

基于FastICA算法的电力线通信OFDM信号分离方法

胡正伟,贺冬梅,谢志远

(华北电力大学 电气与电子工程学院,河北 保定 071003)

摘要:提出了一种基于快速独立成分分析(FastICA)算法的电力线通信正交频分复用(OFDM)技术信号分离方法。该方法在FastICA算法对2路观测信号进行解混处理的基础上,将解混信号的前导字段幅度归一化后分别与OFDM符号的前导序列的对应字段进行互相关,取相关值中最大值较大的解混信号作为通信信号,实现了通信信号和噪声的正确识别。定义分离比值为2路相关值中最大值的比值,作为解混效果的评价标准。通过设置合适的分离比值阈值,实现了期望的解混效果。以解混信号的前导字段为参考相位,采用DBPSK调制解调方式,实现了接收数据与解混信号相位无关。建立了MATLAB通信系统仿真模型,仿真结果验证了该方法在低信噪比条件且无纠错编码功能时仍具有较好的通信效果。最后基于硬件平台对算法的可实现性进行了验证测试。

关键词:电力线通信;FastICA算法;同步;信噪分离;正交频分复用

中图分类号:TM 734

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.201911027

0 引言

电力线通信 PLC(Power Line Communication)是使用现有电网结构中的电力线作为通信介质的一种通信技术,具备无需重新布线、投资少且覆盖范围广等优点,在负载管理、数据集抄、故障定位、智能家居、灾后通信恢复等领域有着广泛的应用^[1-3]。但由于电力线的信道特性复杂,受通信频率、网络拓扑、负载种类、负载工作状态及数量、噪声干扰等影响,通信的可靠性无法得到保证。因此一直以来提高通信可靠性是PLC领域的研究热点之一。

由于正交频分复用OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)技术可以实现多载波通信,可以将快速的串行数据流分解为若干慢速的并行数据流,可有效抵抗多径传输效应造成的频率选择性衰落。此外,不同的载波不仅可以采取不同的调制解调方式,而且可以有选择地关闭某些载波达到功率/速率最优化或避开某些授权频带的目的。目前,大多数PLC标准的物理层均采用OFDM技术实现数据可靠传输,如HomePlug AV、DS2/UPA、HD-PLC、IEEE P1901、G.9960、G3-PLC等^[4]。因此,本文以OFDM信号为通信信号展开噪声抑制研究。

电力线信道具有噪声大、干扰强和衰减剧烈等特点,因此接收机接收的信号具有较低的信噪比。为了在低信噪比条件下实现通信数据正确传输,首先需要解决的问题是实现通信信号和噪声信号分离。

已有大量的相关文献对电力线噪声进行研究,主要分为2个研究方向:一是噪声建模方法的研究,侧重于噪声特性分析^[5-8];二是噪声抑制方法的研究,侧重于噪声消除^[9-13]。

相关文献对采用独立成分分析ICA(Independent Component Analysis)方法实现电力线噪声抑制的研究进行报导。文献[14]对ASK调制方式的PLC信号采用快速ICA(fastICA)算法进行了噪声抑制研究,并且对比算法处理前后的信噪比。文献[15]将FastICA技术应用于10 kV中压PLC系统中,以A相作为参考,采用AB、AC两相并行传输,实现PLC的信号提取,但未说明如何实现通信信号和噪声信号的辨识。该文献针对DBPSK调制方式的情况,未开展PLC系统中主流调制方式——OFDM调制方式的应用场景研究。文献[16]从多导体传输线理论角度,提出采用OFDM和ICA相结合的方法,将较为复杂的卷积型转化为较为简单的瞬时线性混合型问题,目的是在多路信号同时传输时实现每个信号源的辨识,但未给出具体的模型及分离效果的仿真结果。

本文给出了一种应用于单输入单输出PLC系统实现OFDM信号和噪声信号的分离方法,从而实现噪声的抑制。本文方法的主要特点如下:①针对FastICA算法解混后的信源顺序具有不确定性的问题,将解混信号的前导字段分别与前导序列中对应字段进行互相关,取互相关值中最大值较大的信号作为有效信号,较小的信号作为噪声信号。定义分离比值为相关值最大值之间的比值,作为解混效果

