

Modeling and Analysis of WSN Node Based on Improved Pulse MPPSK Modulation

Henjun Wang, Lenan Wu

Radio Engineering Department, Southeast University, Nanjing Jiangsu
Email: whjseu@163.com

Received: Nov. 7th, 2015; accepted: Nov. 28th, 2015; published: Dec. 8th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The nodes of Wireless Sensor Networks (WSN) are key part of the Internet of things. The life of the battery is an important factor which restricts its development. Pulse MPPSK modulation, which is suitable for the communication mode of WSN nodes, has a higher energy utilization rate than continuous MPPSK modulation. In this paper, we model the WSN node based on the improved pulse MPPSK modulation, and derive the formula of the energy consumption per bit. At the end of this paper, the simulation results are carried out according to the distance between the nodes.

Keywords

Improved Pulse MPPSK Modulation, WSN System Modeling

基于改进型脉冲MPPSK调制的WSN节点建模分析

王何浚, 吴乐南

东南大学信息科学与工程学院, 江苏 南京
Email: whjseu@163.com

收稿日期: 2015年11月7日; 录用日期: 2015年11月28日; 发布日期: 2015年12月8日

摘要

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)节点是物联网构成的关键部分,其中电池的使用寿命是制约其发展的重要因素。脉冲MPPSK调制比连续MPPSK调制拥有更高的能量利用率,非常适合作为WSN节点的通信方式。本文通过对基于改进型脉冲MPPSK调制的WSN节点进行建模,推导出了每单位比特能耗的公式,并按照节点间距离进行了仿真验证。

关键词

改进型脉冲MPPSK调制, WSN节点建模

1. 引言

随着移动互联网和物联网的发展,越来越多的设备会被接入到网络之中,这就需要更多的频谱资源。而频谱资源十分宝贵,欧洲国家对此采用了拍卖的方式,而我国则花钱也买不到有利的频段和带宽。在这种情况下,能否充分利用有限的频谱资源来获得最大的传输效率,就是无线通信要研究的重点 [1]。而WSN [2]-[4]是一种分布式传感网络,其末梢是可以感知和检测外部世界的传感器,具有无线通信功能,可接入互联网,是物联网的重要组成,其中单个传感器节点的价格和电池的使用寿命是制约其发展的两大因素。

多元位置相移键控(MPPSK)调制 [5]是一种可对位置和相位都进行键控的二维多进制调制,信息速率高,频谱利用率高,是解决空间频谱资源短缺的一个有效途径。而脉冲MPPSK调制,是在MPPSK调制的基础上去除载波,以适当牺牲频谱利用率来极大提升能量利用率,以应对电池寿命要求很高的无线传感网络节点。改进型脉冲MPPSK调制 [6]又通过改变码元集合提升了解调性能,简化了解调器结构,进一步减少了系统能耗。文献 [7]给出了基于MIMO的WSN的功耗和延迟公式;文献 [8]针对传统调制方式MQAM和MFSK提出了建模方法,给出了单位比特能耗公式并进行了仿真验证;文献 [9] [10]研究低占空比WSN节点的调度和控制算法。目前没有针对改进型脉冲MPPSK调制的节点建模方法,这给后续能耗分析带来了困难。

本文首先介绍常规和改进型脉冲MPPSK调制的定义,同时导出改进型脉冲MPPSK调制的符号差错概率;然后分析了WSN节点模型;接着在模型中引入改进型脉冲MPPSK调制,得到理论公式;最后,根据公式和设置的参数进行仿真验证,并和常规MPPSK调制进行对比。结果表明,仿真结果符合理论分析,并且改进型脉冲MPPSK调制在能耗方面优于常规MPPSK调制。

2. 常规和改进型脉冲MPPSK调制

2.1. 脉冲MPPSK调制

如果不考虑保护间隔,则简化的、满位置的脉冲MPPSK调制在一个码元周期 T_s 内发送 $M > 2$ 种数据符号 $k = 0, 1, \dots, M - 1$,其调制波形可以定义为:

$$g_k(t) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < NT, & k = 0 \\ 0, & 0 \leq t \leq (k-1)KT, \\ \sin 2\pi f_c t, & (k-1)KT < t < kKT, & 1 \leq k \leq M-1 \\ 0, & kKT \leq t < NT \end{cases} \quad (1)$$

