

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802415

# 多径干扰下的物联网链路负载均衡控制算法

林伟垣

(广州华立科技职业学院 广州 511325)

**摘要:** 在多径干扰下的物联网传输链路容易受到多径效应的影响导致链路均衡性不好,物联网数据转发的误码率较高。为了提高多径干扰下的物联网链路负载均衡控制能力,提出了一种基于分数间隔均衡和误比特率反馈调制技术的物联网数据转发负载均衡控制模型,构建多径干扰下的物联网传输链路模型,分析物联网链路的多径特性,采用扩频信道调制方法进行物联网链路的码间干扰滤波,结合分数间隔均衡技术进行链路均衡设计,采用信道的带宽自适应调节模型进行物联网链路的多径抑制,结合误比特率反馈调制解调技术实现物联网链路负载均衡控制,克服信道对于多径干扰产生的多径衰减的影响,提高物联网链路负载均衡性。仿真结果表明,采用该算法进行物联网链路负载均衡控制,数据转发输出的码元保真性较好,误码率较低,在多径干扰信道的链路转发自适应控制性能较好,提高了物联网链路的稳健性和鲁棒性。

**关键词:** 物联网;多径效应;负载均衡控制;调制;通信

**中图分类号:** TN911;TN915 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.10

## Load balancing control algorithm for internet of things link under multi-path interference

Lin Weixuan

(Guangzhou Huali Science and Technology Vocational College, Guangzhou 511325, China)

**Abstract:** Under multipath interference, the transmission link of Internet of things is easily affected by multipath effect, which leads to poor channel equalization, and high bit error rate (BER) of Internet of things data forwarding. In order to improve the load balancing control ability of IOT link under multipath interference, This paper presents a load balance control model for Internet of things data forwarding based on fractional interval equalization and bit error rate feedback modulation technology. The model of Internet of things transmission link under multipath interference is constructed, and the multipath characteristics of Internet of things link are analyzed. The spread spectrum channel modulation method is used to filter the inter-symbol interference in the Internet of things link, the fractional interval equalization technique is used to design the channel equalization, and the adaptive channel bandwidth adjustment model is used to suppress the multipath of the Internet of things link. Combined with bit error rate feedback modulation and demodulation technology, load balancing control of Internet of things link is realized, which overcomes the influence of channel on multipath interference and improves load balance of Internet of things link. The simulation results show that the proposed algorithm is used for load balancing control in the Internet of things link. The code element fidelity of the data forwarding output is good, the bit error rate is low, and the link forwarding adaptive control performance in the multipath interference channel is better. The robustness and robustness of the Internet of things link are improved.

**Keywords:** internet of things; multipath effect; load balancing control; modulation; communication

## 0 引言

在多径干扰下,物联网数据转发采用频谱感知和频谱分类进行信息分类传输,采用动态波特间隔均衡控制技术进行物联网传输链路调度,实现频谱感知和频谱分类,解决

频谱资源短缺的现状。在多径干扰下,物联网传输链路容易信受到网络频谱干扰,容易出现多途效应,信号能量的衰减较大,需要进行信道和传输链路的均衡控制,提高物联网链路的负载均衡调度能力,从而提高物联网环境下的大数据通信传输的保真性<sup>[1]</sup>,研究多径干扰下的物联网链路负

载均衡控制模型,对物联网传输链路和频谱进行有效管理和控制,通过联合特征识别和链路均衡设计,进行网络传输信道的无差错控制,提高物联网数据转发和资源传输控制的高效性和智能性,相关的物联网链路负载均衡控制算法研究受到人们的极大重视。