收稿日期:2018-12-21;修回日期:2019-07-01

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(61601182);现代电子信息网络创新创业实践基地建设项目(2017CXCY135);河北省科技计划项目(17211704D)

Project supported by the Youth Science Foundation Project of National Natural Science Foundation of China(61601182),the Modern Electronic Information Network Innovation and Entrepreneurship Practice Base Construction Project(2017CXCY135)and Hebei Science and Technology Program Project(17211704D)

判断标准,可设置合适的分离比值阈值,得到期望的分离效果。②针对 FastICA 算法解混后的信号相位反转的问题,以解混信号的前导字段的相位为参考相位,采用 DBPSK 调制解调方式,实现了接收数据与解混数据的相位无关。③给出了完整的系统仿真模型,并以误码率作为评价所提方法的标准。

1 PLC 信噪分离模型

结合 ICA 算法原理以及 PLC 系统的特点,电力线信噪分离模型如图 1 所示。

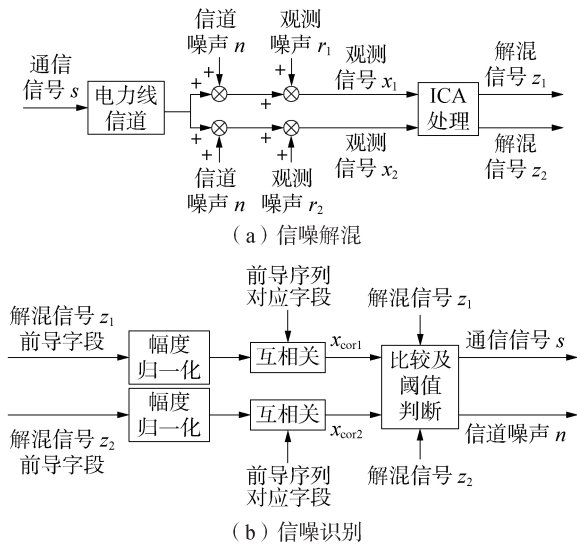


图 1 电力线信噪分离模型

Fig.1 Separation model of power line signal and noise

由图 1(a)可得式(1):

$$\begin{cases} x_1 = a_{11}s + a_{12}n + r_1 \\ x_2 = a_{21}s + a_{22}n + r_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 为混合矩阵; r_1, r_2 分别为 2 路接收信号的系统观测噪声,应远小于信道噪声。

采用 ICA 方法的一般前提条件为:①观测样本数量大于等于信号源数量;②信号源间相互独立;③最多有 1 个信号源为高斯信号;④混合矩阵为满秩矩阵。

分析 ICA 算法在图 1(a)所示电力线信噪分离模型中的可行性:①观测样本数量为 2;②通信信号与噪声信号之间满足独立关系;③ OFDM 信号具有渐进高斯分布特性,电力线信道噪声为非高斯有色噪声;④ 2 路观测信号经由不同的接收回路,由于电子元件的分散特性,对信号的衰减程度存在差别,因此混合系数不相同。由于不同接收回路的电路原理图相同,所以差别应该较小。图 1(b)为信噪识别环节。解混处理是指利用 ICA 算法对观测信号进行处理,使观测信号中的独立成分分离出来的过程。经过解混处理得到的独立成分称为解混信号。

ICA 处理得到解混信号 z_1, z_2 如式(2)所示。

$$\begin{cases} z_1 = w_{11}x_1 + w_{12}x_2 \\ z_2 = w_{21}x_1 + w_{22}x_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix}$ 为解混矩阵,即 ICA 算法的目的为寻找解混矩阵实现信号分离。

由式(2)可得解混信号 z_1, z_2 ,但无法区分通信信号和噪声信号。为了识别通信信号和噪声信号,针对采用 OFDM 技术的 PLC 信号,图 1(b)采用信号噪声识别方法。取相关值 x_{cor1}, x_{cor2} 中最大值较大者作为通信信号,如式(3)所示。由于 FastICA 算法为优化算法,最终解混效果存在差异。为了判断信噪分离的效果,本文定义分离比值 δ 作为分离效果的评价参数,如式(4)所示。 δ 越大,得到的信号与原始信号相关度越高,分离效果越好。设置阈值 T ,当 $\delta > T$ 时,ICA 分离完成;否则进行迭代。

$$s \leftrightarrow \max \{B\}$$

$$\{B\} = \left\{ \max \left\{ \max \{x_{cor1}\}, \max \{x_{cor2}\} \right\}, \min \left\{ \min \{x_{cor1}\}, \min \{x_{cor2}\} \right\} \right\}, \quad (3)$$

$$\delta = \max \{B\} / \min \{B\} \quad (4)$$

其中, $\max \{\cdot\}$ 、 $\min \{\cdot\}$ 、 $\text{abs} \{\cdot\}$ 分别表示取最大值、取绝对值和取最小值。

