

一种改进的无线体域网 MAC 协议

赵安华¹, 王英龙¹, 舒明雷², 周书旺², 高天雷²

(1. 山东师范大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250014;

2. 山东省计算中心, 山东 济南 250014)

摘 要:近年来,伴随着传感器技术和通信技术的不断革新,无线体域网(WBAN)在医疗健康领域中的作用愈发明显。WBAN的特点与无线传感网(WSN)有很大的区别,它每个传感器都拥有独特的用途。WBAN在远程诊断、特殊人群实时监测和社区医疗等领域存在巨大的潜能和应用前景。但是,WBAN的供电方式一般为电池供电,其能量有限,计算存储、无线通信的能力不高,特别是对于植入节点,不可频繁更换电池。针对WBAN中业务种类的异构性,通过分析无线个域网IEEE802.15.4标准,设计了一种基于时隙ALOHA的新MAC协议。它能够在紧急情况下区分和首选各种类型的业务,保证紧急业务的优先传输。通过仿真进行了性能分析,结果表明,与现有的MAC协议相比,该协议在能耗、丢包数、吞吐量等方面有显著提升。

关键词:无线体域网;MAC协议;ALOHA;时隙ALOHA

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)02-0167-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.02.038

An Improved MAC Protocol for Wireless Body Area Network

ZHAO An-hua¹, WANG Ying-long¹, SHU Ming-lei², ZHOU Shu-wang², GAO Tian-lei²

(1. School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China;

2. Shandong Computer Science Center, Jinan 250014, China)

Abstract: In recent years, along with continuous innovation of the sensor technology and communications technology, Wireless Body Area Network (WBAN) plays an important role in healthcare field. The characteristics of WBAN is different from Wireless Sensor Network (WSN), and each sensor of it has a unique purpose. WBAN has great potential and prospects in remote diagnostics, special populations monitoring and community medical care. However, WBAN is battery-powered, energy of which is limited, and computing and storage, wireless communications capabilities are not high, especially for embedded nodes do not frequent replacement of batteries. In view of heterogeneity of data types for WBAN, by analyzing the IEEE802.15.4 wireless personal area network standard, a new MAC Protocol based on slotted ALOHA is designed. It can distinguish in emergency situations to ensure the priority transmission of emergency operations. The performance is analyzed with simulation, and the results show that compared with existing MAC Protocol, it has significant improvement in the energy consumption, number of packets, throughput and so on.

Key words: wireless body area network; MAC Protocol; ALOHA; time slot ALOHA

0 引 言

无线体域网(WBAN)是由一个协调器和多个附着在体表或植入体内的传感器组成的网络^[1]。这些传感器节点能够实时地提供健康监护信息,并能将信息及时反馈给用户或者医务人员。体域网是一种备受大家关注的智能网络,其在远程诊断、特殊人群实时监测和社区医疗等领域存在巨大的潜能和应用前景^[2]。但是,其供电方式一般为电池供电,电池能量有限,计算、

存储、无线通信的能力不高,特别是对于植入节点,不可频繁更换电池,必须在有限资源下完成数据采集、传输和处理等^[3-4]。因此,对于WBAN的应用来说,如何高效利用电池能量,延长网络的使用时间尤其重要。WBAN异于传统的WSN,不能使用WSN的协议。WBAN协议的要求更高,例如高发包率、高效率和高稳定性等。WBAN当下有很多标准,如IEEE802.15.4、IEEE802.15.6、H-MAC、Body-MAC等。但是随着

收稿日期:2016-04-01

修回日期:2016-09-02

网络出版时间:2017-01-10

基金项目:山东省科技发展计划项目(2014GSF118107)

作者简介:赵安华(1990-),男,硕士研究生,研究方向为体域网;王英龙,博士,研究员,研究方向为网络与信息安全、知识发现与数据挖掘等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170110.1019.050.html>

