \times 3$
接收机FOV/(度)	60
PD面积/ cm^2	1
光滤波器增益	1
光电转换效率/ $(A \cdot W^{-1})$	0.53

2.2、计算机仿真

设 $S_1(t)$ ， $S_2(t)$ 是不同的二进制输入信号，用OOK方式进行调制后，经过LED灯调制转换成光信号发射出去，接收机的光电探测器探测到是来自两个LED灯发射的经不同路径到达接收端的混合信号，光信号在信道中如何传输未知。在接收端我们得到混合光信号 $X_1(t)$ ， $X_2(t)$ 。

$$\begin{pmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \otimes \begin{pmatrix} S_1(t) \\ S_2(t) \end{pmatrix} + N(t) \quad (35)$$

其中 $N(t)$ 为加性高斯白噪声。下面我们用前面提出的基于前向滤波器的方法进行仿真。

首先把式 (35) 时域卷积混合模型转换到Z域, 选用混合系统模型为

$$H(z) = \begin{bmatrix} 1.87z^{-1} + 0.2z^{-2} + 0.016z^{-3} & 0.62z^{-1} + 0.03z^{-2} + 0.002z^{-3} \\ 0.53z^{-1} + 0.03z^{-2} + 0.001z^{-2} & 1.64z^{-1} + 0.22z^{-2} + 0.011z^{-3} \end{bmatrix},$$

算法的实现过程如下:

- 1、初始化, $W_1(0)=0$ 、 $W_2(0)=0$ 、 $\mu_1=0.001$ 、 $\mu_2=0.001$;
- 2、更新滤波器系数, 将初始值代入 (33)、(34) 两式得到新的滤波器系数 $W_1(t)$ 、 $W_2(t)$;
- 3、去相关, 将新的滤波器系数 $W_1(t)$ 、 $W_2(t)$ 代入 (9) 式、(10) 式得到分离输出信号。

