

物联网多设备环境下单通道窄带信号盲分离算法研究

陈 婧

(云南工商学院, 云南 昆明 651700)

摘 要: 对物联网设备环境下的单通道窄带信号进行盲分离, 在提高信道均衡性方面具有重要意义. 传统的信号盲分离算法采用正交幅度调制信道分配方法, 对物联网多设备环境下的窄带信号进行盲分离性能较差. 对此提出了基于双门限接收的单通道窄带信号盲分离算法. 构建了信号的双门限判决变量分析模型, 设计单通道窄带相关处理器, 采用基于快速傅里叶变换的单通道窄带相关处理计算方法, 采用分段拟合的方式补偿非线性失真, 对均衡器进行相位信息迭代控制, 结合双门限判决接收算法, 实现了对窄带信号的盲分离算法改进. 研究表明, 采用该算法能有效提高对窄带信号的盲分离检测性能, 能有效实现对原始信号的恢复和特征检测, 提高了信道增益, 实现信道均衡.

关键词: 物联网; 多设备; 信道; 盲分离; 窄带信号

中图分类号: TN911.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)08-0153-05

Lot Equipment Environment More Order Channel Narrowband Signal Blind Source Separation Algorithm Research

CHEN Jing

(Yunnan Technology and Business University, Kunming 651700, China)

Abstract: The lot equipment under the environment of single channel narrow-band signal blind source separation, it is of great significance in enhancing channel balance. Traditional blind source separation algorithm USES the quadrature amplitude modulation channel allocation method, on the Internet of things more equipment environment about the worse performance of narrowband signal blind source separation problem. Based on double threshold receives the single channel of narrowband signal blind source separation algorithm is proposed. Build the double threshold decision variable signal analysis model, design of single channel narrow band correlation processor, based on fast Fourier transform calculation method of the single channel narrow band correlation processing, using piecewise fitting method to compensate the nonlinear distortion, to control the phase information of the iterative equalizer, in combination with double threshold judgment receiving algorithm, implements the narrowband signal blind source separation algorithm is improved. Studies show that the proposed algorithm can effectively improve the narrowband signal blind source separation detection performance, the effective implementation of the original signal recovery and feature detection, improve the channel gain and achieve channel equalization.

Key words: Internet of things; many devices; channel; blind source separation; narrowband signal

1 引言

随着接入技术的不断提高, 物联网得到了迅速的发展, 将会有越来越多的设备接入网络, 这些设备自身所携带的信息和由他们所感知到的信息都是物

联网中的内容, 使得物联网多设备环境下的通道信号传输存在很多问题^[1], 需要对其进行详细的分析, 增加信道增益和均衡, 且对信号进行分离是解决该项问题的主要方法. 由于物联网多设备环境下传输载体通常是单通道窄带信号^[2], 需要对此类单通待

窄带信号进行盲分离处理,通过观测到的信号特征向量恢复出源信号,以此来提高信道均衡性能,因此,研究物联网多设备环境下单通待窄带信号盲分离技术具有重要的意义而受到人们的广泛关注,目前已出现了很多好的方法^[3].

文献[4]提出一种基于单通道窄带模糊度函数分析的信号盲分离方法,提取窄带模糊度作为信号特征,提高对信号的检测和盲分离性能,补偿物联网多设备环境下的偏移信道的增益,取得了一定的效果,但是该算法存在计算量大,实现困难的问题;文献[5]提出一种采用多普勒宽容信号处理的窄带信号盲源分离技术,实现对信号的恢复和特征向量分析,有效提高了物联网设备的信道均衡性能,算法在实现副本信号与接收信号匹配时的匹配性能不好,需要进行改进.

针对上述问题,为了提高信道增益,实现对单通道窄带信号的盲分离,本文提出一种基于双门限接收的单通道窄带信号盲分离算法.通过建立信号的双门限判决变量分析模型,设计单通道窄带相关处理器,采用基于快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform,FFT)的单通道窄带相关处理计算方法,结合双门限判决接收算法,实现了对窄带信号的盲分离算法改进,实验结果证明,采用改进的分离方法其分离准确度及效率均要优于传统的分离方法,具有一定的可行性及有效性.