2 FastICA 算法原理

本文采用的 ICA 算法为 FastICA 算法。FastICA 算法又称为固定点 ICA 算法,为快速寻优迭代算法。从分布式并行处理的角度,该算法可归类为神经网络算法。FastICA 算法的搜索方向有基于峭度、似然最大、负熵最大等形式,本文采用基于负熵最大的 FastICA 算法。基于负熵最大的 FastICA 算法以负熵最大作为搜寻方向,顺序地提取独立源,充分体现了投影追踪线性变换的思想。除此以外,该算法采用了定点迭代的优化算法,使收敛更加快速、稳健。

随机变量 Y 的微分熵的表达式为:

$$H(Y) = - \int p_Y(\xi) \lg p_Y(\xi) d\xi \quad (5)$$

其中, p_Y 为 Y 的概率密度函数。

Y_{Gauss} 为与随机变量具有相同方差的高斯随机变量,则随机变量 Y 的负熵为:

$$N_g(Y) = H(Y_{\text{Gauss}}) - H(Y) \quad (6)$$

根据信息理论,在具有相同方差的随机变量中,高斯分布的随机变量具有最大的微分熵。当随机变量 Y 具有高斯分布时, $N_g(Y) = 0$ 。 Y 的非高斯性越强, $H(Y)$ 越小, $N_g(Y)$ 值越大,因此可以将其作为随机变量非高斯性的评估参数。由于式(5)计算微分熵时需要计算概率密度分布函数,在实际应用中难以实现,因此采用式(7)进行近似计算:

$$N_g(Y) = [E(g(Y)) - E(g(Y_{\text{Gauss}}))]^2 \quad (7)$$

其中, $E(\cdot)$ 为均值函数, $g(\cdot)$ 为非线性函数。本文取 $g(y) = \tanh(y)$ 。

若观测矩阵为 X , 则通过 FastICA 算法寻找解混矩阵 W 使 $N_g(W^T X)$ 具有最大非高斯特性。解混矩阵 W 的近似牛顿迭代公式为:

$$\begin{cases} W^* = E(Xg(W^T X)) - E(Xg'(W^T X))W \\ W = W^* / \|W^*\| \end{cases} \quad (8)$$

其中, $g'(\cdot)$ 为非线性函数的导数; W^* 为中间临时矩阵。

3 仿真模型

根据电力线信噪分离模型, 建立 MATLAB 数学仿真模型, 如图2所示。图中CP为循环前缀, IFFT和FFT分别为快速傅里叶反变换和快速傅里叶变换。为了验证分离效果, 模型中未采用纠错编码功能。

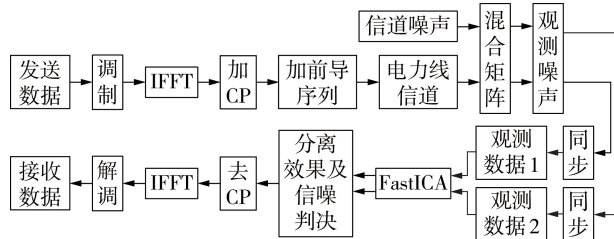


图2 仿真模型

Fig.2 Simulation model

3.1 OFDM 参数设置

OFDM 参数如附录中表 A1 所示。

3.2 OFDM 数据帧格式

OFDM 数据帧格式如图3所示。OFDM 数据帧由2个部分组成: 一是前导序列, 二是通信数据。前导序列包含8个P符号和2个M符号, M符号是P符号的相反数, 长度为1个OFDM符号长度; 通信数据中CP为循环前缀, D为OFDM有效数据。因此1个OFDM的数据帧长度为19132个采样点。