仿真结果如图3、图4、图5。

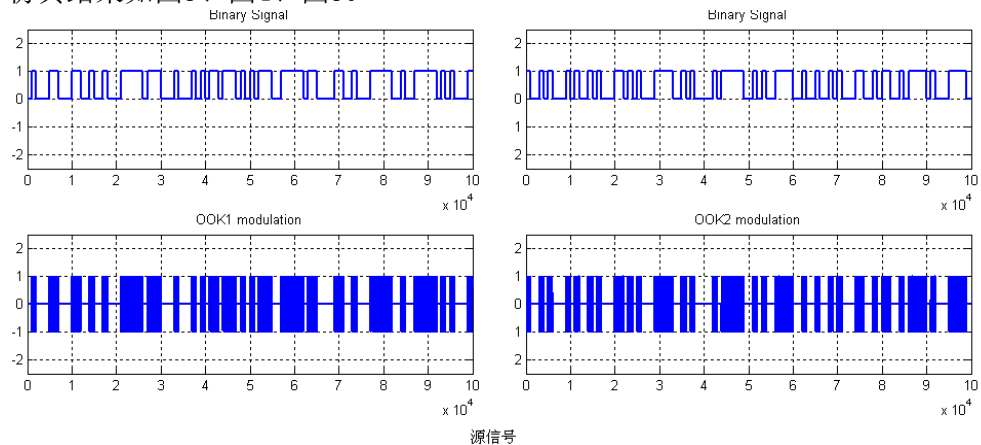


图3 源信号

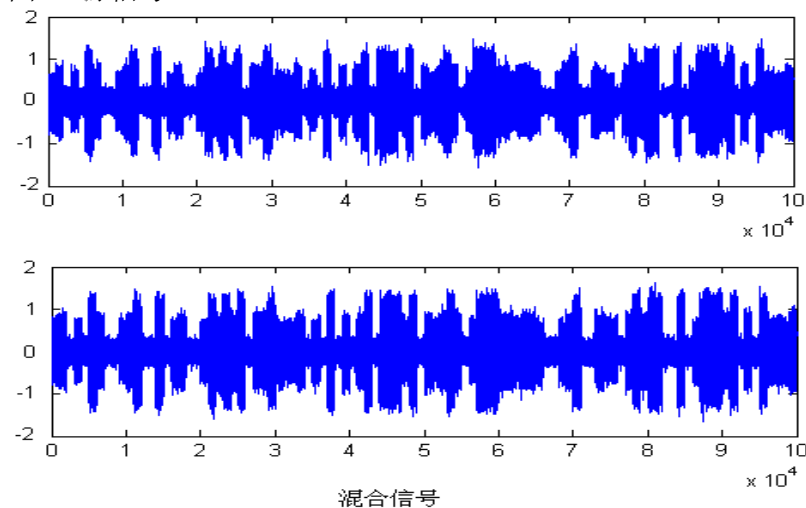


图4 混合信号

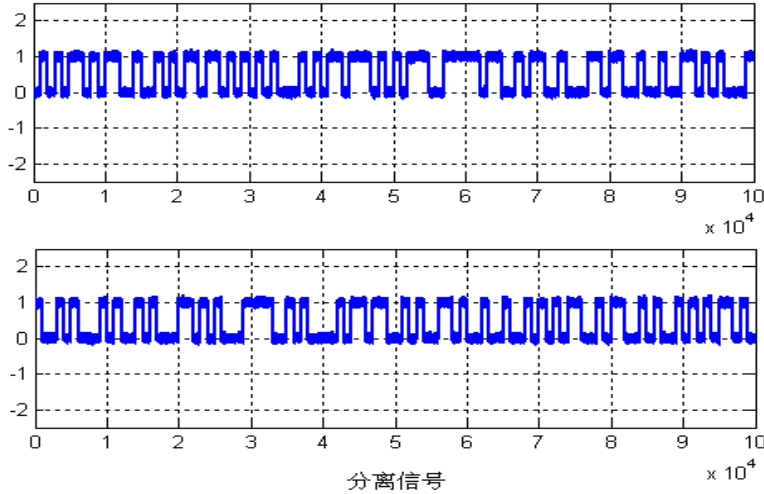


图5 分离信号图

2.3、仿真结果分析

1、从相似系数进行分离评价：

为了定量评价分离效果，采用分离信号和源信号的相似系数 ζ_{ij} 作为分离的性能指标，其中：

$$\zeta_{ij} = \zeta(y_i, s_j) = \left| \sum_{t=1}^M y_i(t) s_j(t) \right| / \sqrt{\sum_{t=1}^M y_i^2(t) \sum_{t=1}^M s_j^2(t)} \quad (36)$$

当

$$y_i = c s_j$$

c 为常数时 $\zeta_{ij} = 1$ ，即允许盲源分离结果在幅度上存在差异；当 y_i 与 s_j 相互独立时， $\zeta_{ij} = 0$ 。也就是说，由相似系数构成的相似洗漱矩阵每行每列都有且仅有一个元素接近于1，其它元素都接近于0，则可以认为算法分离的效果较为理想。

本文算法的相似系数 ζ 为：
$$\zeta = \begin{bmatrix} 0.9995 & 0.0104 \\ 0.0318 & 0.9992 \end{bmatrix}$$
，从图和分离的相似系数可以看出本文算法对光信号的盲分离非常有效。

2、从误码率和信噪比进行评价：

下面从系统信噪比和误码率出发看一下盲信号分离算法对光信号的分离效果。

首先介绍信噪比的计算方法。在OOK调制方式中，系统误码率BER和信噪比满足一下关系：

$$BER = Q(\sqrt{SNR}) \quad (37)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-y^2/2} dy$$

其中函数 Q ，LED瞬时发光功率不可能为负值，所以LED端输入电信号为非负，其值可以表示为

$$X(t) = P_t(1 + A_m \sin \omega t) + P_{amb} P_r \quad (38)$$

这里 P_t 表示发射光平均功率 A_m 为正弦曲线幅度 ($|A_m| \leq 1$)。探测器接收到的光强度 $R(t) = P_r(1 + A_m \sin \omega t) + P_{amb}$, P_r 为探测器处入射信号光平均功率, P_{amb} 为入射到探测器上的背景光 (包括自然光或室内其它光源) 功率。假设光探测器的灵敏度大小为 R , 则其检测到的光电流值应为:

$$Y(t) = R(P_r + P_{amb}) + R \cdot P_r A_m \sin \omega t \tag{39}$$

LED光通信光接收机端通常采用PIN光电探测器, 此时接收机系统前端的主要噪声是前置放大电路等引入的电路噪声 i_{circ} 和电流引起的散弹噪声。通信系统在传输速率 R_b 时的信噪比可由下式计算:

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{1}{2} \frac{A_m^2 (R \cdot P_r)^2}{\bar{i}_{circ}^2 + 2qR \cdot (P_r + P_{amb}) R_b} \tag{40}$$

其中 q 为电子电荷, \bar{i}_{circ}^2 为电路噪声的平均功率值, 当系统工作在强背景光下时

$$SNR = \frac{R^2 A_m^2 P_r^2}{4qP_{amb} R_b} \tag{41}$$

上式可以简化为:

根据上面信噪比和误码率的计算公式和接收机输出的信号进行仿真, 误码率和信噪比的曲线如图6, 图中的蓝线表示的是在接收端没有对接收到的混合光信号进行分离处理直接进行OOK解调输出信号的信噪比误码率曲线图, 红线表示对接收端的混合光信号信号进行分离之后再行OOK解调输出信号的信噪比误码率曲线图, 从图中我们可以看到在相同信噪比的条件下, 在接收端经过分离算法处理的系统的误码率要远远小于未经过分离算法处理的系统的误码率。可见在接收端用盲分离的方法对混合光信号的分离行之有效, 达到了抑制码间干扰, 减小误码率的目的。

