

一种基于预约机制的 WSN 节能 MAC 协议

邵 蔚 殷晓敏

(南通大学电子信息学院 南通 226019)

摘要: 基于 TDMA 协议,提出了一种改进的 R-TDMA 协议。通过引入预约机制使 WSN 中的节点参与网络的数据传输。节点只有在发现感知的环境数据出现明显变化时才向簇头预约数据上传的时隙,进而进行数据上传;否则尽可能地处于休眠状态,从而达到节能目的。参照 Rockwell 的 WIN 模型对 TDMA、E-TDMA 和 R-TDMA 的网络能耗进行仿真;结果表明,在 R-TDMA 协议下,网络节点数量的增加并不会给能耗带来剧烈的变化,网络事件多少的变化对能耗的影响也很小。R-TDMA 协议在节约能耗方面较 TDMA 和 E-TDMA 有着明显改善。

关键词: 无线传感器网络; MAC 协议; 预约机制; 能耗

中图分类号: TN91 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks based on reservation mechanism

Shao Wei Yin Xiaomin

(Electronics and Information college, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: TDMA-based protocol called R-TDMA saves energy consumption of effectively by introducing reservation mechanism. Only if significant changes of environmental data have been detected did nodes apply to the cluster head for reservation, and then upload data; Otherwise nodes will in dormant state as much as possible, so as to save energy. Referring to Rockwell's model WIN, energy consumptions of TDMA, E-TDMA and R-TDMA are simulated; results show that the increasing number of nodes or events in the network does not brings a dramatic changes of energy consumption. The performance of R-TDMA in energy saving, compared with TDMA and E-TDMA, is improved significantly.

Keywords: wireless sensor networks; MAC protocol; reservation mechanism; energy consumption

1 引言

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)是一种分布式自组织网络^[1-3],其 MAC 协议采用分布式控制机制,它的信道接入大多是基于竞争模式的。TDMA 协议简单高效^[4],是 WSN 中最常用 MAC 协议。该协议将每个网络周期分为两个阶段:1)时隙分配阶段,簇头分配并广播时隙表,其他节点接收并存储时隙表;2)数据上传阶段,每个节点只在自己的时隙中发送数据,其他时隙处于空闲状态。所谓空闲状态是指网络节点的射频部分电路工作不收发信号,但保持对网络的侦测。处于空闲状态节点还是要消耗能量的。传统的 TDMA 协议并未针对能源受限的 WSN 采用任何节能机制。

E-TDMA 协议工作过程和 TDMA 相似^[5]。该协议通过关闭那些不处于自身被分配到时隙中的节点的射频模块

来达到节能的目的。

在实际应用中,网络侦测的环境参数突变是概率性事件,大多数情况下这些环境参数都处于稳定或缓慢变化的状态,如果网络仍然采用 TDMA 或者 E-TDMA 协议,节点就需要频繁上报重复或是变化量很小的侦测数据,对于检测者来说,获取这些数据非但没有意义,还消耗了大量宝贵的网络能量。

针对上述问题提出了基于 TDMA 的 WSN 网络的 MAC 协议:R-TDMA。为了最大程度的节省能耗,该协议基本思想是:节点只有在发现感知的环境数据出现明显变化(超过阈值)时才向簇头预约数据上传的时隙,进而进行数据上传,否则在数据上传阶段处于休眠状态。

2 R-TDMA 协议

R-TDMA 是基于分簇 WSN 网络中具有预约机制的

MAC 协议。假设该网络中所有节点都能够严格保持同步。为了便于能耗的分析,节点的工作状态区分为以下 4 种:

1) 休眠状态:节点不参与任何活动,仅消耗极少的能量以保持按时唤醒,可以认为能耗近似为 0;

2) 侦听状态:节点对周围的环境进行感知,并且采集相关的数据,对数据进行内部运算处理,节点的射频模块监视网络信号,但不收发数据;

3) 发送状态:节点将处理好的数据通过射频发射部分将信息发送给其他节点。相对于侦听状态,发送状态是网络节点耗能较大的一个状态,因为射频收发数据的能耗要远远高于处理器数据运算的能耗;