图3 OFDM数据帧格式

Fig.3 Data frame format of OFDM

3.3 FastICA 算法参数

3.3.1 混合矩阵

混合矩阵的参数取值为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 + 0.01\sigma_1 & 1 + 0.01\sigma_2 \\ 1 + 0.01\sigma_3 & 1 + 0.01\sigma_4 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中, $\sigma_1 - \sigma_4$ 为 $[0, 1]$ 区间内的随机数值, 表示2个接收回路间的随机差值。乘系数取0.01, 一方面控制2路混合信号的信噪比接近, 保证2路信号的同步检测, 另一方面使硬件接收回路与实际情况相吻合, 即接收回路对信号和噪声的传输特性存在较小差异。

3.3.2 观测噪声矩阵

观测噪声矩阵取值为:

$$R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中, σ_5, σ_6 为 $[0, 1]$ 之间的随机数值。

3.3.3 观测数据

观测数据是指使用 FastICA 算法进行处理的输入数据。观测数据构成如图4所示, 根据同步基准, 可以从接收数据中定位出前导字段 M_r 和 OFDM 数据窗数据 fft_data 。观测数据由 M_r 和 fft_data 组合构成, 因此1个观测数据的长度为9916个采样点。为了区分 OFDM 通信数据和噪声信号, 需要 M_r 与前导序列对应字段 M 符号进行互相关运算。

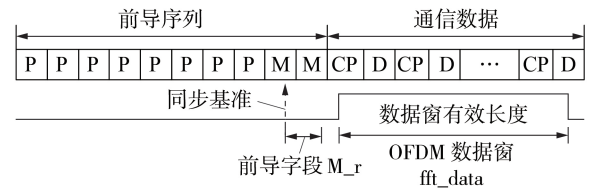


图4 观测数据构成

Fig.4 Observation data composition

另外, 经过 FastICA 算法得到的解混数据会导致反相, 为了克服反相造成的解码错误, 可将 M_r 中的数据作为初始相位, 采用 DBPSK 调制方式实现解调数据与解混数据的相位无关。

3.3.4 分离比值阈值

分离比值 δ 越大, 分离效果越好。设分离比值阈值为7, 则当 $\delta < 7$ 时, 进行解混迭代; 当 $\delta \geq 7$ 时, 停止迭代。

阈值的确定可以根据具体的应用进行调整。也可以不设阈值, 采用循环迭代取最大分离比值的方法, 但需要根据不同应用调整循环次数, 在计算量与分离效果之间权衡。

3.4 电力线信道模型

式(11)为多径电力线信道模型的数学表达式^[17]。

$$y = \sum_{i=1}^N g_i e^{(-a - 2\pi i \sqrt{\epsilon_r} \epsilon_0) d_i f} \quad (11)$$

其中, g_i, d_i 分别为路径 i 的权重因子和长度; N 为路径总数; a 为衰减因子; ϵ_r 为介电常数; f 为通信频率; c_0 为光速。

表1为4径电力线信道模型参数, 图5为对应的电力线信道的幅频特性曲线。

表1 4径电力线信道模型参数

Table 1 Model parameters of 4-path power line channel

路径	g_i	d_i / m	ϵ_r	a / m^{-1}	$c_0 / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1	0.64	200.0	3.8	7.8×10^{-10}	3×10^8
2	0.38	222.4	3.8	7.8×10^{-10}	3×10^8
3	-0.15	244.8	3.8	7.8×10^{-10}	3×10^8
4	0.05	267.5	3.8	7.8×10^{-10}	3×10^8