WBAN 的应用越来越广泛,体域网 MAC 协议仍然是研究的一个热点问题。经过研究和分析不同的 MAC 协议,发现现存的 MAC 协议不能完全满足上述体域网的所有需求。WBAN 与传统 WSN 中的业务类型单一不同,它有多种业务类型,可分为三类:普通业务、按需业务和紧急业务。经过研究,发现当下没有任何一种协议充分考虑了传感器节点业务的所有类型。针对这些问题,提出采用时隙 ALOHA 的机制来设计 MAC 协议。所提出的协议充分考虑了数据的业务类型,尤其是紧急业务。

1 无线体域网 MAC 协议相关研究

对 WBAN 来说,一个好的 MAC 协议最重要的标准就是它的能效性。其次,MAC 协议重要的因素是它的扩展性和能够自适应网络延时、吞吐量和带宽利用变化的能力。另外,QoS(Quality of Service)也是一个非常重要的因素,包括点到点延时和延时变化。对于紧急业务,MAC 协议应该允许节点迅速接入信道并发送这些紧急数据给协调器。因此,设计和实现一个好的 MAC 协议就必须能够满足体域网中节点所有数据类型。

近年来,研究者们提出了一些针对 WBAN 的 MAC 层协议:心跳驱动接入协议(Hearbeat Driven MAC, H-MAC)、基于预留的动态时分多址接入 MAC 协议(Reservation-based Dynamic DTDMA)、基于报头的时分多址 MAC 协议(Preamble-Based TDMA, PB-TDMA)等^[5-6]。

文献[7]中提出的 H-MAC 协议是一种基于 TDMA 的协议,其最初提出的是一个采用星型拓扑结构的 MAC 协议。H-MAC 协议通过利用心跳信号信息使节点间保持同步,使同步能耗降低,进而降低网络的能耗。心跳的信号信息可以从感官数据中提取,因此所有的节律代表的峰值序列自然是同步的。H-MAC 协议向每一个节点分配一个专用时隙来保证数据传输免于冲突。它节省了同步需要消耗的额外能量,不支持紧急业务的发送。H-MAC 协议在低流量、低带宽效率下,由于 TDMA 时隙是专用的时隙,不能自适应地应对传输业务。心跳信息主要依靠病人的身体状况来判断。所以,该协议就不可能随时显示有效的同步信息。文献[8]提出的 PB-TDMA 协议是一个基于报头的 TDMA 协议,该协议只对正常业务有效,而没有充分考虑紧急业务或按需业务的数据传输。文献[9]中提出的 Body-MAC 协议是一个基于 TDMA 的协议。它的超帧结构由上下两个子帧组成。在该协议中,上行子帧用来传输节点的正常流量,而下行子帧用来传输按需流量。该协议也缺少合理的机制去处理紧急流

量的情况。文献[10]中提出的 DTDMA 协议主要是针对正常业务给节点分配时隙,它也不支持紧急和按需业务。虽然 DTDMA 是一种很好的方法,但是当考虑到 MICS 频带时,也存在一定的局限性。

通过分析现存的 MAC 协议发现,上述 MAC 协议可以降低网络能耗,但是多数都没有充分考虑到传感器节点的所有业务类型,所以设计一个高效的,可应对各种业务的,低能耗的 MAC 协议极其重要。

2 基于时隙 ALOHA 的 MAC 协议的设计与实现

研究文献[7-11]发现,基于 IEEE 802.15.4 标准的 WBAN 接入协议存在一些局限性:

- (1)就能耗而言它是不可扩展的;
- (2)现存的 MAC 协议也不适合在超带宽下使用;
- (3)空闲信道分配需要消耗过多的时间;
- (4)很多协议都没有充分考虑到它的所有业务类型:正常业务、按需业务和紧急业务。

因此,这些协议都不能作为一个标准的方法去满足所有的 WBAN 的应用。通过分析上述不足,文中利用 ALOHA 概念和时隙 ALOHA 机制去处理所有类型的数据。

纯 ALOHA:假如多个节点共同占用一个信道,这些节点的总呼叫是以 λ 为均值的泊松流^[12]。当其中有节点需要传输数据时,马上以定长数据包的方法传送到信道上。若有多个数据包在传输中出现碰撞,之后纯随机重新发送。纯 ALOHA 的协议非常简单,特别适合突发业务。一个新的信息包在传输途中不能受到任何干扰。这样能确保数据不会由于持续发送而发生冲突。纯 ALOHA 是一个单跳系统,它的吞吐量代表一段时间内发送的有用信息。