4) 接收状态:节通过射频发射部分获取数据;侦听状态是指节点的状态。接收状态的能耗要小于发送状态。

除了休眠状态,节点处于其他几种状态时都可以对周围的环境进行感知,并且采集相关的数据,对数据进行内部运算处理。这部分的能耗要远远小于信号发送和接收时的。

2.1 R-TDMA 协议的工作过程

每一个网络周期包含时隙分配阶段和若干个“会话”。这里的“会话”相当于 TDMA 中的帧。每个会话又包含了预约阶段、广播阶段和数据上传阶段,如图 1 所示。一个网络周期中,有数据要发送的节点称为源节点,没有数据发送的节点称为非源节点。每个阶段的节点工作情况如下:

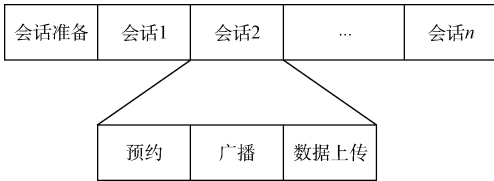


图 1 R-TDMA 的 1 个网络周期

1) 时隙分配阶段,簇头为每个节点分配 1 比特的固定时隙,并广播给每个节点,该 1bit 时隙表指定了每个节点发出预约的顺序;其他所有节点接收并保存该 1bit 时隙表;

2) 预约阶段:源节点在属于自己的 1bit 时隙内发出预约,而非源节点则处于侦听状态;

3) 广播阶段:簇头根据收到的预约请求生成数据发送时隙表,并广播给每个节点。所有源节点侦听并接收数据发送时隙表,而非源节点则进入休眠的状态;

4) 数据上传阶段:源节点在只自己的时隙内发送数据,否则处于休眠状态,簇头接收完所有源节点发送的数据后也进入休眠,直到下个会话开始时再唤醒,非源节点则仍然处于休眠状态。

可以看出,在一次会话中,节点在时隙分配和预约阶段完成数据采集,如果发现有数据要上传,则在下一次会话中完成;尽可能地让不参与会话的节点处于休眠状态,从而达到节能的目的。

3 能耗分析

以网络中的 1 个簇为例,以一个网络周期为单位来比较 TDMA、E-TDMA 以及 R-TDMA 3 种协议的能耗。假设该网络中的 1 个簇含有 1 个簇头节点和 N 个普通节点,同时假设源节点个数为 n ,节点发送数据的概率为 p ,则有 $n = pN$ 。节点在休眠、空闲、发送、接收/侦听这 4 种状态下的能量消耗分别记为: $0, P_i, P_t, P_r; T_d$ 为发送/接收数据所用的时间; T_c 为发送/接收命令所需要的时间。一轮中帧或者会话的数量用 l 来表示。

3.1 TDMA 的能耗

时隙分配阶段,整个簇的能耗为 $E_D = P_t T_c + NP_r T_c$; 数据上传阶段共有 l 帧,每帧中每个源节点的能耗为 $E_s = P_t T_d + (N-1)P_i T_d$, 1 个非源节点消耗的能耗为 $E_i = NP_i T_d$, 簇头所消耗的能量为 $E_{ch} = nP_r T_d + (N-n)P_i T_d$ 。所以在基于 TDMA 协议中,1 个网络周期的能耗为 $E_{TDMA} = E_D + l[nE_s + (N-n)E_i + E_{ch}]$,代入上述参数得:

$$E_{TDMA} = (P_t + NP_r) T_c + l[\rho N(P_t + P_r) + (N - 2\rho + 1)NP_i] T_d \quad (1)$$

3.2 E-TDMA 的能耗

在建立阶段 E-TDMA 协议的能量模型和 TDMA 协议是一样的。在稳定阶段中,簇头和源节点的能耗也一样,仅仅是非源节点的状态和 TDMA 中不同,非源节点处于休眠状态,能耗几乎为 0。所以可以得出 E-TDMA 一个周期的网络能耗为 $E_{E-TDMA} = E_D + l(nE_s + E_{ch})$,即:

$$E_{E-TDMA} = (P_t + NP_r) T_c + l[\rho N(P_t + P_r) + (\rho N - 2\rho + 1)NP_i] T_d \quad (2)$$