2 信号模型与判决变量分析

2.1 信号解扩模型与双门限接收假设检验问题

研究物联网设备单通道窄带信号的盲分离模型,首先给出单通道窄带信号的接收信号判决变量分析模型,物联网设备间进行传输时,主要由信号输出端、客户端、信号接收端组成,可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠的服务.这一过程中产生多径输入输出调制偏移,需要采用单通道信号解扩的测距码测距方法实现信道识别.从宏观理论来看,单通道的设计就是信道的设计和優化问题,采用网络数据信号变换和调制解调方案.为了提高传输速率和效率,多阵元系统的BPSK调制码元的分布设计问题成为单通道物联网设备传输性能优化的根本问题^[6].

在物理干扰模型下,假设 $W = \{u, w_1, w_2, \dots, w_k\}$ 表示采用相同的信道在同一时间内进行数据传输的发送结点集,用三元组 (V, D, p) 表示一个物联网, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, v_n\}$ 为 n 个设备传输节点,

$D: V \times V \rightarrow R^+$ 为两个结点间的间隔函数, $p: V \rightarrow R^+$ 为能量分配函数^[7]. 设 $A \subset V$ 表示发送结点的集合, $B \subset V$ 表示接收结点的集合, 且 $A \cap B = \emptyset$. 构造单通道物联网设备传输图 $G(V, r)$, $(r \leq \delta \cdot r_{\max}, \delta \in (0, 1), r_{\max} = (P(N_0\beta)^{-1})^{1/\alpha})$.

通过上述设计,得到单通道窄带信号检测为如下双门限接收假设检验问题:

$$\begin{cases} H_0: r(t) = n(t) \\ H_1: r(t) = g(t) + n(t) \end{cases} \quad t \in [0, T] \quad (1)$$

式中, $r(t)$ 为接收信号, $g(t)$ 为物联网多设备回波传输信号. 一个信息码元间距包括 L 个测距码组, 在信号检测的基础上构建多阵元码间干扰消除方法, 设计单通道窄带相关处理器, 实现对窄带信号的盲源分离, 以提高服务质量.

2.2 单通道接收窄带信号判决变量分析

在上述信号模型设计和检测问题描述的基础上, 进行信号判决变量分析, 假设信号的测距码的码片长度为 T_c , 扩频倍数为 N , 则有 $T_B = NT_c$. 给定 $n(t)$ 为均值为 0、方差为 σ^2 的复平稳高斯白噪声, $s(t)$ 是 B1 导航信号, $j(t)$ 是窄带干扰信号, 在建立单通道物联网设备窄带接收信号判断变量解析模型进程里, 引入窄带信号控制的可调滤波器, 能够修正及补偿网络数据系统特性, 降低码间干扰的影响, 可调滤波器函数系统可表示成:

$$\begin{aligned} s(t) &= \frac{S}{\sqrt{2}} d(t) c(t) \cos(2\pi f_0 t) + \\ &\quad \frac{S}{\sqrt{2}} d(t) c(t) \sin(2\pi f_0 t) \end{aligned} \quad (2)$$

$$j(t) = \sqrt{2J} \cos(2\pi f_j t + \varphi_j) \quad (3)$$

式中, S, J 分别为单通道窄带信号及干扰信号功率, $d(t) = \pm 1$ 为输送的物联网设备信息, $c(t) = \pm 1$, 为扩频码, 经过自适应调整信号输送滤波器及接收滤波器权系数, 让均衡器的相频特征和信道频率特征的逆向量一样^[8]. 为了提高对单通道窄带信号的盲分离性能, 设计单通道窄带信号自相关处理器, 设计框图如图 1 所示.