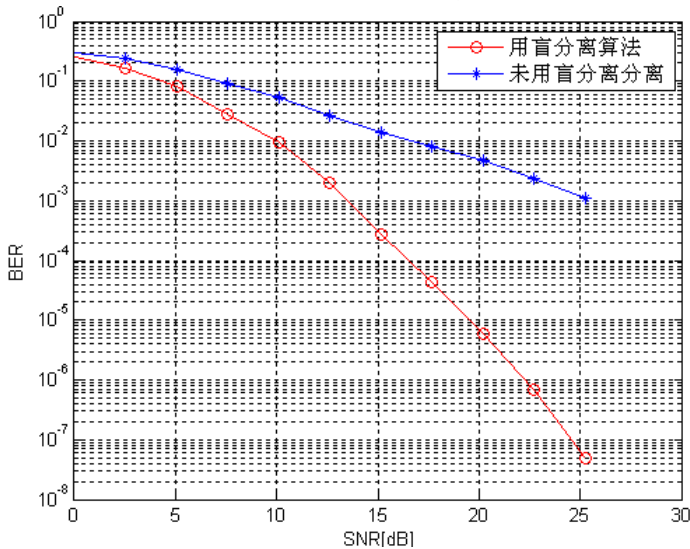


图6 接收机端误码率曲线

3、小结

用基于前向滤波器卷积混合的分离算法对LED光通信接收端的混合信号进行了分离,并对分离结果进行了从两个方面进行了分析,一是从源信号和分离信号的相似系数上进行评价,相似系数矩阵每列都有一个元素近似等于1,其它元素近似于零,分离效果有效;二是对信噪比和误码率进行了仿真,在接收端经过盲分离处理之后在相同信噪比的条件下,系统误码率远远小于未经过盲分离算法处理的系统误码率。通过以上仿真结果的分析可以得出,盲分离算法对接收端的混合信号基本达到了分离的效果,抑制了码间干扰。

参考文献

1. Toshiaki HARA,Shinya Iwasaki, Tomohiro YENDO. A New Receiving System of Visible Light Communication for ITS.IEEE. 2007:474-479.
2. Toshihiko Komine,Masao Nakagawa,Integrated System of White LED Communication and Power-Line Communication.IEEE Transactions on Consumer Electronics,Vol.49,No.1,FEBRUARY 2003.75-79.
3. T.Komine,M.Nakagawa. Performance Evaluation on Visible-Light Wireless Communication System using White LED Lightings[J].The 9th IEEE Symposium on Computers and Communications.vol.1,June.2004,258~263.
4. Tanaka,T.Komine,S.Haruyama,et al.Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights[J].IEICE Trans on Communications,vol.E86-B,No.8,Aug.2003,2440~2454.
5. Xiaohan Liu, Hideo Makino, Suguru Kobayashi, et al. Design of an Indoor Self-Positioning System for the Visually Impaired- Simulation with RFID and Bluetooth in a Visible Light Communication System IEEE 2007:1655-1658.
6. Tiemin Mei,Fuliang Yin.Blind separation of convolutive mixtures by decorrelation[J].Elsevier,Signal Processing,2004,vol.84:2297-2313.
7. 王振力,张雄伟.基于去相关NU偶算法的自适应回波抵消.应用科学学报[J].2006.
8. 胡国永,陈长纓,陈振强.白光LED明光源用作室内无线通信研究[J].无线光通信.2006,(7),673-679.
9. 柳艳红.盲信号分离、信号重构及FSK信号检测算法研究[D].北京交通大学,2006.
10. 刘据,何振亚.盲源分离和盲反卷积.电子学报.2002,第4期.
11. 张洪渊等.一种任意信号原分离的高效算法.电子学报.2001,29(10):1392

Сюй Цзюаньцзюань – Манчжурский институт, Университет Внутренней Монголии, г. Манчжурия, КНР, e-mail: 774097949@qq.com

Xu Juanjuan – Manzhouli College, Inner Mongolia University, Manzhouli, China, e-mail: 774097949@qq.com

УДК 34(510+470)

DOI 10.18101/2306-753X-2015-2-79-83

© Дяо Сючунь
Diao Xiuchun 刁秀春

Краткий анализ правовой системы Китая и России A brief analysis of the legal system of China and Russia

Both China and Russia belong to from the planned economy to social market economy transition country, the historical law of the people's Republic of China by the influence of Soviet law, theory of legal system is the source in the Soviet Union, and Russia as the Soviet legal rights and obligations inherited, in legal theory and technology of surface layer is also adhering to the Soviet Union theory. The legal system of China and Russia has the characteristics of transformation, but it is not the same.

Key words: legal system, constitution of legal system, characteristic, China, Russia.