3.3 R-TDMA 的能耗

时隙分配阶段的总能耗为:

$$E_D = P_t T_c + NP_r T_c \quad (3)$$

预约阶段中,设 T_{1bit} 为指发送/接收 1 比特信息所需要的时间,每个源节点的能耗 $E_{R_s} = P_t T_{1bit} + (N-1)P_i T_{1bit}$, 每个非源节点的能耗 $E_{R_i} = NP_i T_{1bit}$, 簇头节点的能耗 $E_{R_{ch}} = NP_r T_{1bit}$, 则预约阶段总的能耗为 $E_R = nE_{R_s} + (N-n)E_{R_i} + E_{R_{ch}}$,即:

$$E_R = (\rho P_t + P_r + NP_i - \rho P_i) N T_{1bit} \quad (4)$$

广播阶段中,每个源节点消耗的能量为 $E_{B_s} = P_r T_c$, 非源节点能耗为 0,簇头节点的能耗 $E_{B_{ch}} = P_t T_c$ 。由此,广播阶段总的能耗为:

$$E_B = (\rho NP_r + P_t) T_c \quad (5)$$

数据上传阶段中,每个源节点消耗的能量为 $E_{H_s} = P_t T_d$ 。非源节点能耗为 0,簇头节点的能耗为 $E_{H_{ch}} = nP_r T_d$ 。所以数据上传阶段总的能耗 $E_H = nE_{H_s} + E_{H_{ch}}$,即:

$$E_H = \rho(P_t + P_r) N T_d \quad (6)$$

综上所述可以得一个网络周期总的能耗 $E_{R-TDMA} = E_D + l(E_R + E_B + E_H)$,即:

$$E_{R-TDMA} = (P_t + NP_r)T_c + l[(pP_t + P_r + NP_i - pP_i)NT_{bit} + (pNP_r + P_t)T_c + p(P_t + P_r)NT_d] \quad (7)$$

4 能耗仿真

参照 Rockwell 的 WIN 模型来计算一个网络周期的能耗。该模型中,传输功率为 462 mW,接收功率为 346 mW,空闲侦听功率为 330 mW,假设网络的 $N=50, l=10$,通信速率 9.6 kbps,则 $T_{bit} = 1/9\ 600$ s,指令 8 Byte,数据 32 Byte,则 $T_c = 64/9\ 600$ s, $T_d = 32 \times 8/9\ 600$ s。

图 2 显示了 p 分别为 0.25、0.5、0.75 和 1 时网络能耗随节点数量 N 增加时的变化趋势。可见 R-TDMA 的能耗随节点数量呈线性变化,尤其是在节点数量较多的情况下能耗控制要比 TDMA 和 E-TDMA 好得多。

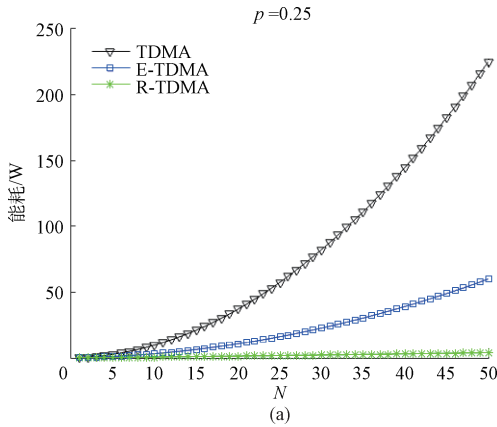


图 2 能耗随节点数的变化

图 3 为网络节点数量 N 不变($N=50$)时,能耗随节点发送概率 p 的变化趋势。可见 R-TDMA 的能耗随发送概率 p 增加的速度很慢,始终维持在较低的数值,说明网络事件多少的变化对该协议能耗的影响很小;相比之下 E-TDMA 所受影响就很大,当 p 为 1 时,E-TDMA 和 TDMA 将不存在差别,正如图 2(d)中的两重合曲线所示,此时 E-TDMA 不再具备节能的特性。

