

用于电力线通信系统的 OFDM 定时同步算法

刘晓胜, 刘佳生, 孙 贺, 刘 浩, 顾轩涛

(哈尔滨工业大学 电气工程及其自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 为了提高电力线通信在恶劣的电力线信道下通信的可靠性, 提出了一种新的正交频分复用 (OFDM) 定时同步算法。该算法在本地相关法的基础上, 对 Schmidl 算法和 Park 算法的定时函数的计算过程进行改进, 实现信号的定时同步。基于 MATLAB 软件的仿真结果表明, 与 Park 算法相比, 所提算法在低信噪比的加性高斯白噪声信道和电力线信道下, 都能获得更加精确的定时同步结果, 并且所提算法的计算量更小。并在实验室 220 V 交流电力线的环境下, 验证了所提算法的可行性。

关键词: OFDM; 电力线通信; 定时同步; 本地相关法; 计算量

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.01.027

0 引言

电力线通信 (PLC) 是利用电力线进行信息传输的一种通信方式, 是高级测量体系、智能电网的基础^[1-3]。电力线是目前覆盖范围最广的有线通信媒介, 被誉为为解决通信中“最后一公里”问题的有效方法之一。最初设计电力线是为传输电能, 并未考虑其信号传输的功能, 这使得电力线对于信号的传输并不是理想的通信信道。电力线信道具有的多径效应、频率选择性衰减、噪声干扰严重等特性, 严重影响了信号的传输^[4-5]。为此, 研究学者将正交频分复用 (OFDM) 技术引入 PLC。OFDM 技术是一种利用多个正交子载波对所传输的数据进行调制解调的信号调制技术。OFDM 技术可将高速的并行数据符号转换为低速的串行信号, 延长符号的传输时间, 增强其抗多径效应的能力; 子载波的频域正交性使得 OFDM 的频带利用率最高可以达到内奎斯特宽度; 符号间隔、循环前缀/后缀的使用可有效地降低符号间干扰和载波间干扰^[6]。这些优点使得 OFDM 技术成为了目前热门的信号调制技术, 并广泛地应用于各个通信领域, 包括 PLC。但是 OFDM 技术对同步错误非常敏感。信号的定时同步偏差、频率偏移都会严重影响接收端对 OFDM 信号的解调能力, 从而降低系统的通信性能。因此, 设计精确而简单的定时同步算法是 OFDM 技术中关键的一部分。

针对 OFDM 技术的定时同步问题, 学者们进行了大量的工作, 并取得了显著性的成果。其中一些利用循环前缀 (CP) 实现 OFDM 技术的定时同步^[7-8], 还有一些则利用同步序列进行 OFDM 信号的定时同步^[9-10]。前者由于不需要额外的专门用于定时同步

的训练序列, 信道利用率更高, 但是其定时的精度较差; 后者则具有更高的鲁棒性、准确性, 但其计算量较大。为了快速准确地实现 PLC 系统中信号的定时同步, 本文提出一种简单、精确的 OFDM 定时同步算法。

1 用于 PLC 的 OFDM 模型

通常用于 PLC 的 OFDM 模型如图 1 所示。

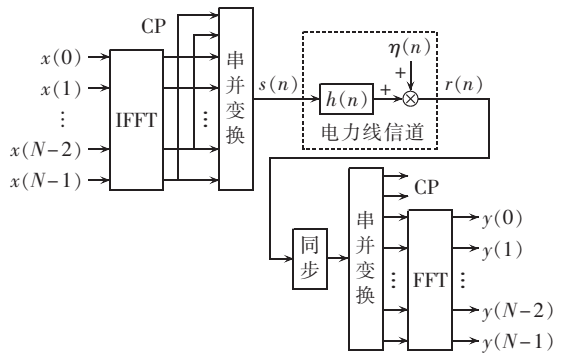


图 1 用于 PLC 的 OFDM 系统模型

Fig.1 OFDM system model for PLC

在该系统中, OFDM 信号是由数据 $x(k)$ 经过 N 点的快速傅里叶逆变换 (IFFT) 和串并变换而获得, 具体可表示为:

$$s(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{j2\pi kn/N} \quad (1)$$