在多径干扰下的物联网链路负载均衡控制技术是建立在物联网链路多模控制和码元调制解调技术上的<sup>[2]</sup>,多径干扰下物联网传输链路受到电磁介质干扰和信道输出多途效应的影响,容易产生码间干扰,导致通信信道失衡<sup>[3]</sup>,需要进行链路均衡设计和调度,提高大数据输出的保真度。传统方法结合自适应调制解调技术进行输出码元调制,采用扩频技术进行信道扩频调度,提高链路负载均衡控制的抗干扰性和鲁棒性,取得了一定的研究成果。文献<sup>[4]</sup>提出一种基于判决反馈自相干匹配的多径干扰下物联网数据转发均衡算法,该均衡算法优点是消除 ISI 的同时不会扩大噪声增益,但该方法不能有效抑制电磁辐射和多径干扰下的冲激响应干扰,导致链路输出的负载均衡控制能力和抗干扰能力不强;文献<sup>[5]</sup>提出基于 PTRM 与 DS 结合的链路负载均衡控制算法,采用码间干扰抑制模型进行多径滤波和信道抗干扰处理,提高了物联网链路的负载均衡控制能力,但该方法存在计算开销过大、复杂度高的问题。

针对上述问题,本文提出一种基于分数间隔均衡和误比特率反馈调制技术的物联网数据转发负载均衡控制算法,首先构建多径干扰下的物联网传输链路模型,分析物联网链路的多径特性,然后采用信道的带宽自适应调节模型进行物联网链路的多径抑制,结合误比特率反馈调制解调技术实现物联网链路负载均衡控制,提高链路均衡性。最后进行仿真实验,展示了本文方法在提高链路负载均衡控制性能,提高物联网数据转发传输质量方面的优越性能。

## 1 多径干扰下物联网多径链路模型及信道特性分析

### 1.1 多径干扰下物联网多径链路模型描述

为了实现多径干扰下的物联网链路负载均衡控制,需要首先构建多径干扰下物联网传输链路模型,进行通信信号的输入输出特性分析。多径干扰下物联网传输链路是一个扩展链路,多径干扰下码元间隔和分数间隔负载均衡控制具有适应性。在多普勒频移影响了多径干扰下物联网数据转发的载波跟踪和码元同步,采用扩频信道模型构造方法进行多径干扰下的物联网链路模型优选控制<sup>[6]</sup>,得到信道的冲激响应可以表示为:

$$h(t) = \sum_i a_i(t) e^{j\theta_i(t)} \delta(t - iT_s) \quad (1)$$

式中:  $\theta_i(t)$  为各条路径的相位偏移,为了适应信道的随机变化性,采用动态补偿技术进行多径干扰下物联网传输链路的符号采样处理<sup>[7]</sup>,采用正负信号翻转方法进行输出信号模型重构为:

$$y_k^+ = \begin{cases} y_k^+, & y_k^+ \geq 0 \\ 0, & y_k^+ < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$y_k^- = \begin{cases} y_k^-, & y_k^- \geq 0 \\ 0, & y_k^- < 0 \end{cases} \quad (3)$$

在离散多径情况下,设计训练序列,通过递归算法来评估信道特性,信道的定量递归分析迭代式可以表示为:

$$x(t) = [x_{-p+1}(t), x_{-p+2}(t), \dots, x_p(t)]_{N \times 1}^T \quad (4)$$

$$s(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_l(t)]_{l \times 1}^T \quad (5)$$

根据上述分析,采用图 1 所示的横向时域滤波器进行通信信道的调制滤波,使得物联网数据转发系统的输出时延等于相-频特性曲线的斜率,结合抽头加权控制<sup>[8]</sup>,在输出端对各路多径信号进行相加处理,输出均衡后的通信信号。

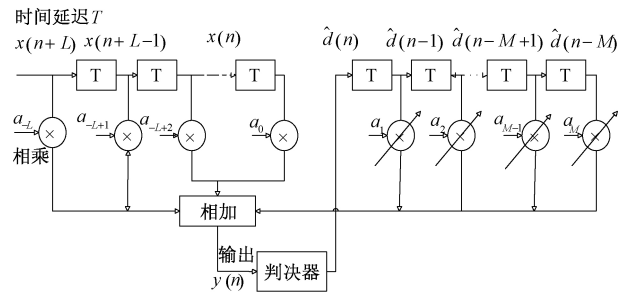


图 1 横向滤波器结构

在图 1 中,在多径信道中输出多径干扰数据信息流为:

$$x_k = \sum_{n=0}^{N-1} C_n \cdot e^{j2\pi kn/N} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (6)$$