式中 T 为载波周期。如要求满位置调制, 则可令 $N = K(M-1)$ 。从式(1)可见, 脉冲 MPPSK 和常规 MPPSK 调制相比, 未调制的位置均为零电平, 从而载波分量和能耗大为降低。

2.2. 改进型脉冲 MPPSK 调制

无论是常规 MPPSK 调制还是脉冲 MPPSK 调制, 码元“0”的调制波形都不存在相位跳变, 因而产生不了类似非“0”码元的幅度冲击, 对两者的区分完全依赖于这种幅度类型的门限判决。由于无线信道的衰落影响 [11], 固定门限难以最优, 而自适应门限又增加了系统的复杂性, 也会加大节点的能耗。因此, 在文献 [12]中提出了改进的 MPPSK 调制, 将原来的码元集合从 $(0, 1, 2, 3, \dots, M-1)$ 调整为 $(1, 2, \dots, M)$, 使得 MPPSK 调制无需专门设置判决门限来区分“0”和“非 0”码元, 不仅取得了更优的解调性能, 而且简化了解调器结构。

本文的改进脉冲 MPPSK 调制表达式如下:

$$g_k(t) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < NT, & k = 0 \\ 0, & 0 \leq t \leq (k-1)KT, \\ \sin 2\pi f_c t, & (k-1)KT < t < kKT, & 1 \leq k \leq M-1 \\ 0, & kKT \leq t < NT \end{cases} \quad (2)$$

文献 [13]提到了改进的 MPPSK 调制符号差错概率(SER)的推导过程, 我们据此可导出改进型脉冲 MPPSK 的 SER 为:

$$P_e \approx (M-1)Q\left(\sqrt{\frac{Nf_s\gamma}{2f_c}}\right) \quad (3)$$

其中, $Q(x) = \int_x^\infty \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\right) e^{-\frac{u^2}{2}} du$, 信噪比为 $\gamma = P_r / (2B\sigma^2 N_f)$ 。 P_r 为接收信号功率, σ^2 为 AWGN 信道的噪声功率, N_f 是接收机噪声系数, 定义为 $N_f = N_{\text{total}} / (2B\sigma^2)$, N_{total} 是在接收机前端引入噪声的功率, N 表示码元中的载波周期数目。

3. WSN 系统模型分析 [14]

WSN 节点之间的通信, 可建模为短距离无线通信 [15]。根据实际应用, 此种网络都是低速网络, 并且系统结构也相对简单, 即数据处理不会很复杂, 所以我们先忽略其能耗, 而把分析重点放在传输能耗和电路能耗上。因此, 发射端我们需要考虑的部件有: DAC、滤波器、混频器、本振、功率放大器, 电路模型如图 1; 接收端则有: 滤波器、低噪声放大器、混频器、本振、中频放大器和 ADC, 电路模型如图 2。

假设要求在 T 时间内传输 L 位数据, 发射机和接收机需要 T_{on} ($T_{on} < T$) 时间完成通信, T_{on} 是一个可以优化的参量。在 T_{on} 时段电路在工作状态, 其它时间则分为两部分, 分别是转换时间 T_{tr} 和休眠时间 T_{sp} 。休眠时间表示节点在非工作时段进入省电模式, 而转换时间则是指 WSN 节点在另外两个状态间切换, 是一个过渡状态, 存在这个状态主要是因为锁相环(PLL)需要一定的建立时间。由上述规定, 总的能耗我们可以表示为:

$$E = P_{on}T_{on} + P_{sp}T_{sp} + P_{tr}T_{tr} = (P_t + P_c)T_{on} + P_{sp}T_{sp} + P_{tr}T_{tr} \quad (4)$$