OFDM 信号通过电力线传输, 并受到电力线信道的作用, 最终到达接收端。接收信号可表示为^[11]:

$$r(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h(l) s(n-l) e^{j2\pi \epsilon n/N} + \eta(n) \quad (2)$$

其中, $h(l)$ 、 L 、 $\eta(n)$ 和 ϵ 分别为电力线信道的单位脉冲响应、信道数、信道噪声和接收端与发送端的频率偏差。根据文献^[12], $h(l)$ 在频域上可表示为:

$$H(\omega) = \sum_{i=0}^L [g_i e^{-(a_0 + a_1 \omega^{k_1}) d_i} e^{-j2\pi \omega \frac{d_i}{v_p}}] \quad (3)$$

其中, $\omega > 0$; g_i 和 d_i 分别为第 i 条信道的增益和长度; a_0, a_1 为衰减参数; V_p 为信号的传输速度; k_1 为指数衰减因子, 典型值取 $0.5 \sim 1$ 。

信道噪声是影响 PLC 的重要因素之一, 为此学者们对电力线信道噪声进行了大量的研究, 并建立了多种电力线信道噪声模型。根据文献[13-14], 电力线信道的一种噪声模型可表示为:

$$\eta(n) = w(n) + i(n) \quad (4)$$

其中, $w(n)$ 为加性高斯白噪声; $i(n)$ 为 Bernoulli-Gaussian 模型的脉冲噪声。

2 定时同步算法

2.1 Schmidl 和 Park 定时同步算法

为了在接收端检测到 OFDM 信号的开始时刻, Schmidl 和 Cox 算法应用一种重复的同步训练序列结构 $[A, A]$, 并通过计算接收信号中前后两部分的相关性, 实现定时同步^[9]。定义的定时函数为:

$$M_{sc}(d) = \frac{|P_{sc}(d)|^2}{|R_{sc}(d)|^2} \quad (5)$$

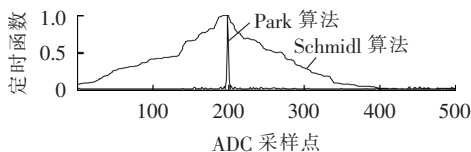
$$P_{sc}(d) = \sum_{k=0}^{N/2-1} r(d+k)r^*(d+N/2+k) \quad (6)$$

$$R_{sc}(d) = \sum_{k=0}^{N/2-1} |r(d+k)|^2 \quad (7)$$

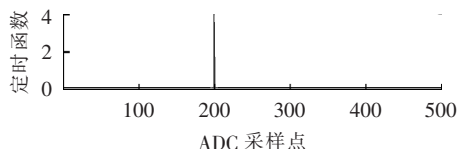
定时函数的最大值为 OFDM 信号的定时同步点, 即:

$$d_{sc} = \arg\max(M_{sc}(d)) \quad (8)$$

Schmidl 算法可实现信号的快速同步, 但其定时函数的峰值不尖锐, 这增加了信号同步定时的不确定性, 降低了定时同步的精确度, 如图 2 所示。



(a) Schmidl 和 Park 算法 (SNR=100 dB)



(b) 本文算法 (SNR=5 dB)

图 2 定时同步算法的定时函数曲线 (AWGN)

Fig.2 Timing function curves of timing synchronization algorithms (AWGN)

为获得尖锐的定时函数峰值, Park 算法在 Schmidl 算法的基础上提出一种新的定时同步序列 $[A, B, A^*, B^*]$ 。其中 B 为 A 的倒序矩阵, A^*, B^* 分别为 A, B 的共轭矩阵。利用对称共轭的结构, Park 算法的定时函数在 OFDM 信号的开始时刻获得尖锐的