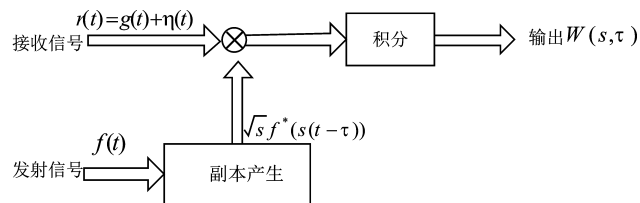


图1 单通道窄带信号自相关处理器

图 1 中,单通道窄带相关处理器的输出为

$$W(s, \tau) = \sqrt{s} \int_{-\infty}^{+\infty} r(t) f^*(s(t - \tau)) dt \quad (4)$$

式中,“*”表示复共轭。对上述信道输出结果进行归一化处理,采用正交相移键控(QPSK)调制,对单通道窄带信号进行网络异常信号特征分析,假设单通道窄带信号的信号测距码速率为 2.046 Mc/s。基于单通道信号解扩的测距码进行模型构建,构建副本相关器,对目标回波的尺度和时延进行估计,单通道信号解扩测量码能够用来减少多径多普勒频移特性,减少干扰影响^[9-14],获得时变信道的判断领域由单一模型转变为多个模型,对应讯息反复管制成 $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$,根据物联网设备讯息扩频码的周期性,进行单通道接收窄带信号判决变量分析^[15]。

3 窄带信号盲分离算法改进实现

3.1 基于 FFT 的窄带信号相关处理方法

在上述进行单通道窄带信号自相关处理器设计和判决变量分析的基础上,为了提高物联网多设备下窄带信号在单通道中的信道均衡性能,需要进行信号盲分离,实现对原信号的恢复,提高应用质量,分析传统方法可见,传统的信号盲分离算法采用正交幅度调制信道分配方法,当信道在单通道模式下对窄带信号的盲分离性能不好。为了克服传统方法的弊端,提出基于双门限接收的单通道窄带信号盲分离算法。首先采用基于快速傅里叶变换 FFT 的单通道窄带相关处理方法,进行信号处理,对于单通道窄带相关处理,接收信号序列为 $r(n) = r(n\Delta t)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$,副本信号序列 $f_s(n) = f_s(n\Delta t) = \sqrt{s}f(sn\Delta t)$, $n = 0, 1, 2, \dots, M-1$,进一步,构造接收序列和副本序列,信号盲分离问题可以表示为

$$J_1(nT_B) = \frac{2\sqrt{J}}{SN} \text{sinc}(\pi\Delta f T_C) \times \sum_{i=0}^{N-1} c_i \cos\left[2\pi\Delta f T_C\left(nN + i + \frac{1}{2}\right) + \varphi_i\right] \quad (5)$$

窄带干扰接收有关治理后生成的判断变量里的干扰分量及固定值,是一个常数,能够把上式以三角函数的形式展开,能表示为

$$J_1(nT_B) = A \cos(n \times 2\pi\Delta f T_B) - B \sin(n \times 2\pi\Delta f T_B) = C \cos(n \times 2\pi\Delta f T_B - \theta) \quad (6)$$

其中:

$$A = \frac{2\sqrt{J}}{SN} \text{sinc}(\pi\Delta f T_C) \times \sum_{i=0}^{N-1} c_i \cos\left[2\pi\Delta f T_C\left(i + \frac{1}{2}\right) + \varphi_i\right]$$

$$B = \frac{2\sqrt{J}}{SN} \text{sinc}(\pi\Delta f T_C) \times \sum_{i=0}^{N-1} c_i \sin\left[2\pi\Delta f T_C\left(i + \frac{1}{2}\right) + \varphi_i\right] \quad (7)$$

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}, \theta = \arctan\left(\frac{B}{A}\right)$$