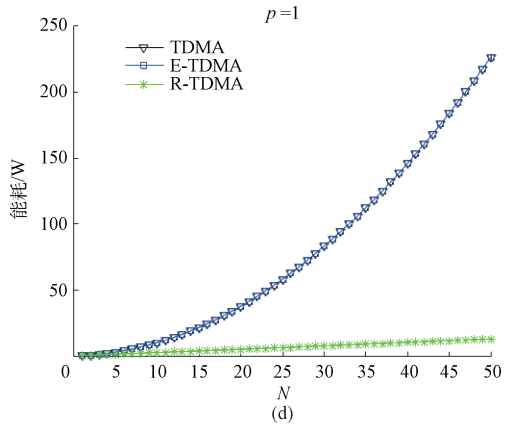
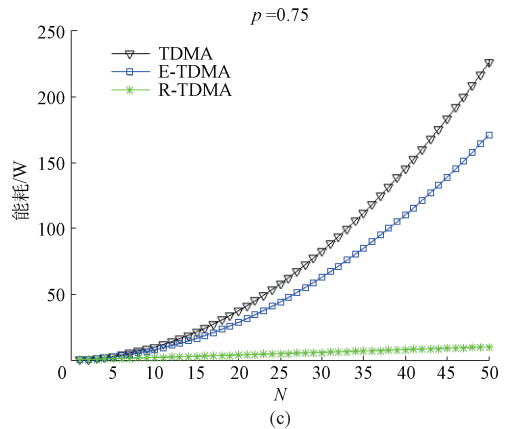
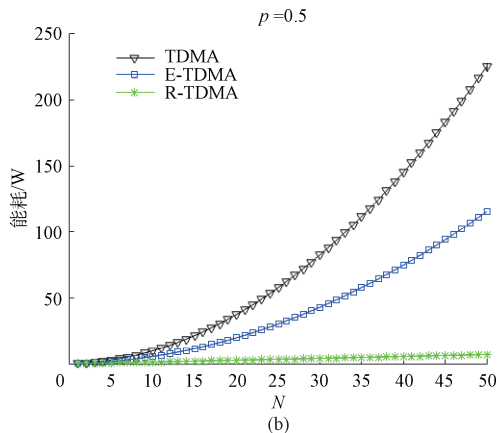


图 3 能耗随节点发送概率 p 的变化

5 结 论

R-TDMA 通过引入预约机制使 WSN 中的节点参与网络的数据传输。节点只有在发现感知的环境数据出现明显变化时才向簇头预约数据上传的时隙,进而进行数据上传;否则尽可能地处于休眠状态。仿真结果表明,R-TDMA 协议在节约能耗方面较 TDMA 和 E-TDMA 有着明显改善。

参考文献

- [1] 李元. 基于 WSN 的核电设备振动监测节点设计[J]. 国外电子测量技术, 2011, 29(9): 47-49.
- [2] 周伟,石为人,张洪德,等. 无线传感器网络的分布式目标跟踪研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(7): 1485-1491.
- [3] 刘茂旭,何怡刚,邓芳明,等. 融合 RFID 的无线湿度传感器节点设计研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(8): 1171-1178.
- [4] DJUKIC P, MOHAPATRA P. Soft-TDMAC: a software TDMA-based MAC over commodity 802.11 hardware [C]. Proceedings of IEEE INFOCOM, 2009:1836-1844.
- [5] KANNAN S R, SOMASUNDARM K. Improving

- vehicle health using E-BMA MAC protocol in wireless sensor networks[J]. Middle-East Journal of Scientific Research, 2015(8):1171-1178.
- [6] WANG F, LI D, ZHAO Y. Analysis of CSMA/CA in IEEE 802.15.4[J]. Communications, IET, 2011, 5(15): 2187-2195.
- [7] 石欣, 印爱民, 张琦. 基于 K 最近邻分类的无线传感器网络定位算法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(10): 2238-2246.
- [8] 邵蔚, 徐晨. 一种自组织网络 MAC 层退避算法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(4): 162-164.
- [9] 曾庆瑾, 张可, 王泽阳, 等. 基于物联网的智能抄表

- 高效 TDMA 协议设计[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(21): 37-41.
- [10] 陈志涛. 高吞吐量抗干扰性物联网混合服务器协议设计[J]. 科技通报, 2014, 30(4): 66-67.