峰值, 提高了定时同步的准确性, 但在信噪比 (SNR) 较低的多径信道下, 该算法定时函数的峰值较低, 难以识别。

2.2 本文提出的定时同步算法

本文所提定时同步序列的结构如图 3 所示。图中, $r(n)$ 为接收信号, A_1 为其定时同步序列部分, 由 PN 序列生产; $\tilde{r}(n)$ 为存储在节点中的本地定时同步序列 (本地序列), 并且与 $r(n)$ 中的 A_1 相同; N_g, N 分别为 CP、OFDM 符号长度。在本文提出的定时同步算法中, 采用实部进行计算。定时函数与 Schmidl 算法相同, 即:

$$M_{pr}(d) = \frac{|P_{pr}(d)|^2}{|R_{pr}(d)|^2} \quad (9)$$

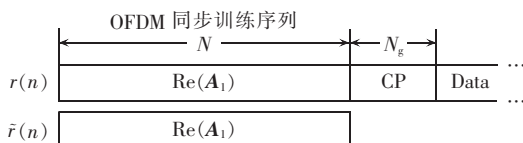


图 3 本文算法的同步训练序列结构

Fig.3 Timing training sequence structure of proposed algorithm

本文算法采用与 Schmidl、Park 算法不同的方法计算 $P_{pr}(d)$ 和 $R_{pr}(d)$, 可表示为:

$$P_{pr}(d) = \sum_{k=0}^{N/B_{ETA}-2} r_D(d+k)\tilde{r}_D(k) \quad (10)$$

$$R_{pr}(d) = \sum_{k=0}^{N/B_{ETA}-2} |r_D(d+k) - \tilde{r}_D(k)|^2 \quad (11)$$

$$r_D(d+k) = \lambda_d [r(d+kB_{ETA}+1) - r(d+kB_{ETA})] \quad (12)$$

$$\tilde{r}_D(k) = \tilde{r}(kB_{ETA}+1) - \tilde{r}(kB_{ETA}) \quad (13)$$

其中, B_{ETA} 的作用相当于对用于定时同步算法的信号进行降频采样, 可以减小算法的计算量; λ_d 为本地序列与接收信号的平均幅值的比值, 通过 λ_d 对接收信号进行放缩, 可以减小由于接收信号幅值变化而对本文定时同步算法的影响。 λ_d 可以通过下式计算得到。

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{A_{\tilde{r}}}{A_r(d)}} \quad (14)$$

$$A_{\tilde{r}} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=0}^{N-2} |\tilde{r}(k+1) - \tilde{r}(k)|^2 \quad (15)$$

$$A_r(d) = \frac{\sum_{k=0}^{\beta N-2} |r(d+k+1) - r(d+k)|^2}{\beta N - 1} \quad 0 < \beta \leq 1 \quad (16)$$

当计算接收信号的平均幅值时, 采用 βN 点长度的接收信号进行计算。本文算法对于定时函数的一种仿真结果如图 2 所示 ($\beta=0.2, N=512, B_{ETA}=2$)。可见在 OFDM 信号的开始时刻, 定时函数的峰值非常尖锐, 而其他时刻基本为 0。

2.3 算法分析

当只考虑信道噪声时, 接收信号可表示为:

$$r(n)=s(n)+\eta(n) \tag{17}$$

由此,本文算法的定时函数可以表示为:

$$M_{\text{pr}}(d)=\frac{\left|P_{\text{pr}}(d)\right|^2}{\left|R_{\text{pr}}(d)\right|^2}=\frac{\left|\sum_{k=0}^{N/B_{\text{ETA}}-2}\left(a_k b_k+b_k c_k\right)\right|^2}{\left|\sum_{k=0}^{N/B_{\text{ETA}}-2}\left(a_k-b_k+c_k\right)\right|^2} \tag{18}$$

$$\begin{cases} a_k=s\left(d+k B_{\text{ETA}}+1\right)-s\left(d+k B_{\text{ETA}}\right) \\ b_k=\tilde{r}\left(k B_{\text{ETA}}+1\right)-\tilde{r}\left(k B_{\text{ETA}}\right) \\ c_k=\eta\left(d+k B_{\text{ETA}}+1\right)-\eta\left(d+k B_{\text{ETA}}\right) \end{cases} \tag{19}$$

