

无线体域网中的低功耗快速组网算法

孔令淑, 姚向华

(西安交通大学 电子与信息工程学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 无线体域网具有很强的应用相关性, 不同的应用场景下对网络有不同的要求, 必须有针对性地对网络进行设计. 从无线体域网的生物安全性角度出发, 建立了适合体域网应用的 LEACH 算法模型, 在对簇头边缘化等缺陷进行改进之后, 综合考虑了无线体域网中资源的利用率、单个节点的生命周期、不同应用场景下的重要节点不同等因素, 进一步改进为适于无线体域网应用的 LE-WBAN 算法. 通过 NS2 下的仿真与分析证明, 该算法有效延长了单个节点和整个网络的生命周期, 符合无线体域网低功耗、高能效的要求.

关键词: 无线体域网; 应用相关性; LEACH 算法; 低功耗

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)12-0010-04

Low Power Consumption and Rapid Networking Algorithm for WBAN

KONG Ling-shu, YAO Xiang-hua

(College of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Wireless body area network has a strong correlation between applications, and different scenes have different demands for the network, so it is necessary to make pointed references to the network design. This paper sets up a LEACH algorithm model for WBAN based on the biological safety, after improving some of the drawbacks, such as cluster head marginalization, it considers the utilization rate of resources as well as the life cycle of the single nodes in the WBAN and important nodes in different scenes and then proposes a low energy-wireless body area network algorithm. The results of the NS2 simulation and analysis prove the LE-WBAN prolongs the life of single nodes and the network effectively, which conforms to the low power consumption and energy-efficient requirements of the WBAN.

Key words: wireless body area network; correlation; LEACH algorithm; low power consumption

1 引言

无线体域网(WBAN)是针对人体的实时监测和诊断, 由人体周边配置的各种传感器及器件构筑的近距离无线网络. IEEE 802. 15. 6 是目前国际上公认的唯一适用于健康信息采集的超短距离无线体域网协议标准, 它指出 WBAN 中的体内节点需要尽量降低发射功率以减少对人体的影响, 其信号可通过体外节点来中继. 而距离较远的体外节点也可以在考虑能量安全等问题的同时, 设置转发中继功能, 以保证整个网络的连通性和可靠性.

独立的无线体域网节点数量极少, 在一定规模监护(例如病房)的应用场景下多个 BAN 共用一个中心节点不仅可以有效提高资源的利用率, 降低成本, 还更加便于管理——独立 BAN 的中心节点无需再次组网向远程终端汇总数据. 此时, 采用两跳的扩展星型网络拓扑结构可以解决远端节点直接与中心节点通信因能量快速损耗而提前死亡的问题, 而网络中的节点由各自 MAC 帧头部的 BAN ID 字段判定属于哪个体域网.

LEACH 作为一种经典的自适应分簇算法, 虽然自身有很多缺陷, 却能在 WBAN 类短距离、小规

收稿日期: 2013-01-23; 修回日期: 2013-03-30

基金项目: 国家科技重大专项(2013ZX03005007 无线体域网关键技术研究)

模无线传感器网络的特殊场景中得到很好的应用。本文通过分析 LEACH 算法在无线体域网应用中的优势与不足,提出 LE-WBAN 改进算法,通过均衡网络的能量消耗,有效延长了单个节点和整个网络的生命周期。

2 研究现状

2.1 WBAN 通信技术研究动态

WBAN 广阔的应用前景使之成为当前的一个重要技术热点。IEEE 802.15 委员会于 2007 年 11 月成立 GT6 工作组,经过长达五年的研究,正式发布了无线体域网物理层和媒体访问层的通信标准。

Kihyun Kim^[1]等提出了基于全球定位系统(GPS)的位置信息和传感器节点的能量等级的高能效路由方案;文献[2]中研究了时分多址(TDMA)方案来减小不同体域网中传感器节点之间的干扰;Ameen^[3]等使用唤醒表的方法管理和控制体域网中植入设备的正常通信和应急通信下的紧急唤醒,有效减小了系统的能量损耗和延时。虽然 WBAN 目前处于发展的早期阶段,但国内外对体域网的研究也取得了阶段性的进展^[4]。