以二阶统计量代替统计平均量,得到多径干扰下物联网多径链路模型:

$$x_k = \sum_{n=0}^{N/2-1} 2 \left( a_n \cos \frac{2\pi kn}{N} - b_n \sin \frac{2\pi kn}{N} \right) \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

式中:  $a_n$  表示抽头间隔;  $b_n$  为均衡器时变抽头系数。构建多径干扰下的物联网传输链路模型,分析物联网链路的多径特性,采用扩频信道调制方法进行物联网链路的码间干扰滤波处理<sup>[9]</sup>。

### 1.2 物联网链路的码间干扰滤波

采用扩频信道调制方法进行物联网链路的码间干扰滤波,结合分数间隔均衡技术进行链路均衡设计,扩频信道调制的幅值  $b_i$ ,在多径传输链路干扰环境中,根据扩频调制逐层分配物联网数据转发传输的帧数,构建多径干扰下物联网数据转发的信道模型,并进行链路均衡设计,得到冲激响应函数为:

$$U_{v_i} = \beta_{v_i} \times \log \left( 1 + \partial_{v_i} \times \sum_{j=1}^K S_{v_j} e_j^T \frac{R_{C_j}}{n_{C_j}} \right) \quad v_i \in v, C_j \in C \quad (8)$$

在网络效用最大化约束条件下,采用信道分配策略得到最佳信道匹配的概率公式如下:

$$p(i, j) = p(i)p(j) = \frac{\rho^i}{i!} \frac{\rho^j}{j!} \quad i, j = 0, 1, \dots, n \quad (9)$$

调整均衡器的抽头系数,进行自适应加权,根据信道特性极差进行干扰滤波,采用自适应级联滤波模型进行干扰抑制<sup>[10]</sup>,得到滤波函数为:

$$x(t) = \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K(m)} q_j \omega_{mk} p(t - jT_s - T_m - \tau_{mk}) + v(t) \quad (10)$$

式中:  $q_j$  是信道短时间内瞬时冲激响应;数据训练序列表示为  $a_j$ ; 均衡器的抽头延迟模型为  $c_j$ 。通过各级之间干扰抑制,得到码间干扰滤波后的信道输出码流为:

$$T(n) = \sum_i R(n, i) + T(n+1) \quad (11)$$

式中:  $T(n+1)$  表示第  $n+1$  层的多径干扰下的比特序列流;  $R(n, i)$  表示第  $n$  层中第  $i$  个网络传输链路层的互相关信息量。通过上述分析得知,采用本文方法进行物联网链路的码间干扰滤波,能有效抑制干扰项。

## 2 链路负载均衡控制优化

### 2.1 物联网链路的多径抑制

在构建多径干扰下的物联网传输链路模型,分析物联网链路的多径特性的基础上,进行物联网链路负载均衡控制算法优化设计,针对物联网链路存在多径影响导致码间干扰的问题,进行链路负载均衡控制算法改进,本文提出一种基于分数间隔均衡和误比特率反馈调制技术的物联网数据转发负载均衡控制算法,采用扩频信道调制方法进行物联网链路的码间干扰滤波,假设传输链路层中的码元个数为  $N_f$  个,采样时间间隔为  $T_f$ ,分数间隔均衡公式:

$$Int(e, i) = \frac{f(e(i))}{C(e, i)} + \sum_{e' \leq k(e)} \frac{f(e'(i))}{C(e', i)} \quad (12)$$

式中:  $\frac{f(e'(i))}{C(e', i)}$  表示多径干扰下物联网数据转发的  $e$  领域内的干扰率。基于有限冲击响应滤波原理,得到多径干扰下物联网数据转发网络的信道带宽为:

$$T_s = N_f T_f \quad (13)$$

经过信道的多径传播后,得到多径干扰下物联网传输链路接收端的时间延迟为:

$$x(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K(m)} \omega_{mk} s(t - T_m - \tau_{mk}) + v(t) \quad (14)$$