其中, P_{on} 表示工作功率, P_{sp} 表示睡眠功率, 而 P_{tr} 则是转换状态功率, 另外 P_t 是传输时的功率, P_c 是电路功率。

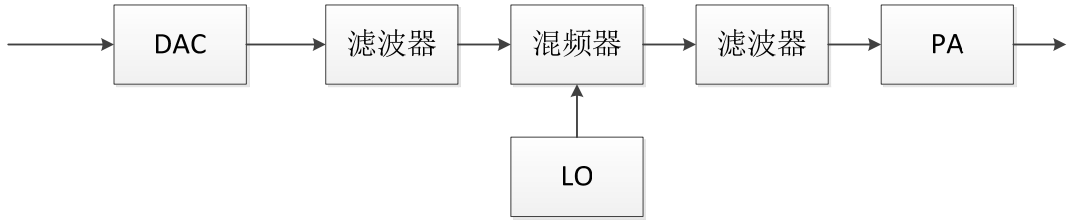


Figure 1. Transmitter circuit
图 1. 发射机电路组成

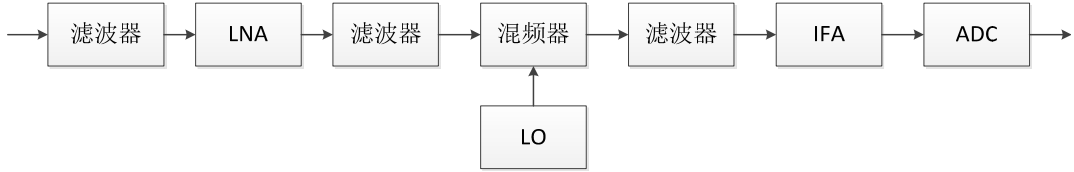


Figure 2. Receiver circuit
图 2. 接收机电路组成

由于 WSN 节点在非工作状态是为了降低能耗, 以保证工作寿命, 所以此时电路全部处于待机状态, 只有电路内部一些极小的漏电消耗, 我们可以认为 $P_{sp} = 0$ 。而在转换状态我们可以认为只有两个频率合成器在工作, 因此 $P_{tr} = 2P_{syn}$, P_{syn} 表示频率合成器的功率。此时, 我们可以看到式(2)中就剩下了最后一项, 其中包括了 DAC、ADC、滤波器、低噪声放大器、功率放大器等。其中除了功率放大器, 其它器件与传输功率没有直接关系, 可认为其是定值。而功率放大器所消耗的功率则与传输速率、调制方式和通信距离紧密相关, 其与信号传输功率的关系为 $P_{amp} = \alpha P_t$, 其中 $\alpha = \frac{\xi}{\eta} - 1$, η 是漏极效率, ξ 是峰均比 (PAR), ξ 与调制方式和星座图相关。由此可以得出:

$$P_t + P_c = P_t + P_{amp} + P_c' = (1 + \alpha)P_t + P_c' \quad (5)$$

P_c' 是除去功率放大器的电路能耗。至此, 我们就可以得到每单位比特的能耗:

$$E_a = \frac{(1 + \alpha)P_t T_{on} + P_c' T_{on} + P_{tr} T_{tr}}{L} \approx \frac{(1 + \alpha)E_t + P_c' T_{on} + 2P_{syn} T_{tr}}{L} \quad (6)$$

4. 基于改进型脉冲 MPPSK 的 WSN 节点分析

考虑改进的脉冲 MPPSK, 如果近似考虑, 我们可以认为:

$$P_r \approx 2B\sigma^2 N_f \frac{f_c}{Nf_s} \ln \frac{M-1}{pe} \quad (7)$$

其中 pe 即为式(3)。继续假设一个 K 阶的路径衰减, 通过以下关系可以算出发射端所需的功率:

$$P_t = P_r G_d \quad (8)$$

其中 $G_d = G_t d^k M_l$, M_l 是链路补偿系数, G_t 是当距离为 1 m 时的系数, 其数值由天线增益、载波频率及其它参数共同决定。由此, 发射的总能量可以写为:

$$E_t = P_t T_{on} \approx 2B\sigma^2 N_f \frac{f_c}{Nf_s} \ln \frac{M-1}{pe} G_d T_{on} \quad (9)$$

可见 E_t 是 T_{on} 的单调递减函数。最终, 我们得到 E_a 的表达式:

$$E_a = 2 \frac{1+\alpha}{L} B \sigma^2 N_f \frac{f_c}{N f_s} \ln \frac{M-1}{pe} G_d T_{on} + \frac{P_c T_{on} + 2P_{syn} T_{tr}}{L} \quad (10)$$