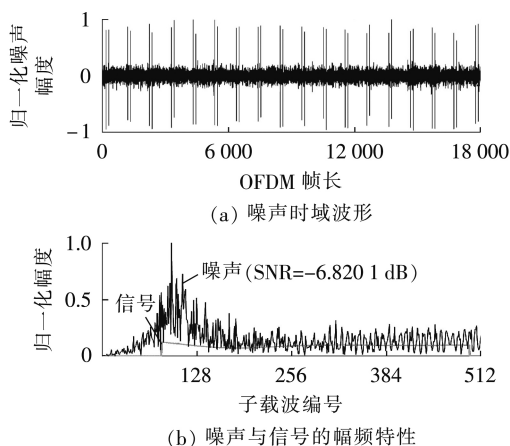


图5 电力线噪声

Fig.5 Power line noise

3.5 电力线信道噪声

图5(a)为4径电力线信道模型条件下,1帧OFDM数据长度(19132个采样点)的噪声时域波形。由图可知,噪声主要由背景噪声和脉冲噪声合成,取脉冲噪声的幅度为背景噪声能量开平方值的20倍。图5(b)为噪声与信号的幅频特性图,实线为1帧OFDM数据中的1个OFDM符号长度的噪声的幅频特性曲线。由图可知噪声具备非高斯有色特征。虚线为经过电力线信道后的通信信号的幅频特性曲线,此时的信噪比 $SNR = -6.8201$ dB。

3.6 同步方案

信噪分离的成功依赖于2路观测信号的精确同步,即同步是信噪分离成功实现的重要前提条件。特别是在低信噪比条件下实现精确同步。

本文采用文献[18]中OFDM符号同步方法,并按附录中表A2设置相关参数。

4 仿真结果分析

图6(a)为模型在无纠错编码条件下进行1000次通信的统计结果。采用本文方法981次可以实现0误码接收,而直接对观测信号进行解码的误码率全部接近0.4。从分离比值上可以发现,导致19次误码率较高的原因是FastICA算法未能实现信噪分离,即未能找到解混矩阵。由信噪比波形可知,本文方法可以在-6 dB条件下有效实现噪声的抑制。图6(b)为2路观测信号的在对应信噪比条件下的同步结果,由图可知,本文给出的联合同步算法在-6 dB条件下可以实现观测信号的准确同步。图6(c)为信道传输特性估计的仿真结果,其中上图为第1000次通信时利用本文方法得到的信号与观测信号估计结果对比,下图为本文方法得到的信号与理论值对比。图6(d)为第1000次通信解混信号的M符号字段归一化后与M符号进行互相关运算的结果。从相关值的极值可以判断图6(d)中,上图为通信信号,下图为噪声信号。

本文所提出的信噪分离结果工作信噪比依赖

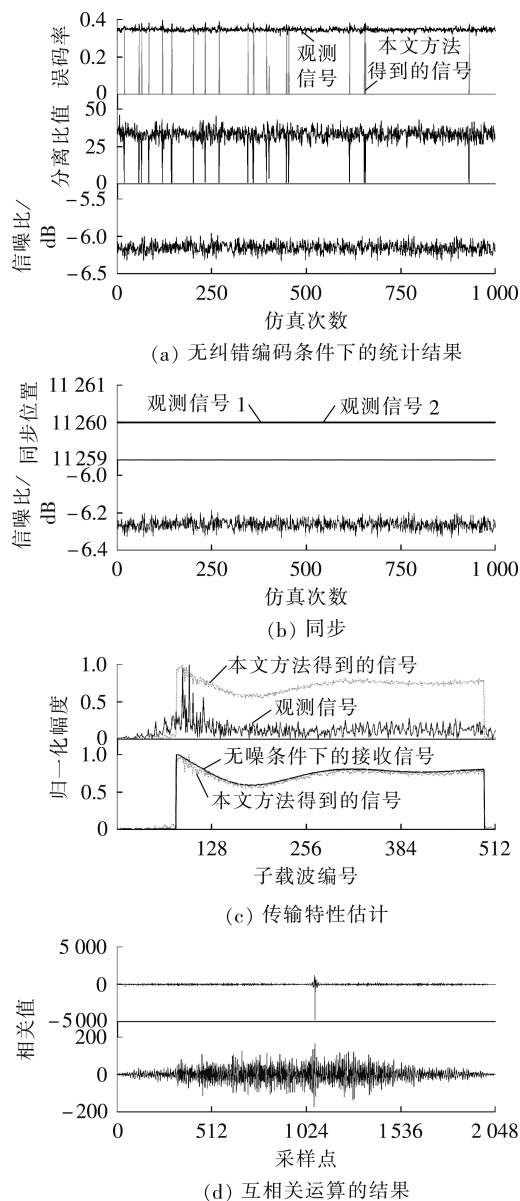


图6 仿真结果

Fig.6 Simulative results

于同步算法的性能,联合同步方法的工作上限约为-7 dB。图7为2路观测信号之间存在1个采样点同步误差的仿真结果。图7(a)为10次仿真的误码率统计结果。由图可知,当2路观测信号存在同步误差时,采用FastICA方法得到的误码率与观测信号的误码率基本一致,没有任何改进效果,相应的分离比值也很低。这说明存在同步误差时,FastICA算法将无法实现信噪分离。图7(b)的信道传输特性估计仿真结果也说明了存在同步误差时,FastICA算法得到的分离信号与原始信号存在较大差距。