式中:  $\omega_{mk}$  为存在相位偏移的多个分量的叠加;  $v(t)$  为高斯噪声。采用扩频信道调制方法进行物联网链路的码间干扰滤波,结合分数间隔均衡技术进行链路均衡设计<sup>[11]</sup>。

### 2.2 分数间隔均衡链路负载均衡控制算法

为了消除码元造成的串扰,求解多径干扰下物联网传输链路稀疏表矩阵  $W$  的最优解,即:

$$W_{opt} = \arg \min_W \| (X - DW)G \|_F^2 \quad \text{s.t.} \quad \| \omega_i \|_0 \leq k \quad \forall i \quad (15)$$

采用一个横向滤波器做前向滤波处理,输出非线性滤波的最优估计为:

$$D_{opt} = \lambda X V^{-1} W^T (W V^{-1} W^T)^{-1} \quad (16)$$

得到链路负载均衡控制的递推计算形式:

$$C_{(i+1)} = \lambda_i^{-1} C_{(i)} - \beta_{i+1}^{-1} a u u^T \quad (17)$$

$$D_{(i+1)} = D_{(i)} + \beta_{i+1}^{-1} \alpha z_{i+1} u^T \quad (18)$$

其中,检测出的码元的抽头因子为  $\lambda_i$ 。通过自适应频谱扩展,得到多径干扰下的信道相位偏转为:

$$S_{v_i} = \{k(v_1, 1), \dots, k(v_1, i), \dots, k(v_1, K)\} \quad K \leq M, \quad j \in M \quad (19)$$

在抽头线性均衡模型下,物联网链路负载均衡控制的稳态误差满足  $T_p = N_p T_c$ ,  $a_i$  是信道系统参数,  $\epsilon$  是调制时间偏移常量,物联网链路的多径抑制抑制后的时间函数为  $T_c$ 。通过抽头延迟线性模型设计进行物联网链路多径抑制<sup>[12-14]</sup>,得到输出信道调制函数为:

$$U_{v_i} = \beta_{v_i} \times \log \left( 1 + \partial_{v_i} \times \sum_{j=1}^K S_{v_i} e_j^T \frac{R_{C_j}}{n_{C_j}} \right) \quad v_i \in v, \quad C_j \in C \quad (20)$$

根据采样通信信号的频谱,进行分集负载均衡控制,得到的多径干扰下物联网链路负载均衡控制模型如下:

$$\alpha(i, j) = \begin{cases} 0, & i = 0 \text{ 或 } j = 0 \\ 1, & n - j < i, i \geq j \\ 1, & n - i < j, j \geq i \\ 1 - \frac{n-j}{n} C_i / n C_i, & n - j \geq i, i \geq j \\ 1 - \frac{n-i}{n} C_j / n C_j, & n - i \geq j, j \geq i \end{cases} \quad (21)$$

将  $\alpha(i, j)$  表示节点在  $(i, j)$  状态时的发送状态,得到公式  $P_c = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \alpha(i, j) P(i, j)$ , 并以此为最终多径干扰下物联网链路负载均衡控制的分配策略<sup>[15]</sup>。采用抽头延迟线性模型进行负载均衡控制,得到输出的信号为:

$$s_{PPM}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} p(t - iT_s - jT_p - c_j T_c - a_j \epsilon) \quad (22)$$

$$s_{PAM}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j p(t - jT_s) \quad (23)$$

式中:  $T_s$  是步长因子;  $T_p$  为多径干扰的采样数据;  $T_c$  为误差信号  $e(n)$  之间的非线性时延参量;  $c_j$  为均衡器参数(权重)。综上处理,采用信道的带宽自适应调节模型进行物联网链路的多径抑制,结合误比特率反馈调制解调技术实现物联网链路负载均衡控制,克服信道对于多径干扰产生的多径衰减的影响,提高物联网链路负载均衡性<sup>[16]</sup>。