假设在 OFDM 信号的开始时刻点上无噪声,即 $a_k-b_k=0$ 、 $c_k=0$,则有:

$$M_{\text{pr}}(d)=\frac{\left|\sum_{k=0}^{N/B_{\text{ETA}}-2} a_k b_k\right|^2}{\left|\sum_{k=0}^{N/B_{\text{ETA}}-2}\left|a_k-b_k\right|\right|^2}=\frac{\left|\sum_{k=0}^{N/B_{\text{ETA}}-2} a_k b_k\right|^2}{\left|0\right|^2} \tag{20}$$

在此情况下, $M_{\text{pr}}(d)$ 的分子取得最大值,分母为 0,相当于无限放大接收信号和本地序列的相关值。相反,在其他时刻点, a_k 和 b_k 不总是相等,此时分母的作用相当于积累接收信号与本地序列的差异。

因此,不考虑噪声时,在 OFDM 信号的开始时刻, $P_{\text{pr}}(d)$ 取得最大值, $R_{\text{pr}}(d)$ 取得最小值,使得 $M_{\text{pr}}(d)$ 的峰值非常尖锐;考虑噪声时,在 OFDM 信号的开始时刻, $R_{\text{pr}}(d)$ 无噪声部分取得最小值,减小了噪声部分对 $M_{\text{pr}}(d)$ 峰值的影响,提高了算法的抗噪声能力。

在本文算法中,通过设定固定阈值(THR)进行定时同步检测^[15-17],因此定时函数在 OFDM 信号开始时刻的主峰值和 OFDM 信号开始时刻前的旁峰值,都会影响定时同步的检测结果。相较于 THR,主峰值过小会导致无法检测到 OFDM 信号的到来,旁峰值过高则会造成虚报。因此,主峰值与旁峰值的比值在一定程度上可以表示定时同步算法主峰的显著度,可用式(21)表示。

$$f_{\text{RSP}}=\frac{M_{\text{msj}}}{M_{\text{sub}}} \tag{21}$$

其中, M_{msj} 和 M_{sub} 分别为定时函数的主峰值和旁峰值。

不同算法在加性高斯白噪声(AWGN)下主峰值与旁峰值的比值如图 4 所示($\beta=0.2$)。由图 4 可知,相比于 Park 算法,本文算法的定时函数主峰具有更

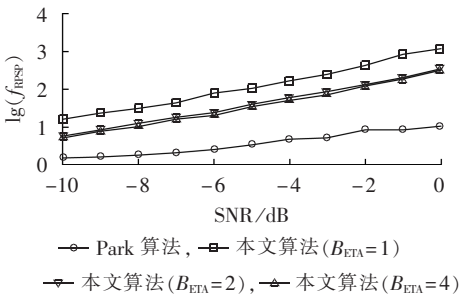


图 4 主峰值与旁峰值的比值(AWGN)

Fig.4 Ratio of peak and sub-peak(AWGN)

高的显著度 f_{RSP} 。

算法的复杂度是衡量定时同步算法的一个重要指标,在一定程度上,算法的复杂度可用计算量表示^[18]。本文算法与 Park 算法的不同之处在于 $P_{\text{pr}}(d)$ 、 $R_{\text{pr}}(d)$ 的计算过程不同,因此可以通过比较 $P_{\text{pr}}(d)$ 、 $R_{\text{pr}}(d)$ 的计算量来比较 2 种算法的复杂度。由上文分析可知,本文算法的定时同步过程采用实数计算,而 Park 算法则采用复数计算。易知,1 次复数相乘可分解为 4 次实数相乘和 2 次实数相加;1 次复数相加可分解为 2 次实数相加。因此,当采用长度为 N 的同步序列时,本文算法与 Park 算法的计算量比较可见表 1。由表 1 可知,当 $B_{\text{ETA}}>1$ 时,本文算法的计算量小于 Park 算法的计算量,且从图 4 可知,当 $B_{\text{ETA}}=2$ 时,本文算法比 Park 算法具有更高的定时函数峰值显著度 f_{RSP} 。