5 硬件测试

为了验证本文方法的可实现性,搭建了如附录中图A1所示的硬件测试平台,该平台可以验证从具有相同电路结构的不同接收通路中实现信号提取。

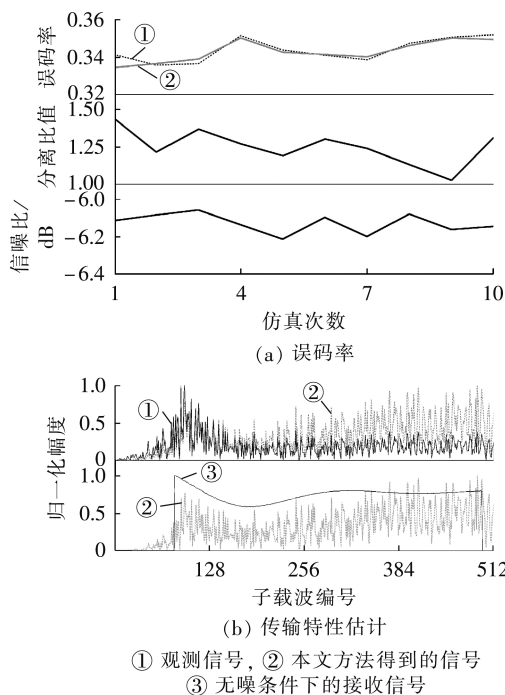


图7 存在1个采样点同步误差的仿真结果

Fig.7 Simulative results with synchronization error of one sampling point

图A1中的硬件测试平台使用了3块本研究团队开发的基于现场可编程门阵列(FPGA)的直流PLC系统开发板。其中1块用作发送板,另外2块用作接收板,接收板和发送板之间通过12V供电电源线实现通信。发送数据通过串口从电脑主机传送到发送板,发送板将数据发送到12V电源线上。

2块接收板可获得2路观测信号。图A1中示波器显示的是发送板信道上的收发信号幅度,左边1组为发送板的发送数据,右边1组为发送板的接收数据。由于接收到2个接收板的返回数据,右边1组数据的幅度比左边1组的大。2块接收板上接收到的数据由串口传送给电脑主机,各取接收数据前导序列的1024个采样点作为测试信号,记为接收信号1和接收信号2。

为了避免外加噪声过大损伤通信系统,没有通过信号发生设备产生噪声,而是在正常条件下获得观测信号,根据观测信号推导出信道的传输函数,根据传输函数和噪声源信号,得出接收板接收到的噪声信号。接收信号1和接收信号2分别与相应的采样噪声信号叠加得到观测信号1和观测信号2。

图8分别对接收信号与解混信号、接收信号1与接收信号2、解混信号与观测信号进行了对比。由图可知,硬件测试平台2路接收信号的幅频特性之间略有差异。在接收信号上叠加了SNR=-6dB的噪声条件下,采用FastICA算法进行分离后得到的解混数据与其中1路接收信号的对比,其分离比值为4.13。对比观测数据与解混信号,可以发现解混后