当 $\rho = 0$ 时,考虑到自适应窄带信号滤波器的权值和最优权值的间隔较远,对均衡器实行对应信息迭代管制。假如 $\Delta f = nR_b$ (n 为整数) 时,由自适应均衡规则获得迭代公式,确定测距码干扰信号分量为一个和 l 无关的固定值,若 $\Delta f \neq nR_b$ 时,测量码分量为一个幅值 C 、角频率是 $2\pi\Delta f T_B$ 的单频波。将抗干扰品质因数 Q 带入等效载噪比 $(C_s/N_0)_{\text{eff}}$ 表达式,基于 FFT 的单通道窄带相关处理,得到盲分离解扩处理增益可以表示为

$$PG_{\text{db}} = 10\lg N - 10\lg(|\text{sinc}(\pi f_J T_C)|^2) - 10\lg(|X_{\text{code}}(f_J)|^2) - 10\lg\left(\sum_{l=-\infty}^{\infty} \left|\text{sinc}\left(\pi T_B\left(f_J - \frac{l}{NT_C}\right)\right)\right|^2\right) \quad (8)$$

式中, A 为物联网设备数据信号振幅; C 表示测距码; D 表示测距码上调制的数据码; f_0 为载波频率; φ 为网络载波初相位。通过上述分析,得到基于 FFT 的单通道窄带相关处理计算框图如图 2 所示。

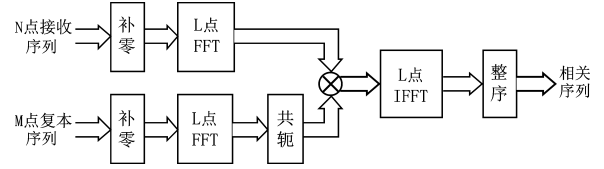


图 2 基于 FFT 的单通道窄带相关处理计算框图

3.2 改进的单通道窄带信号盲分离实现

在物联网多设备环境下,单通道窄带信号的时变信道点跟踪等效载噪比可以表示为

$$\{C_s/N_0\}_{\text{eff}} = \frac{\frac{C_s}{N_0} \left[\frac{B/2}{-B/2} G_s(f) df \right]}{\left[\frac{B/2}{-B/2} G_s(f) df + \frac{G}{N_0} T_B \sin^2(f - k \cdot \Delta f) \cdot T_B \right] \cdot |C(k)|^2 \cdot S(k)} \quad (9)$$

如果 OD 对 ω 间的路径 k 使用信道 a , $\delta_{ak}^w = 1$, 否则 $\delta_{ak}^w = 0$ 。采用分段拟合的方式补偿非线性失真,得到快速傅里叶逆变换(IFFT)长度为 N , 时延扩展与信道特性测量均衡后的频谱为

$$\begin{aligned} & C_{T'}(f) Y_{T'}(f) \\ &= C_{T'}(f) \sum_n x\left(f - \frac{n}{T'}\right) e^{j2\pi\left(f - \frac{n}{T'}\right)\tau_0} \\ &= C_{T'}(f) X(f) e^{j2\pi f \tau_0} \end{aligned} \quad (10)$$

不考虑噪声的影响,通过上述设计的双门限判决接收算法,改变副本信号序列,则两个子序列分别表示为

$$\begin{aligned} r_1(n) &= r_2(n) \exp(-j\omega_0 T_p/2), \quad n = 0, 1, \dots, \\ & (N-3)/2 \end{aligned} \quad (11)$$

$$r_2(n) = A \exp[j(\omega_0 n T + \theta)], n = 0, 1, \dots, (N-3)/2 \quad (12)$$

分别对 $r_1(n)$ 和 $r_2(n)$ 进行 $(N-1)/2$ 点 FFT, 得到离散频谱:

$$R_1(k) = R_2(k) \exp(-j\omega_0 T_p/2), k = 0, 1, \dots, (N-3)/2 \quad (13)$$

$$R_2(k) = A_k \exp(j\varphi_k), k = 0, 1, \dots, (N-3)/2 \quad (14)$$

由此可知, 对和扩频载波同频定相的窄带影响而言, 各个物联网设备讯息符号的判别变量里的干扰分量都是一样的固定值. 经过上述治理及算法的设计, 使用结合双门限判决接收算法, 达到对窄带信号盲分离算法改进的目的.