2.2 LEACH 算法及改进

LEACH(low energy adaptive cluster hierarchy)即低功耗自适应集簇分层型算法,它的执行过程是周期性的,每轮循环分为簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段^[5]。LEACH 算法通过使各节点等概率地担任簇头,将网络的负载平均分配,从而均衡系统的能量消耗,延长整个无线传感器网络的生命周期。

LEACH 是最早提出的能量有效的自适应分簇拓扑算法之一,针对它的一些缺点也出现了多种改进算法,例如 V-LEACH^[6]、H-LEACH^[7]、EEE LEACH^[8]、LEACH-MR^[9]等。但大多数都是基于所有节点初始能量相等的模型进行改进,而且副簇头、多级簇头、多跳路由等改进也不适合 WBAN 这类短距离的小规模无线传感器网络。因此,本文选择了在原始的 LEACH 算法上建立 WBAN 模型,经过一系列改进后提高无线体域网的性能^[10]。

3 WBAN 应用场景分析

3.1 传输模型

LEACH 算法中当传输距离小于临界值 d_0 时为自由空间模型:

$$d_0 = \frac{4\pi\sqrt{L}h_r h_t}{\lambda},$$

式中, L 为系统的传输损耗, λ 为波长, h_r 和 h_t 分别为接收天线和发送天线的高度。由于人体对体域网的影响极其复杂,本文考虑体外节点与中心节点没有障碍物的情况,节点之间通信不需要穿透人体或者其他反射途径。在理想传输模型的基础上按照体域网中体外节点参数计算:

$$d_0 = \frac{4 * 3.14 * 1 * 0.38 * 0.38}{3 * 10^8 / 2.4 * 10^9} = 14.5 \text{ m}$$

超出了 WBAN 的通信范围,所以在体域网的短距离传输应用中直接采取自由空间模型。

根据无线体域网生物安全的要求,发射功率和峰值功率都必须小于 5 mW。因此需适当减小带宽,例如 100 kb/s,使在一定数据传输量的情况下,既能保证网络通信质量,也能满足体域网节点的功率限制要求。

3.2 节点差异

由于 WBAN 中各个节点采集的信息不同,例如血压、脉搏、体温等,各项指标和性能都有很大的差异,初始节点的能量也不可能全相同。因此不能按照随机的方式等概率选取簇头节点。

3.3 网络周期

对于普通的无线传感器网络而言,考虑的是整个网络的生命周期,很少考虑单个节点的能耗问题,而无线体域网中每一个节点采集的信号都与人体的健康息息相关,因此需要根据 WBAN 的应用相关性提出一种新的节能策略,综合考虑单个节点和整个网络的生命周期。

4 LE-WBAN 算法

LE-WBAN 实质是基于无线体域网应用的 LEACH 改进算法,主要改进包含以下几个方面:

4.1 建立体域网应用模型

无线体域网中节点地位不均等,初始能量各不相同。同时需要按照无线体域网的要求设置和添加各种参数,使改进后的 leach 算法符合 WBAN 的特殊应用相关性。LE-WBAN 算法拓扑结构见图 1。

在无线体域网中,节点采集的数据多种多样,对人体的重要程度也各不相同。例如心电传感器采集的数据直接关系到人体的生命安全,而血糖传感器采集的数据只会反应人体的身体健康程度。因此,在设计上层通信协议时应当尽可能的采取一定措施保护 WBAN 中的重要节点。体内节点的特殊性决定

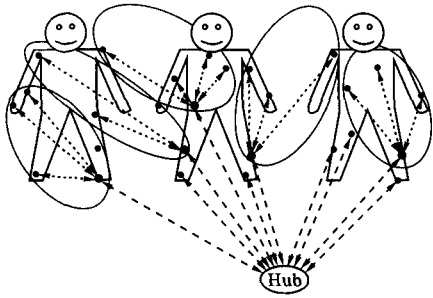


图1 LE-WBAN 算法拓扑结构

了它对能耗有比体外节点更高的要求。

在簇头选择的阈值公式中加入参数 I 来表示节点对人体健康的重要程度,如体内传感器节点的 I 值设为 0,心电传感器节点 I 值可设为 0.2,而血糖传感器节点 I 值可设为 0.7. 选择 I 值大的节点作为簇头可减小重要节点成为簇头的概率,延长重要节点的生命周期。