的信号可以消除噪声的影响。

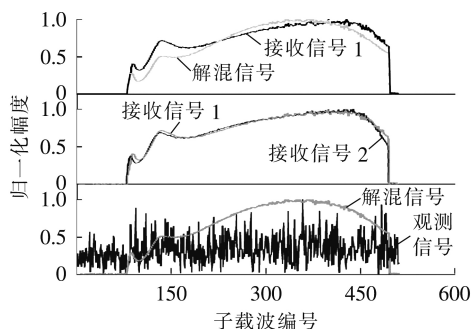


图8 硬件测试信号的幅频特性比较

Fig.8 Comparison of amplitude-frequency characteristics of hardware test signals

6 结论

本文给出了一种基于FastICA算法的电力线信道信噪分离方法,利用FastICA算法解混信号的前导字段与PLC信号的OFDM数据帧的前导序列对应字段分别进行互相关,识别信号和噪声。以解混信号的前导字段为参考相位,克服了FastICA算法解混信号反相的问题。定义了分离比值,给出了分离效果的评价标准。建立了MATLAB通信系统仿真模型,验证了本文方法在-6dB的低信噪比条件下仍可以以较高的成功率实现0误码通信。分析了同步结果对FastICA算法的影响,得出了FastICA算法的有效性依赖于同步结果的结论。最后,通过硬件测试平台验证了所提方法的可实现性。本文方法可以对PLC的噪声抑制提供参考。后续研究工作可从降低同步算法的信噪比的下限、完善硬件测试平台等方面开展。

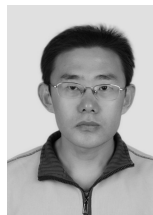
附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 胡正伟,谢荣圆,谢志远. 基于QoS参数的电力线信道状态映射方法[J]. 电力自动化设备,2016,36(10):159-165.
HU Zhengwei, XIE Rongyuan, XIE Zhiyuan. Mapping of PLC-channel status to QoS parameter[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(10): 159-165.
- [2] 李建岐,陆阳,高鸿坚. 基于信道认知在线可定义的电力线载波通信方法[J]. 中国电机工程学报,2015,35(20):5235-5243.
LI Jianqi, LU Yang, GAO Hongjian. On (power-) line communication solution based on channel sensing[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(20): 5235-5243.
- [3] 刘晓胜,崔莹,徐殿国. 低压电力线通信组网性能优化方法[J]. 电力自动化设备,2017,37(12):16-21,37.
LIU Xiaosheng, CUI Ying, XU Dianguo. Performance optimization for low voltage power line communication[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(12): 16-21, 37.
- [4] FERREIRA H C. Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband communications over power lines[M]. New York, USA: John Wiley and Sons Publication, 2010: 365-410.
- [5] FAMILUA A D, CHENG L. A semi-hidden Fritchman Markov modeling of indoor CENELEC a narrowband power line noise based on signal level measurements[J]. AEUE-International

- Journal of Electronics and Communications, 2017, 74: 21-30.
- [6] CORTÉS J A, CORCHADO J A, CAÑETE F J, et al. Analysis and exploitation of the noise correlation in MIMO power line communications in the FM band[J]. IEEE Communications Letters, 2018, 22(3): 566-569.
- [7] TAN Z, CHENG Y, LIU H, et al. Noise modelling for power line communication in harsh environment[C] // International Conference on Information Science and Control Engineering. Changsha, China: IEEE, 2017: 1559-1563.
- [8] 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.
- [9] 李凤飞, 刘光熹, 胡国荣. 一种适用于电力线通信系统的抗窄带噪声方法[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(4): 84-87.
- LI Fengfei, LIU Guangxi, HU Guorong. Narrowband noise rejection for power line communication system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(4): 84-87.
- [10] ANOH K, ADEBISI B, RABIE K M, et al. On companding and optimization of OFDM signals for mitigating impulsive noise in power-line communication systems[J]. IEEE Access, 2017, 5(9): 21818-21830.
- [11] XU Z, YANG C, TAN Z, et al. Raptor code-enabled reliable data transmission for in-vehicle power line communication systems with impulsive noise[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 27(10): 2154-2157.
- [12] HIMEUR Y, BOUKABOU A. An efficient impulsive noise cancellation scheme for power-line communication systems using ANFIS and chaotic interleaver[J]. Digital Signal Processing, 2017, 66: 42-45.
- [13] 张兰勇, 王帮民, 刘胜, 等. 一种新的变步长自适应噪声消除算法[J]. 电子学报, 2017, 45(2): 321-327.
- ZHANG Lanyong, WANG Bangmin, LIU Sheng, et al. A novel variable step-size adaptive interference cancellation algorithm[J]. Acta Electronic Sinica, 2017, 45(2): 321-327.
- [14] KHAN S, LEE D H. An adaptive dynamically weighted median filter for impulse noise removal[J]. Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, 2017, 67(1): 1-14.
- [15] 杨帆. 基于独立分量分析的低压电力线信号去噪的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- YANG Fan. Research on low voltage power line signal denoising based on independent component analysis[D]. Changsha: Central South University, 2008.
- [16] 高强, 黄丽妍, 侯思祖, 等. 基于独立分量分析的电力线通信的研究[J]. 通信学报, 2007, 28(9): 74-77.
- GAO Qiang, HUANG Liyan, HOU Sizu, et al. Research of powerline communication based on independent component analysis[J]. Journal on Communications, 2007, 28(9): 74-77.
- [17] 孙伟. 高速电力线通信的研究与应用[D]. 太原: 太原理工大学, 2007.
- SUN Wei. Research and application of high speed power line communication[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2007.
- [18] ZIMMERMAN N M, DOSTERT K. A multipath model for the power line channel[J]. IEEE Transactions on Communications, 2002, 50(4): 553-559.
- [19] 胡正伟, 贺冬梅, 谢志远. 面向电力线通信的OFDM符号定时同步算法[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(5): 144-150.
- HU Zhengwei, HE Dongmei, XIE Zhiyuan. OFDM symbol timing synchronization algorithm for PLC[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(5): 144-150.