5. 仿真与分析

针对我们实际使用的改进型脉冲 MPPSK 调制进行仿真分析, 仿真参数如表 1。

本文针对 1 m、5 m、30 m 和 100 m 进行了仿真, 结果如图 3。在距离近时, 单位比特能耗与 T_{on}/T 不是单调关系, 存在非边界的最优点, 但随着传输距离变大, 最佳能效的工作方式趋向于系统全部时间都处于工作状态这种方式。

从式(10)中, 我们可以看到传输能耗取决于传输距离, 而电路能耗却与此无关。因此, 当节点彼此靠近时, 电路能耗占比高, 此时缩短电路工作时间将是减少单位比特能耗的重要方法。随着传输距离的增加, 传输能耗逐渐占据主导, 此时减少单位比特传输能耗则成为了减少总单位比特能耗的重要方法。

图 4 给出了改进型脉冲 MPPSK 调制和常规 MPPSK 调制在相同的距离下单位比特能耗的对比图, 仿

Table 1. Improved pulse MPPSK simulation parameters

表 1. 改进型脉冲 MPPSK 仿真参数

$f_c = 21 \text{ MHz}$	$f_s = 210 \text{ MHz}$
$B = 1 \text{ kHz}$	$L = 2 \text{ Kb}$
$T_{tr} = 5 \mu\text{s}$	$M_i = 40 \text{ dB}$
$N_f = 10 \text{ dB}$	$G_i = 30 \text{ dB}$
$P_{syn} = 3 \text{ mW}$	$K = 3.5$
$N = 105$	$M = 2$
$\alpha = 3.4$	$P_{mix} = 30.3 \text{ mW}$
$P_{LNA} = 20 \text{ mW}$	$P_{INF} = 3 \text{ mW}$
$P_{ph} = P_{flr} = 2.5 \text{ mW}$	$\sigma^2 = N_o/2 = -174 \text{ dbm/Hz}$