4.2 防止簇头边缘化

簇头分布的边缘化一直都是 LEACH 算法的一个重大缺陷,本文按照无线体域网的应用模型,适当调整了簇头到基站的距离,根据节点的覆盖范围和基站的位置计算节点离基站的最远距离,为了降低边缘节点成为簇头的概率,将 $\frac{d_{\max}-d}{d_{\max}}$ 项添加至簇头选择的阈值公式,从而减小离基站远的节点成为簇头节点的概率,其中 $d_{\max}$ 为节点至基站的最远距离, d 为节点至基站的距离. $d_{\max}$ 可根据体域网实际的应用场景设置,参考医院里病房的规格等; d 可采用信号强度测距法得出;在自由空间模型中,距发射机 d 处的天线接收信号强度为

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L},$$

式中 P_t 、 P_r 为发射功率和接收功率, G_t 、 G_r 为发射天线和接收天线的增益, λ 为波长, L 为与传播无关的系统损耗因子。

4.3 均衡节点能耗

低功耗、高能效一直以来都是无线传感器网络研究的一个主要方向,众多 LEACH 改进算法中主要考虑的都是延长整个无线传感器网络的生命周期,选取网络中剩余能量多的节点担任簇头,将 $E_{\text{current}} * N_{\text{CH}} / E_{\text{total}}$ 添加至簇头选择阈值公式,而 WBAN 中初始能量不一致将会影响这个改进的有效性,另外综合考虑单个节点的生命周期,在选择簇头时应考虑节点本身的能量消耗情况,增加因子 $E_{\text{current}} / E_{\text{beginning}}$ 。

4.4 避免“绕路”

设 d_i 为节点 i 与基站的距离, d_{CH} 为节点 i 所在簇的簇头与基站的距离. 当 $d_i > d_{\text{CH}}$ 时,节点 i 通过簇头与基站通信,能够有效减小传输路径损耗;当 $d_i \leq d_{\text{CH}}$ 时,节点 i 直接与基站通信,不仅能减少簇头节点的工作负载,也能避免因“绕路”而带来的不必要的能量损耗. 具体拓扑结构体现在图 1 中的簇外普通节点(小圆点)与基站(Hub)通信处。

4.5 优化每轮通信时间

由于簇的建立会消耗大量能量,因此必须延长每轮的通信时间. 但过长的通信时间也会导致簇头节点的能量快速损耗,影响整个无线体域网的性能,因此需要根据体域网自身的应用相关性优化每轮的通信时间,从而延长网络的生命周期. 本文根据 LEACH 及其多种改进算法的经验值,经过多次试验,得出适于当前设置场景的最优每轮通信时间。

本文延用了 LEACH 算法的思想,提出适于体域网特殊应用场景的阈值公式:

$$\text{thresh} = \frac{E_{\text{current}} * N_{\text{CH}}}{E_{\text{total}}} * \frac{E_{\text{current}}}{E_{\text{beginning}}} * \frac{d_{\max} - d}{d_{\max}} * I.$$

经过改进和优化,LE-WBAN 算法旨在降低无线体域网的功率消耗并延长网络的生命周期,取得了很好的效果。

5 仿真结果与分析

本文以 Network Simulator version 2 为平台,在最新版本 NS2-3.35 下进行仿真. 虽然 IEEE 802.15.6 标准已于 2012 年 2 月 6 日由 IEEE-SA 标准委员会正式通过,但是由于支持该标准定义的物理层与 MAC 层的软件协议栈还不成熟,所以本文暂时基于 IEEE 802.15.4 进行上层通信协议的仿真。