## 3 仿真实验与性能分析

为了测试本文方法在实现多径干扰下物联网链路负载均衡控制,提高物联网数据转发传输质量方面的应用性能,

进行仿真实验。实验建立在 MATLAB 仿真软件上。实验中多径干扰下物联网数据转发系统的传输信号采用 BPSK 调制载波信号模拟,物联网数据转发信号的采用频率为 12 kHz,载频信号为一组频率为 24 kHz 的正弦信号,波特间隔采样率为 18 kHz,物联网链路中的传输信号带宽是 6~13 kHz,物联网进行信号转发的频率间隔  $\Delta f=10$  Hz,根据上述仿真环境和参量设定,进行物联网链路负载均衡控制仿真实验,得到物联网的链路转发信号模型如图 2 所示。

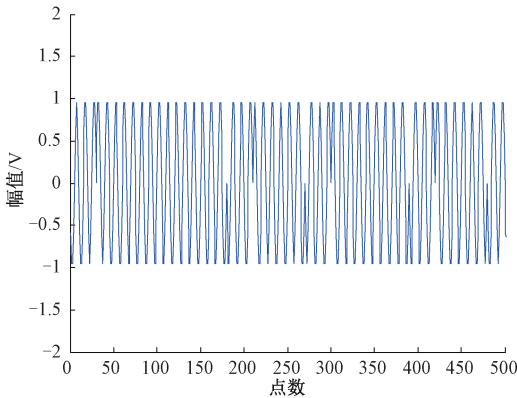


图 2 物联网的链路转发信号的 BPSK 信号

图 2 发射的 BPSK 信号受到多径干扰,导致码元接收效果不好,采用本文方法进行物联网链路的多径抑制,结合误比特率反馈调制解调技术实现物联网链路负载均衡控制,得到多径抑制后输出物联网链路冲激响应如图 3 所示。

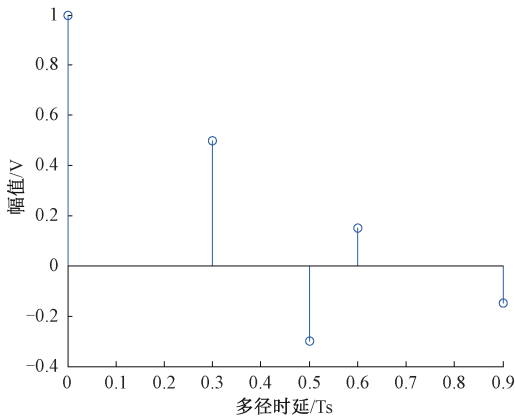


图 3 多径干扰抑制后的信道冲激响应

分析图 3 结果可知,采用本文方法进行物联网链路负载均衡控制,具有很强的脉冲冲激响应,提高了信道的抗干扰抑制能力,从而提高了物联网链路的码元接收能力,说明采用本文方法进行链路负载均衡控制的信号输出性能较好,码元保真度较高。为了对比性能,采用本文方法和传统方法进行对比分析,多径干扰的干扰信噪比取  $-10 \sim 10$  dB,在其它相同条件下,测试输出误比特率,得到对比结果如表 1 所示。

表 1 物联网输出的误比特率对比

SNR	本文方法	波特间隔方法
-10	0.054	0.132
-5	0.021	0.083
0	0.016	0.067
5	0.002	0.054
10	0	0.013

分析表 1 结果得知,采用本文方法进行多径干扰下的物联网链路负载均衡控制,未均衡之前的误码 83 码元,误码率为 16.21%,波特间隔的前置均衡器均衡处理后的误码 23 码元,误码率为 4.49%,而用抽头间隔为 1/2 码元间隔的判决反馈均衡器处理后的误码为 5 码元,误码率为 0.98%,说明本文方法能有效降低输出误码率,提高物联网数据传输的质量,输出误比特率较低,提高了物联网链路的稳健性和抗干扰能力,通信信道的鲁棒性较好。

进一步分析得知,在微多径条件下,采用判决反馈均衡器的效果要比波特间隔判决反馈均衡器好,本文方法能有效克服信道对于多径干扰产生的多径衰减,还表明了降低采样间隔可以进一步改善均衡效果。