时隙 ALOHA:降低冲突的一种可行方式是在信道上分槽。其数据包的传输被限制在一个时隙内。网内所有节点必须与协调器同步,有通信要求的节点只能在时钟规定的等长时隙内传输。协调器的同步信息要向所有用户广播。在这种协议中,只要一个信息包的时间内不存在多个信息包同时要传输的情况,就可以成功传输一个数据包;因为,在发送一个信息包期内,有新包来临时必须等下一时隙开始才会传输^[12]。

超宽带频带(Ultra-WideBand, UWB):是一种短距离的无线通信技术,传输范围在 10 m 之内,采取 1 GHz 以上的带宽,通信速率可达数百兆以上。作为超宽带数据传输技术的 UWB,其功率低,传输速率快,在高速短距离通信以及低速长距离通信方面都取得了很大的突破。与其他窄带相比,超宽带系统在共存能力,安全性,抗多径,简单集成在芯片上的能力表现更

突出。

IEEE 802. 15. 4 标准中星型拓扑采取的超帧,如图 1 所示。该超帧将时间划分成等间隔周期,由协调点发送信标帧界定,一般由活动期(Active)和非活动期(Inactive)组成。

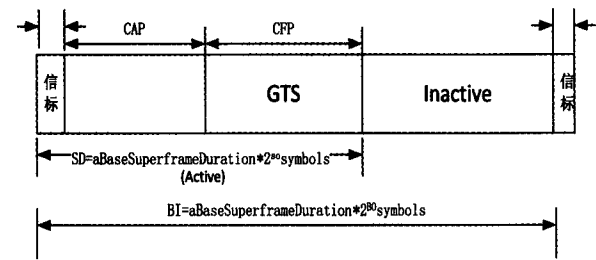


图 1 IEEE 802. 15. 4 采用的超帧结构
文中协议采用动态超帧结构,如图 2 所示。

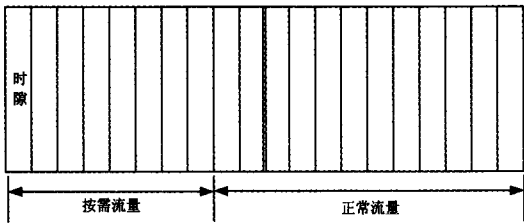


图 2 动态超帧结构

该协议的业务传输流程如下:

- (1)初始化一个超帧结构,该超帧结构可容纳每一种类型的流量。
- (2)协调器使各节点间的时间保持同步。
- (3)根据业务类型分配时隙,正常的数据使用 ALOHA 协议来分配,紧急数据和按需数据使用时隙 ALOHA 协议分配信道。
- (4)数据节点传输数据给中心协调器。
- (5)节点和协调器之间发送各自的确认信息给对方,确保数据正常传输。
- (6)假如有紧急数据或者按需数据发生,优先让其传输,并根据流量大小自动调整帧的长度。

3 无线体域网 MAC 协议仿真研究与分析

提出的 MAC 协议在超宽带物理层下更容易实现,不能使用 CSMA 来实现。

假如超帧中活动期是一定的,等于 S_m 个时隙。网络中有 N 个节点去竞争时隙。一个节点只能发送一个请求。让 n 个节点尝试竞争同一个时隙。 n 个节点在同一个时隙产生碰撞的概率为 P ;在同一时隙中节点数的平均值为 E 。

$$P[X = n] = \binom{N}{n} \left(\frac{1}{S_m}\right)^n \left(1 - \frac{1}{S_m}\right)^{N-n} \tag{1}$$

$$E[X = n] = S_m \binom{N}{n} \left(\frac{1}{S_m}\right)^n \left(1 - \frac{1}{S_m}\right)^{N-n} \tag{2}$$

设 C_n 代表 n 个节点所占据的时隙数量,平均碰撞的信息数为 Q 。

$$Q = \sum_{n=2}^N 1 \sum_{c_n=1}^{S_n} nP[X = c_n] c_n = N - N\left(1 - \frac{1}{S_m}\right)^{N-1} \tag{3}$$