仿真模型建立如下:节点数为 50,范围为 $5 * 5$ m,基站位置为 (2,3),eq_energy=0,节点初始能量为 2 J 和 3 J,天线高度为 0.38 m,频率为 2.4 GHz,带宽为 100 kb/s,数据包头信息大小为 5 Bytes,数据包信息大小为 120 Bytes。

图 2 是在无线体域网场景下的 leach 与 leach-c 算法仿真图,虽然后者是 leach 一种比较经典的改进算法,在体域网的特殊应用中也有地延长了整个网络的生命周期,但是 WBAN 中每个节点都占据着非常重要的作用,它们采集的数据关系着人的身体健康甚至于生命安全,所以必须考虑单个节点的能耗问题. 类 leach-c 的改进算法并不适合无线体域网特殊的应用场景。

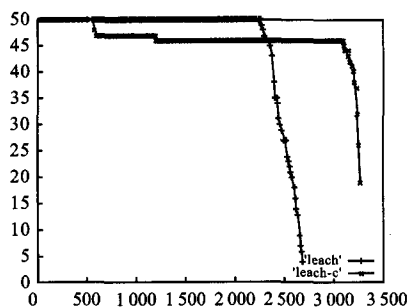
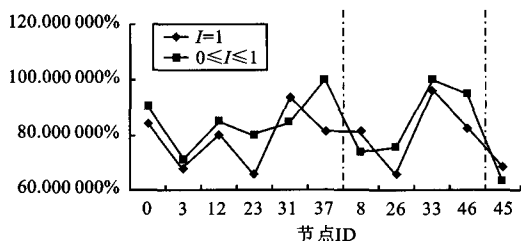


图2 leach与leach-c节点存活情况

图3中当节点0、3等的 I 值为0,节点8、26等的 I 值为0.2,节点45的 I 值为0.7时,可见 I 越小,死亡时间越晚.节点45由于分担了重要节点的工作负荷,稍提前死亡,却整体提高了WBAN的性能.在保护重要节点的同时应均衡各个节点的重要程度,因为延长重要节点的生命周期是以牺牲部分节点的能量为代价的,保护过多节点反而会影响整体网络的寿命.

图3 I 值不同节点死亡情况

在仿真场景中,通过大量实验证明:当每轮通信时间为25 s时,第一个节点死亡的时间最晚,网络的生命周期也最长.但是由于无线体域网很强的应用相关性,需要根据具体的应用场景来优化每轮通信时间.每轮不同通信时间节点死亡情况见图4.

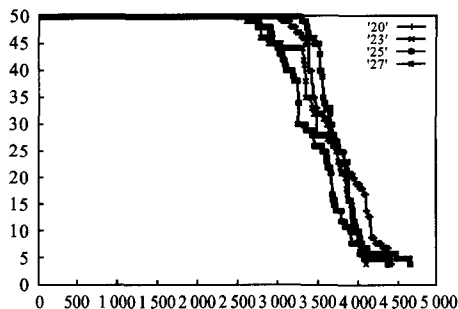


图4 每轮不同通信时间节点死亡情况

由图5可知,LE-WBAN大大减少了整个网络的能量消耗,有效延长了单个节点和整个网络的生命周期.根据数据显示:单个节点的生命周期延长了36.8%,而无线体域网的生命周期延长了63.7%,平均能耗速率也有效减小了40.2%.同时,如图6所示的网络中通信数据量急剧增大,表明LE-

WBAN能更全面、更持久地感知人体的健康信息情况,整体提高了WBAN的性能.