作者简介

邵蔚, 工学硕士, 博士研究生在读, 实验师, 主要研究方向为无线传感网络、光学涡旋通信等。

E-mail: ntsw@163.com

殷晓敏, 工学硕士, 助理研究员, 主要研究方向为数字信号处理、数字集成电路设计等。

E-mail: xiaomin1226_2006@163.com

美国苹果公司选择鼎阳科技 X 系列频谱仪 SSA3000X

2016 年 7 月 18 日, Cupertino, CA 美国苹果公司选择鼎阳科技 X 系列频谱分析仪 SSA3000X。

众所周知, 苹果公司一直致力于高科技智能终端设备的研发, 并取得了前所未有的成功。公司产品涵盖 Mac 电脑系列、iPod 媒体播放器、iPhone 智能手机和 iPad 平板电脑; 还包括在线服务 iCloud、iTunes Store 和 App Store 以及 iLife 和 iWork 创意和生产套件等, 苹果公司在高科技企业中以创新而闻名世界, 并且保持世界最具价值品牌称号长达三年之久, 更在今年的《财富》榜世界 500 强中名列第十。

这样一家颇具实力、财力雄厚、致力于颠覆创新的科技公司, 选择鼎阳科技历时三年打造的匠心之作 SSA3000X 系列频谱分析仪, 可以说是中国通用测试测量仪器行业的一次重大突破。13 年来, 鼎阳科技始终坚持推陈出新, 创造出许多以用户为导向的高质量产品, 苹果公司选择鼎阳, 这就是对鼎阳最大的肯定。苹果公司对产品质量近乎苛刻的追求, 就需要更精密更准确的仪器辅助! 此次鼎阳频谱仪被其选中, 助力其进行相应的测试, 从而保证其产品更好的系统性能, 苹果的产品理念和鼎阳正好不谋而合, 这一次的选择, 某种程度来说, 不是偶然, 而是必然!

完美底噪

SSA3000X 系列的底噪低至 -161 dBm/Hz(典型值), 远远低于国际知名品牌 K 公司和 T 公司同类产品! 这使得它具备出色的微小信号测量能力, 可使被测信号的特征

无所遁形, 完全“暴露”于测试者眼前。重视细节, 正是我们一直追求的产品理念!

极简界面

作为鼎阳 X 系列的新成员, SSA3000X 延续了 X 家族简洁大方的外观风格, 搭载了 10.1 寸宽屏, 配合经过鼎阳科技深度优化的用户界面, 为客户带来极佳的测量操作体验, 这和苹果注重简洁的设计理念异曲同工!

丰富的测试套件

丰富的选配套件: 包括反射测量套件, 轻松获取 VAWR、RL 特性曲线; EMI 预兼容测试套件, 遵循苛刻的 CISPER 标准, 搭配人工电源网络选件 LISN, 为用户提供完整的 EMI 解决方案; 高级测量模块, 可测量邻道功率比 ACPR、信道功率、占用带宽等, 可以帮助电子工程师们判断发射功率降低的原因, 分析信号串扰。

SSA3000X 频谱仪融合了多种测试功能, 方便了广大用户。

SSA3000X 系列频谱分析仪各项指标均达到了同类产品的国际领先水平, 是一款高性能经济型频谱分析仪。

以上这一切, 造就了苹果公司选择我们产品的必然!

不只苹果公司, 在此之前, 思科, 高通、Linear 等美国知名企业都一致选择了鼎阳的测量仪器! 越来越多的国际知名工业客户的选择, 更加证明了鼎阳科技产品的卓越性, 更是展现了中国通用测试测量仪器的国际魅力! 鼎阳以此为荣, 并会在以后继续坚持, 为中国通用测试测量仪器行业在国际领域内的奋勇前行而继续努力!