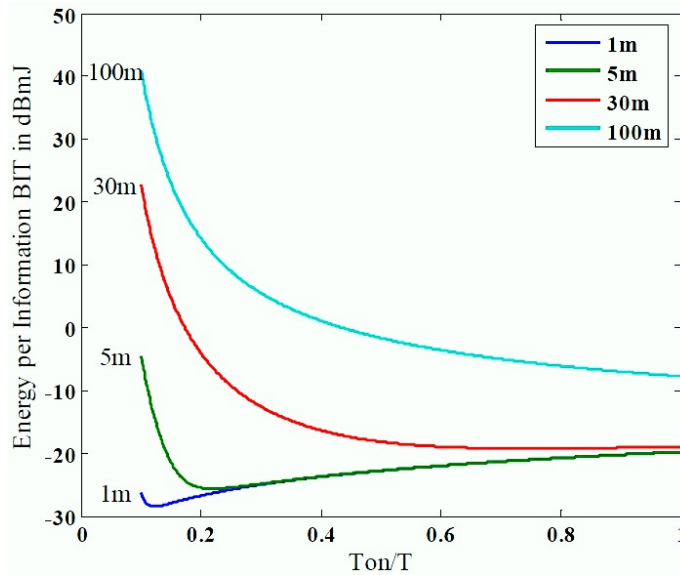


Figure 3. Simulation of improved pulse MPPSK at different distances

图 3. 改进型脉冲 MPPSK 在不同距离下对于 T_{on}/T 的仿真图

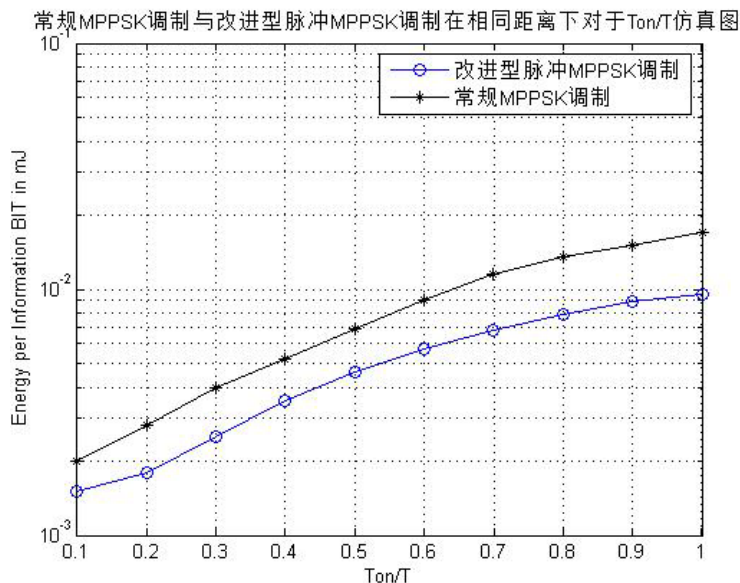


Figure 4. Simulation of normal and improved MPPSK at same distances
图 4. 常规 MPPSK 调制与改进型脉冲 MPPSK 调制相同距离时仿真图

真参数和表 1 中相同。根据图 4, 相同 T_{on}/T 情况下, 改进型脉冲 MPPSK 调制的单位比特能耗少于常规 MPPSK 调制。其中原因是, 改进型脉冲 MPPSK 调制可以在 T_{on} 时间段借助波形占空进一步缩短电路工作时间, 另外, 其解调性能的提升也有利于减少单位比特传输能耗。

6. 结束语

1) 本文根据传统 WSN 节点建模分析方式, 对基于改进型脉冲 MPPSK 调制的 WSN 节点进行了系统建模, 导出了单位比特能耗表达式;

2) 根据导出表达式进行了仿真验证, 得到如下结论: 当 WSN 节点彼此靠近时, 缩短电路工作时间将是减少单位比特能耗的重要方法, 而随着传输距离的增加, 减少单位比特传输能耗则成为减少总单位比特能耗的重要方法, 与公式相一致;

3) 改进型脉冲 MPPSK 调制的波形占空比有助于缩短电路工作时间, 更好的解调性能则有利于减少单位比特传输能耗, 比传统 MPPSK 更适于 WSN 节点的无线通信。

参考文献 (References)

- [1] 喻鹏. 无线通信网的节能管理机制[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
- [2] 钱志鸿, 王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(1): 215-227.
- [3] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2015, 42(1): 163-174.
- [4] Nagpurkar, A.W. and Jaiswal, S.K. (2015) An Overview of WSN and RFID Network Integration. 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), Coimbatore, 26-27 February 2015, 497-502. <http://dx.doi.org/10.1109/ECS.2015.7124956>
- [5] 吴乐南, 戚晨皓. 多元位置相移键控调制和解调方法[P]. 中国专利, ZL200710025202.1. 2010-1-27.
- [6] 张鹏. 高效调制多载波与多址技术研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 东南大学, 2015.
- [7] 赵保华, 李婧, 张炜, 等. 基于 MIMO 的节能无线传感器网络[J]. 电子学报, 2006, 34(8): 1415-1419.
- [8] Cui, S., Goldsmith, A.J. and Bahai, A. (2003) Modulation Optimization under Energy Constraints. 2003 IEEE International Conference on Communications, 4, 2805-2811.
- [9] 陈良银, 王金磊, 张靖宇, 等. 低占空比 WSN 中一种节点休眠调度算法[J]. 软件学报, 2014, 25(3): 631-641.

-
- [10] 毕玉婷, 陈昕. 低占空比无线传感器网络能量感知路由算法[J]. 北京信息科技大学学报, 2012, 27(6): 93-98.
- [11] 张晓佳. 阴影衰落信道的建模与分析[D]: [硕士学位论文]. 内蒙古: 内蒙古大学, 2014.
- [12] Zhong, Q., Wang, J., Zhang, S., *et al.* (2014) PSD and BER Performance of an Improved MPPSK Modulation. *Hans Journal of Wireless Communications*, **4**, 45-56. <http://dx.doi.org/10.12677/HJWC.2014.43009>
- [13] Lu, C., Wu, L., Chen, P., *et al.* (2015) Mary Phase Position Shift Keying with Orthogonal Signalling. *Communications, IET*, **9**, 1627-1634. <http://dx.doi.org/10.1049/iet-com.2014.0556>
- [14] Cui, S., Goldsmith, A.J. and Bahai, A. (2005) Energy-Constrained Modulation Optimization. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **4**, 2349-2360. <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2005.853882>
- [15] 苗志勇. 短距离无线通信技术和其在物联网中的应用[J]. 信息技术与信息化, 2015(1): 38-39.