4 仿真实验

为了证明改进算法在达到窄带信号盲分离提高信道均衡性能的可行性, 进行仿真实验, 实验程序采用 Matlab 设计语言编写, 采用单通道 C/S 架构, 由两个终端组成: 分别是信号的发送端和信号接收端, 进行单通道窄带信号盲分离. 以 BPSK 窄带调制信号为仿真信号, 1 kBaud 的码元速率, 3 kHz 的载波频率, 采样频率是 10 倍载波频率, 仿真进程里次调频双稳态检测相关参数的取值为: $f_s = 1\,000$ Hz, $T_p = 0.2$ s, $f_1 = 150$ Hz, $f_2 = 250$ Hz, $\sigma_w^2 = 1$, $r = 0.8$, $\theta = 0.4\pi$, $P_f = 0.05$. 设计子载波数是 32 与 256, 子载波调制方法分别使用 4QAM、16QAM、32QAM、64QAM. 在窄带干扰条件下, 采用本文算法, 构建传输信号模型, 得到传输终端的接收信号和复本信号的时域波形如图 3 所示.

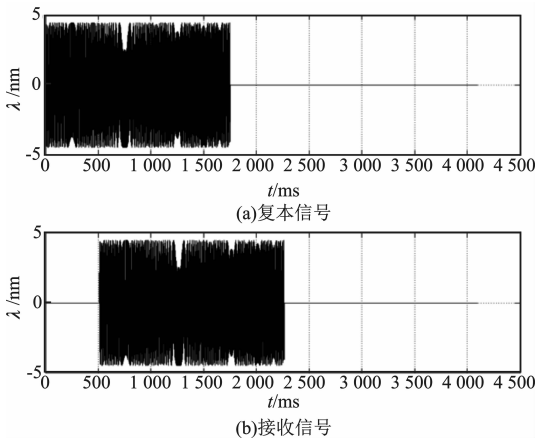


图 3 窄带信号时域波形

从上述信号模型可见, 原始的接收信号受到外界干扰, 难以有效进行源信号的特征分析和提取, 影

响传输信号均衡性能, 需要进行盲分离. 以上述信号样本作为研究对象, 假设窄带信号频率范围 8~12 kHz, 持续时间 400 ms, 采用本文算法进行信号盲分离仿真实验, 得到信号盲分离结果如图 4 所示.

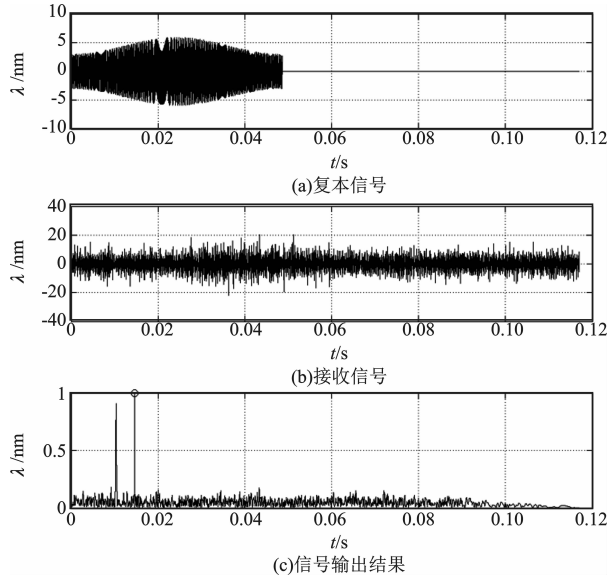


图 4 窄带信号盲分离仿真结果

从图 4 可知, 使用改进算法, 实行窄带信号盲分离时, 可以达到对原始信号恢复及特征检验的目的, 性能优于传统方法. 为了对比算法性能, 使用改进算法及传统算法, 以盲分离后的信道均衡性能为测试标准, 得到性能对比结果如图 5 所示.