通过式(2)和式(3)可以计算成功发送请求消息的数目和发送请求消息的总数之比。

$$R = \frac{N - Q}{N} = \left(1 - \frac{1}{S_m}\right)^{N-1} \tag{4}$$

基于 IEEE 802. 15. 4 标准,使用 OMNeT++ 软件^[13-14]进行仿真。为了让仿真更贴近真实情况,在发送正常业务的同时也发送一些紧急业务。仿真完成后,将文中提出的 MAC 协议与现存的 MAC 协议进行对比。设置仿真节点个数分别为 5、10、15、20。节点在 5 个、10 个、15 个和 20 个节点下的最大吞吐量、丢包数、能量消耗和能量负载如图 3~6 所示。

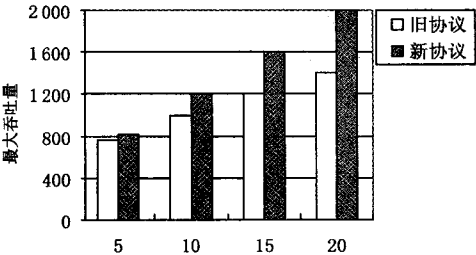


图 3 节点的最大吞吐量

由图 3 可知,文中提出的 MAC 协议最大吞吐量要强于现存的 MAC 协议,吞吐量的增加主要是由于节点的丢包数下降,因此在紧急业务发生时该协议会节省能源消耗。

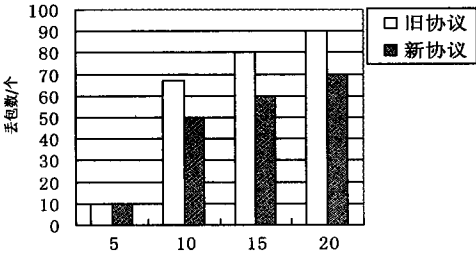


图 4 节点的丢包个数

由图 4 可知,提出的 MAC 协议的丢包数量显著小于现有协议,新协议丢包数的减少,使数据重传的次数相应减少,消耗的能量更少。

由图 5 可知,新的 MAC 协议随节点数量的增多,

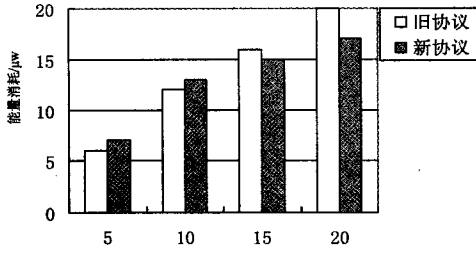


图 5 节点的能量消耗

其能量的消耗逐渐小于现有的 MAC 协议。仿真结果表明,该协议在特定的情况下能够节省网络能源消耗。

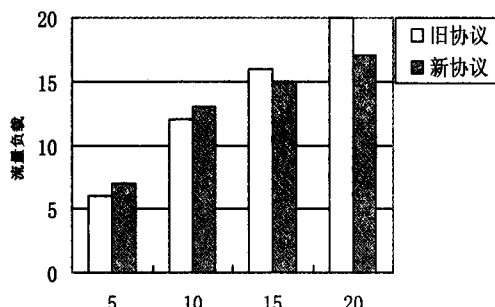


图 6 节点的流量负载

由图 6 可知,该协议与现存的 MAC 协议相比可以更好地处理最大的流量负载。

4 结束语

WBAN 在医疗健康领域应用中,由于其一般用电池来供电,节点的能量受到极大限制。为了提高网络能效,根据 WBAN 中每个传感器节点采集和处理的数据类型不同,充分考虑其所有类型的数据,即正常、按需和紧急。针对 WBAN 中节点业务类型不同的特性,基于 ALOHA 和时隙 ALOHA 机制,采用动态超帧结构设计了一种可以适应不同业务类型的 WBAN MAC 协议。对提出的协议和现有协议进行仿真对比,结果表明该协议在最大吞吐量、能耗、丢包数和最大负载方面要优于现有的 MAC 协议,提出的协议可行,能够有效地提高网络的能效,延长网络寿命。