表 1 定时同步算法的计算量

Table 1 Computational burden of timing synchronization algorithms

算法	实数乘法次数	实数加法次数
Park 算法	$4N$	$4N$
本文算法	$3N/B_{\text{ETA}}+\beta N$	$4N/B_{\text{ETA}}+2\beta N-6$
本文算法 ($B_{\text{ETA}}=2, \beta=0.2$)	$1.7N$	$2.4N-6$

3 仿真和实验结果

3.1 仿真结果

本文应用 MATLAB 对定时同步算法进行仿真分析。通过上文分析可知, Park 算法的性能明显优于 Schmidl 算法,因此本文只将本文算法与 Park 算法进行比较。仿真所用的 OFDM 系统参数如下:基带时钟频率为 250 kHz,子载波间隔为 0.488 28 kHz,子载波数为 97,FFT 采样点数为 512,CP 采样点数为 48,调试模式为 QSPK,仿真次数为 1000。PLC 信道参数如下: g_1-g_4 分别为 0.64、0.38、-0.15、0.05, d_1-d_4 分别为 200、222.4、244.8、267.5 m, $a_0=0$, $a_1=7.8\times 10^{-10}$ s/m, $k_1=1$, $V_p=1.5\times 10^8$ m/s^[12]。

本文对定时同步算法的定时错误率进行仿真。定时错误包括 2 种情况:一是接收端有 OFDM 信号到来,但节点无法完成定时同步;二是接收端无 OFDM 信号到来,但节点完成了虚假定时。图 5 为 2 种定时同步算法在 AWGN、PLC 信道下的定时同步仿真结果。可见在 AWGN 信道下, Park 算法在 SNR<-1 dB 时开始出现定时错误,并且随着 SNR 减小,定时错误率快速上升,于 SNR=-5 dB 处达到 100%,即此时节点完全无法检测到 OFDM 信号;本文算法是在 SNR<-6 dB 时开始出现定时错误,并于 SNR=-9 dB 处定时错误率达到 100%。在 PLC 信道下, Park 算法在 SNR<5 dB 时开始出现定时错误,并于 SNR=

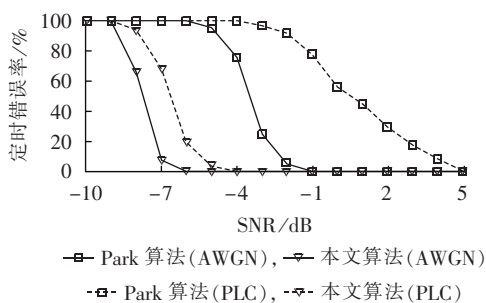


图 5 2 种算法的定时同步错误率
($\text{THR}=0.1, B_{\text{ETA}}=2, \beta=0.2$)

Fig.5 Timing error percentage of two algorithms ($\text{THR}=0.1, B_{\text{ETA}}=2, \beta=0.2$)

-3 dB 处定时错误率达到 100%;本文算法是在 $\text{SNR} < -4$ dB 时出现定时错误,于 $\text{SNR} = -9$ dB 时定时错误率达到 100%。故与 Park 算法相比,无论是在 AWGN 信道下还是在 PLC 信道下,本文算法明显优于 Park 算法。

3.2 实验结果

下面通过实验验证所提算法的可行性。本文实验中,采用点对点通信的方式,每个节点主要由 TMS320F28335 和 AFE031 组成,两者通过 SPI 口、ADC 端口进行连接。TMS320F28335 是系统处理数据的核心,主要实现信号的调制和解调、ADC 采样、信号同步检测以及控制 AFE031 等功能。AFE031 是 TI 公司生产的一款专门用于低压窄带 PLC 的模拟前端芯片,主要完成发送信号的 DAC 转换、增益和滤波,同时对接收信号进行滤波、增益,并将其送入 TMS320F28335 的 ADC 转换端口。

下面在 2 种不同的实验场景下进行信号的定时同步实验:实验场景 1 的通信距离为 5 m,并且两通信节点之间无其他用电设备;实验场景 2 的通信距离为 40 m,并且两通信节点之间的用电设备较多,如电脑、空调、示波器等。实验场景 2 侧重于分析信号衰减和用电设备产生的噪声对本文算法的影响。图 6 和图 7 分别是这 2 种实验场景的实验结果。