作者简介:



胡正伟

263.net)。

胡正伟(1978—),男,山东昌邑人,讲师,博士,主要研究方向为电力线通信技术(E-mail: hzwwizard@hotmail.com);

贺冬梅(1994—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要研究方向为电力线通信技术(E-mail: 1301395540@qq.com);

谢志远(1964—),男,河北辛集人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力线通信及智能信息传感技术(E-mail: zhiyuanxie@

(编辑 王欣竹)

OFDM signal separation method for power line communication based on FastICA algorithm

HU Zhengwei, HE Dongmei, XIE Zhiyuan

(School of Electrical & Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: An OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) signal separation method for power line communication based on FastICA (Fast Independent Component Analysis) algorithm is proposed. On the basis of the separation of the two path observation signals by FastICA algorithm, the amplitude of the preamble field of the unmixed signal is normalized and interrelated with the corresponding fields of the leading sequence of the OFDM symbol respectively, and taking the unmixed signal with the largest correlation value as the communication signal, the correct recognition of communication signal and noise is realized. The separation ratio is defined as the ratio of the maximum value of the two correlation values, which is used as the evaluation criterion for the unmixed effect. By setting the appropriate threshold of separation ratio, the desired unmixed effect is achieved. Using the preamble field of the unmixed signal as the reference phase, the DBPSK modulation and demodulation method is used to achieve the reception data unrelated to the phase of the unmixed signal. A MATLAB communication system simulation model is built, and the effectiveness of the proposed method under the condition of low SNR (Signal Noise Ratio) without error correction coding is confirmed. The realizability of the proposed algorithm is verified and tested based on hardware platform.

Key words: power line communication; FastICA algorithm; synchronization; separation of signal and noise; OFDM

附录

表 A1 OFDM 参数

Table A1 OFDM parameters

参数	取值
符号长度	1 024
CP 长度	458
子载波总数	512
子载波总编号	1—512
子载波使用总数	416
子载波使用编号	81—496
前导序列长度	10 240
Payload 个数	6
子载波调制解调方式	DBPSK
信号带宽	10 MHz

表 A2 符号同步算法参数

Table A2 Synchronization algorithm parameters

参数	取值
Th_1/th	40/1 023
N_1	1 024
Th_2	-40/1 023
N_2	20
N_3	500
接收状态超时	10 240
定位状态超时	5 000

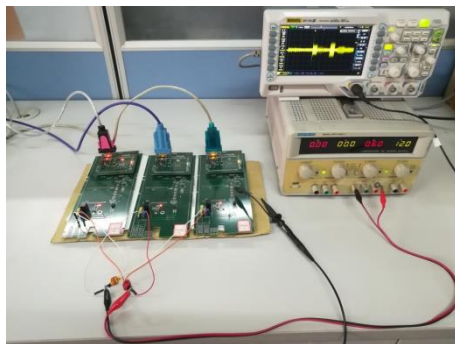


图 A1 硬件测试平台

Fig.A1 Hardware testing platform