参考文献:

- [1] 卢先领,彭能明,陆胜男,等.无线体域网节能策略综述[J].计算机应用研究,2013,30(2):325-329.
- [2] 邓世洲,高伟东,胡 炜,等.无线体域网技术研究现状与展望[J].传感器与微系统,2014,33(11):1-4.
- [3] 谢语天,王 珺,闵建民,等.一种高效节能的无线体域网 MAC 层协议[J].计算机技术与发展,2015,25(12):91-96.
- [4] 宫继兵,王 睿,崔 莉.体域网 BSN 的研究进展及面临的挑战[J].计算机研究与发展,2010,47(5):737-753.
- [5] 李浩然.面向节能的无线体域网 MAC 层算法设计及实现[D].上海:上海交通大学,2013.
- [6] 王玲玲.基于 IEEE 802.15.4 的无线体域网接入协议研究[D].西安:西安电子科技大学,2011.
- [7] Li H M, Tan J D. Heartbeat driven MAC for body sensor networks[C]//Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE international workshop on systems and networking support for health-care and assisted living environments. San Juan, Puerto: ACM, 2007:25-30.
- [8] Ullah S, Islam S M R, Nessa A, et al. Performance analysis of preamble based TDMA protocol for wireless body area network[J]. Journal of Communication Software and Systems, 2008, 4(3):222-226.
- [9] Fang G, Dutkiewicz E. BodyMAC: energy efficient TDMA-based MAC protocol for wireless body area networks[C]//Proceedings of IEEE. Korea: IEEE, 2009.
- [10] Li C, Li H B, Kohno R. Reservation-based dynamic TDMA protocol for medical body area networks[J]. IEICE Transactions on Communications, 2009, 92(2):387-395.
- [11] Bhoir S, Vidhate A. An improved WBAN MAC protocol[C]//International conference on computer communication and informatics. [s. l.]: [s. n.], 2014.
- [12] 周炯槃.通信网理论基础[M].北京:人民邮电出版社, 2009.
- [13] 夏 锋. OMNeT++网络仿真[M].北京:清华大学出版社, 2013.
- [14] 杨光旭,刘方爱,赵学臣. OMNeT++平台上无线传感器网络仿真系统的研究[J].计算机应用研究,2011,28(9):3443-3446.

(上接第 166 页)

规划算法[J].计算机仿真,2013,30(6):169-173.

- [3] 林蓁蓁,李 庆,梁艳菊,等.一种基于路径规划的自动平行泊车算法[J].计算机应用研究,2012,29(5):1713-1715.
- [4] 刘 姣,葛召炎,谢 静,等.停车场泊车问题的研究与仿真[J].计算机仿真,2011,28(7):340-344.
- [5] 曲 龙.基于 MATLAB 的自动泊车系统仿真研究[D].沈阳:沈阳理工大学,2013.
- [6] Paromtchik I E, Laugier C. Autonomous parallel parking of nonholonomic vehicle[C]//Proceedings of the IEEE intelligent vehicle symposium. [s. l.]: IEEE, 1996:3117-3122.
- [7] 张 勤,曲宁玺,李 艳,等.自动泊车轨迹生成方法的研究[J].计算机仿真,2010,27(10):148-151.
- [8] Kim D, Chung W, Park S. Practical motion planning for car-

parking control in narrow environment[J]. IET Control Theory & Applications, 2010, 4(1):129-139.

- [9] 侯晓阳.基于路径规划的平行泊车系统研究[D].北京:清华大学,2015.
- [10] 孙 思.自动垂直泊车系统转向控制策略的研究[D].北京:清华大学,2015.
- [11] 宋金泽.自主泊车系统关键技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2009.
- [12] 张啸尘.基于计算机视觉的车位检测与倒车辅助算法的研究与实现[D].沈阳:东北大学,2011.
- [13] 秦绪情.自动平行泊车系统定车速模糊控制算法研究[D].长春:吉林大学,2007.
- [14] 郭孔辉,姜 辉,张建伟,等.基于模糊逻辑的自动平行泊车转向控制器[J].吉林大学学报:工学版,2009,39(S2):236-240.