从图 6 和图 7 的 ADC 采样波形可知,相比于实验场景 1,实验场景 2 下的信号发生严重的衰减,并且产生形变;而从定时函数的实验结果可知,2 种实验场景下,定时函数在 OFDM 信号的开始时刻都具

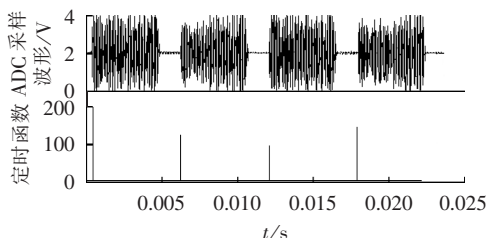


图 6 实验场景 1 的定时同步结果

Fig.6 Timing synchronization results of Scenario 1

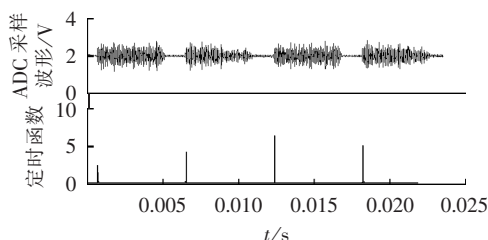


图 7 实验场景 2 的定时同步结果

Fig.7 Timing synchronization results of Scenario 2

有非常尖锐的峰值,并且峰值远大于 0,而其他时刻基本为 0,由此验证本文算法的可行性。

4 结论

本文分析了 OFDM 以及 PLC 信道模型,建立了基于 OFDM 的 PLC 低压窄带通信系统,并给出了各项参数。为实现 OFDM 信号的快速、准确的定时同步,提出一种新的定时同步算法。该算法采用 Schmidl 算法的定时函数,结合本地相关法,实现 OFDM 信号的定时同步。利用相邻 2 点的差值计算接收信号与本地序列的幅值比,并用该比值对接收信号的幅值进行放缩,减小了由于接收信号幅值变换而对定时同步效果产生的影响。本文从计算量、定时准确率 2 个方面,将本文算法与经典的 Park 算法进行比较,结果表明本文算法的计算量更小,定时准确率更高(低 SNR 下)。最后,将本文算法应用于基于 OFDM 的 220 V PLC 系统中,进行定时同步实验,结果表明定时函数获得了尖锐的峰值,并且峰值远大于 0,验证了本文算法的可行性。

参考文献:

- [1] 丁冠军,兰海滨,樊邦奎,等. 智能电网应用中的 PLC 技术[J]. 电工技术学报,2013,28(增刊 2):378-382.
DING Guanjun, LAN Haibin, FAN Bangkui, et al. The power line communication technologies for smart grid application[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28 (Supplement 2): 378-382.
- [2] 梁栋,张保会,牛东文,等. 适用于宽带电力线通信的 OFDM 信噪比估计方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(12):105-110.
LIANG Dong, ZHANG Baohui, NIU Dongwen, et al. SNR estimation in OFDM for broadband power line communication[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(12): 105-110.
- [3] 胡正伟,谢志远,郭以贺,等. 面向 10 kV 馈线自动化系统的单子载波 OFDMA 电力线通信方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(2): 160-167.
HU Zhengwei, XIE Zhiyuan, GUO Yihe, et al. OFDMA-based power line communication in single-subcarrier communication mode for 10 kV feeder automation system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(2): 160-167.
- [4] 谷志茹,刘宏立,詹杰,等. 智能电网窄带 OFDM 通信系统噪声抑制[J]. 电工技术学报,2014,29(11):269-276.
GU Zhiru, LIU Hongli, ZHAN Jie, et al. Noise suppression investigation of a narrowband power line communication for smart