## 4 结 论

为了提高多径干扰下的物联网链路负载均衡控制能力,本文提出一种基于分数间隔均衡和误比特率反馈调制技术的物联网数据转发负载均衡控制模型,构建多径干扰下的物联网传输链路模型,分析物联网链路的多径特性,采用扩频信道调制方法进行物联网链路的码间干扰滤波,结合分数间隔均衡技术进行链路均衡设计,采用信道的带宽自适应调节模型进行物联网链路的多径抑制,结合误比特率反馈调制解调技术实现物联网链路负载均衡控制,克服信道对于多径干扰产生的多径衰减的影响,提高物联网链路负载均衡性。研究结果表明,采用该算法进行物联网链路负载均衡控制,数据转发输出的码元保真性较好,误码率较低,在多径干扰信道的链路转发自适应控制性能较好,提高了物联网链路的稳健性,在物联网通信设计中具有很好的应用价值。

## 参考文献

- [1] 段静波. 光纤云平台终端接口的负载均衡性改进技术[J]. 激光杂志, 2017, 38(1): 140-143.
- [2] 崔永君, 张永花. 基于特征尺度均衡的 Linux 系统双阈值任务调度算法[J]. 计算机科学, 2015, 42(6): 181-184.
- [3] 钟凯, 彭华, 葛临东. 基于 FABA-SISO 的时变频率选择性衰落信道 CPM 信号盲均衡[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(11): 2672-2677.
- [4] BADRINARAYANAN V, KENDALL A, CIPOLLA R. SegNet: A deep convolutional encoder-decoder

- architecture for image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(12):2481-2495.
- [5] WEI X S, LUO J H, WU J. Selective convolutional descriptor aggregation for fine-grained image retrieval[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(6): 2868-2881.
- [6] RAZAVIAN A S, SULLIVAN J, CARLSSON S. Visual instance retrieval with deep convolutional networks[J]. IEEE Transactions on Media Technology and Applications, 2016, 4(3):251-258.
- [7] 博于, 赵尚弘, 李勇军, 等. 一种基于星间光链路的帧同步与频偏估计方法[J]. 激光技术, 2016, 40(2): 264-269.
- [8] 蒋本立, 张小平. 大数据网络的均衡调度平台设计与改进[J]. 现代电子技术, 2016, 39(6): 62-65.
- [9] 徐晓斌, 张光卫, 孙其博, 等. 一种误差可控传输均衡的 WSN 数据融合算法[J]. 电子学报, 2014, 42(6): 1205-1209.
- [10] 李永刚, 张治中, 李龙江. 一种 WLAN 与 eHRPD 系统间负载均衡算法[J]. 微电子学与计算机, 2017, 34(1): 44-47.
- [11] 唐亚欣, 李燕龙, 杨超, 等. 地空信道下基于 OFDM/OQAM 系统的时频同步算法[J]. 计算机应用, 2018, 38(3): 741-745.
- [12] ZHANG Y, FU P, LIU W, et al. Imbalanced data classification based on scaling kernel-based support vector machine [J]. Neural Computing and Applications, 2014, 25(3-4):927-935.
- [13] 王帅, 黄海鸿, 韩刚, 等. 基于 PCA 与 GA-BP 神经网络的磁记忆信号定量评价[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(10):190-196.
- [14] 杨鸿杰, 张君毅. 基于强化学习的智能干扰算法研究[J]. 电子测量技术, 2018, 41(20):49-54.
- [15] 任晓敏, 李东新. 基于多速率 LMS 算法的语音自适应滤波器[J]. 国外电子测量技术, 2018, 37(9):68-73.
- [16] 贾昊, 董泽, 闫来清. 基于信号分解和统计假设检验的稳态检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(10):150-157.

### 作者简介

林伟烜, 硕士, 讲师, 主要研究方向为软件设计、数据库管理、大数据分析与应用方向。

E-mail: linweixuan@126.com