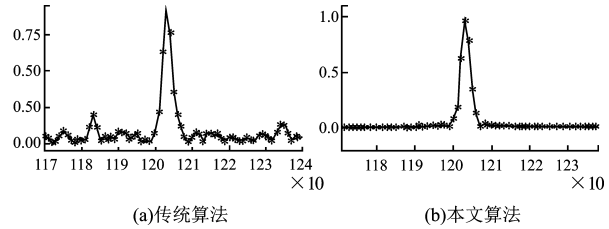


图 5 均衡性能对比

从图 5 分析结果可见, 采用本文算法, 能实现对信道的最佳匹配, 当 $N=32$, $M=32$ 时, 动态补偿增益在 SNR=-10 dB 下有约 2.2 dB 的改进, 当 $N=256$ 时, 信道增益提高约 5 dB, 提高了信道的均衡性能, 展示了本文算法的优越性.

5 结束语

针对物联网多设备环境下, 对单通道窄带信号盲分离时, 存在分离不准确、效率低的问题, 提出基于双门限接收的单通道窄带信号盲分离算法. 通过建立信号双门限判决变量解析模型, 设计单通道窄

带相关处理器,采用基于快速傅里叶变换的单通道窄带相关处理计算方法,结合双门限判决接收算法,实现了对窄带信号的盲分离算法改进.研究表明,采用本文算法能有效提高对窄带信号的盲分离检测性能,信号的恢复和特征检测效果较好,提高了信道增益,实现信道均衡.

参考文献:

- [1] Zibullevsky M, Pearlmutter B A. Blind source separation by sparse decomposition in a signal dictionary[J]. Neural computation, 2001, 13(4):863-882.
- [2] Li Y Q, Cichocki A, Amari S. Analysis of sparse representation and blind source separation [J]. Neural Computation, 2004, 16(6):1193-1234.
- [3] He Z S, Xie S L, Fu Y L. Sparse representation and blind source separation of ill-posed mixtures[J]. Science in China Series F: Information Sciences, 2006, 49(5): 639-652.
- [4] Bofill P, Zibulevsky M. Underdetermined blind source separation using sparse representations [J]. Signal Process, 2001, 81(11):2353-2362.
- [5] Xie S L, Liu Y, Yang J M, et al. Time-Frequency Approach to Underdetermined Blind Source Separation [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2012, 23(2):306-315.
- [6] 靳晓艳, 周希元, 张琬琳. 多径衰落信道中基于自适应 MCMC 的调制识别[J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(1):31-34.
- [7] 韩慧鹏, 梁红, 胡旭娟. 自适应 IIR 陷波器在信号检测中的应用[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(2): 315-317.
- [8] Xie S L, Liu Y, Yang J M, et al. Time-frequency approach to underdetermined blind source separation[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2012, 23(2):306-315.
- [9] 饶雨泰, 杨凡. 网络入侵扰动下的网络失稳控制方法研究[J]. 科技通报, 2014, 30(1): 185-188.
- [10] 黎峰, 吴春明. 基于能量管理的网络入侵防波动控制方法研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(12): 45-48, 335.
- [11] Alfaro V M, Vilanovab R. Robust tuning of 2DoF five-parameter PID controllers for inverse response controlled processes[J]. Journal of Process Control, 2013, 23(4): 453-462.
- [12] 杨明, 郝亮, 徐殿国. 基于自适应陷波滤波器的在线机械谐振抑制[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(4): 63-69.
- [13] 王瑞, 马艳. 基于分数阶傅里叶变换的线性调频脉冲信号波达方向估计[J]. 兵工学报, 2014, 35(3): 421-427.
- [14] 欧世峰, 高颖, 赵晓晖. 自适应组合型盲源分离算法及其优化方案[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(5): 1243-1247.
- [15] 张子木. 物联网接入技术研究与系统设计[J]. 电子设计工程, 2016, 24(2):112-120.

作者简介:

陈 婧 女, (1984-), 硕士, 讲师. 研究方向为软件工程、嵌入式数据存储. E-mail: chenjing38495@163. com.

(上接第 152 页)

作者简介:

刘 婷 女, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为数据挖掘. E-mail: liuting1126@126. com.

林 蔚 女, (1964-), 博士, 副教授. 研究方向为无线传感器网络、数据挖掘.

吕伟国 男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为数据挖掘.