- grid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(11): 269-276.
- [5] RIBEIRO M V, CAMPOS F P V, COLEN G R, et al. A novel power line communication system for outdoor electric power grids [C]//International Symposium on Power Line Communications and its Applications. Austin, TX, USA: IEEE, 2015: 228-233.
- [6] 李春阳, 黑勇, 乔树山. OFDM 电力线载波通信系统的定时同步和模式识别[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(8): 58-60.
LI Chunyang, HEI Yong, QIAO Shushan. Timing synchronization and mode identification for OFDM based power line carrier communication systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(8): 58-60.
- [7] JAN-JAAP V D B, SANDELL M, BORJESSON P O. ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1997, 45(7): 1800-1805.
- [8] BAUMGARTNER S, SHEHADEH Y E H, HIRTZ G. A modified symbol timing and frequency synchronization method based on cyclic prefix for OFDM systems[C]//2015 25th International Conference Radioelektronika. Pardubice, Czech Republic: IEEE, 2015: 331-334.
- [9] SCHMIDL T M, COX D C. Robust frequency and timing synchronization for OFDM[J]. IEEE Transactions on Communications, 1997, 45(12): 1613-1621.
- [10] BYUNGJOON P, HYUNSOO C, CHANGEON K, et al. A novel timing estimation method for OFDM systems[J]. IEEE Communications Letters, 2003, 7(5): 239-241.
- [11] SUN L. New adaptive algorithm for frequency selective OFDM channels[C]//2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems(SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems(ISIS). Kitakyushu, Japan: IEEE, 2014: 374-379.
- [12] XIE Z Y, LUO L, DONG F F, et al. An improved synchronization algorithm for OFDM based powerline communication[C]//4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. Istanbul, Turkey: IEEE, 2013: 1613-1618.
- [13] PIGHI R, FRANCESCHINI M, FERRARI G, et al. Fundamental performance limits for PLC systems impaired by impulse noise [C]//2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications. Orlando, FL, USA: IEEE, 2006: 277-282.
- [14] CHIEN Y R. Iterative channel estimation and impulsive noise mitigation algorithm for OFDM-based receivers with application to power-line communications[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2015, 30(6): 2435-2442.
- [15] 李凤飞, 胡国荣. 电力线 OFDM 通信系统的自适应定时同步阈值选择方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(23): 93-96, 129.
LI Fengfei, HU Guorong. An adaptive threshold selection method for timing synchronization of OFDM-based power line communication system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(23): 93-96, 129.
- [16] 应展烽, 吴军基, 郭昊坤, 等. 含周期性脉冲噪声的低压电力线噪声建模研究[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(9): 58-63.
YING Zhanfeng, WU Junji, GUO Haokun, et al. Modeling of low-voltage power line noise containing periodic pulses[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(9): 58-63.
- [17] 陈可, 胡晓光. 基于低压电力线正交频分复用系统虚载波改进信道估计算法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(4): 135-141.
CHEN Ke, HU Xiaoguang. Improved channel estimation algorithm based on virtual carriers of low voltage power line OFDM system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(4): 135-141.
- [18] DONG K, YANG F, SONG J, et al. Novel synchronization algorithm for flexible sub-carrier OFDM system[C]//2011 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Wuhan, China: IEEE, 2011: 1-5.

作者简介:



刘晓胜

刘晓胜(1966—),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电力线载波通信、网络通信和智能控制等(E-mail: liuxsh@hit.edu.cn);

刘佳生(1990—),男,广西玉林人,硕士,主要研究方向为电力线载波通信(E-mail: ljs199043@163.com)。

OFDM timing synchronization algorithm for power line communication system

LIU Xiaosheng, LIU Jiasheng, SUN He, LIU Hao, GU Xuanpu

(School of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to improve the reliability of PLC(Power Line Communication) in harsh environment, a new OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) timing synchronization algorithm is proposed. The proposed algorithm realizes the timing synchronization by improving the calculation process of the timing function in Schmidl and Park algorithms on the basis of the local and correlation method. Simulative results of MATLAB demonstrate that the proposed algorithm achieves higher accuracy of timing synchronization in both AWGN(Additive White Gaussian Noise) channel and PLC channel compared with Park algorithm, and the computational burden of the proposed algorithm is lower. The feasibility of the proposed algorithm is verified by experiments conducted in 220 V AC PLC environment.

Key words: OFDM; power line communication; timing synchronization; local and correlation method; computational burden