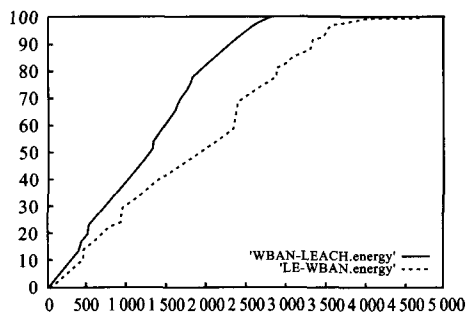


图5 WBAN-LEACH与LE-WBAN能耗对比

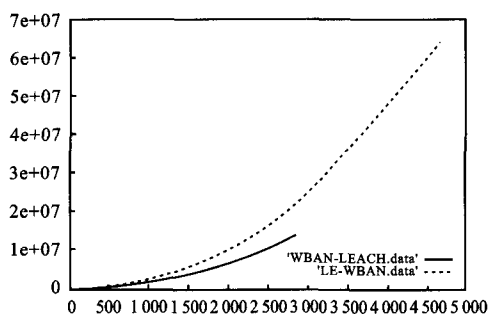


图6 WBAN-LEACH与LE-WBAN数据量对比

6 结束语

本文提出的WBAN快速组网算法针对体域网特殊应用,综合考虑了无线体域网自身的特点以及中小规模的场景,在节约监护成本,提高效率的同时,均衡了网络的负载,有效延长了重要节点以及整个网络的生命周期.在无线体域网中采用跨层设计思想,将MAC层依据物理层的统计信息计算的接包率、物理层检测接收数据包的链路质量指示、物理层的数据包传输速率指示等信息添加至簇头选择阈值公式,选择PRR、LQI和RI值较大的节点作为簇头可以提高路径质量,可保证数据传输的可靠性.为了提高数据收集效率,在数据传输之前可结合具体WBAN的应用相关性引入数据融合技术,进一步提高系统的性能.

参考文献:

- [1] Kihyun Kim, Ick-Soo Lee, Mahnsuk Yoon, et al. An efficient routing protocol based on position information in mobile wireless body area sensor networks[C]// Networks and Communications, NETCOM '09. Chennai: AIRCC, 2009:396-399.

(下转第17页)

的3/4.当测试电路与原始电路的电磁相关性小于相关性阈值时,判定电路中存在木马.

实际的木马电路测试中,对于9个区域,每个测试激励向量重复采样50次,全部电磁信号样本量为9 000.通过算法1得到木马电路与原始电路之间,除木马存在的区域外,其余区域的电磁相关性均大于预先确定的相关性阈值,从而成功判断存在木马并进行了区域定位.

5 结束语

通过分区域的测试激励向量生成技术,可以分离木马电路并相对增强木马的旁路信号活跃性;利用相关性电磁分析技术,可以有效分辨木马电路与原始电路之间的旁路信号差异.本文提出的硬件木马检测技术要求检测者拥有符合原始设计、安全可信的基准芯片,这可通过侵入式检测技术来实现.

参考文献:

- [1] Tehranipoor M, Koushanfar F. A survey of hardware trojan taxonomy and detection[J]. IEEE Design & Test of Computers, 2010, 27(1):10-25.
- [2] Wang X, Tehranipoor M, Plusquellic J. Detecting malicious inclusions in secure hardware: challenges and solutions[C]// 1st IEEE International Workshop on Hardware-Oriented Security and Trust (HOST). Anaheim, CA: IEEE Press, 2008:15-19.
- [3] Agrawal D, Baktir S, Karakoyunlu D, et al. Trojan

detection using IC fingerprinting[C]//IEEE Symposium on Security and Privacy. Oakland, CA: IEEE Press, 2007: 296-310.

- [4] Koushanfar F, Mirhoseini A. A unified framework for multimodal submodular integrated circuits trojan detection[J]. IEEE Transactions on Information and Security, 2011, 6(1):162-174.
- [5] Jin Y, Makris Y. Hardware trojan detection using path delay fingerprint [C]//1st IEEE International Workshop on Hardware-Oriented Security and Trust (HOST). Anaheim, CA: IEEE Press, 2008:51-57.
- [6] 王晨旭,姜佩贺,喻明艳. 芯片级木马检测技术研究综述[J]. 半导体技术, 2012, 37(5):341-346.
- [7] Quisquater J J, Samyde D. Electromagnetic analysis (EMA): measures and counter-measures for smard cards [C]// Smart Card Programming and Security, International Conference on Research in Smart Cards, E-smart 2001. Berlin/ Heidelberg, Springer, 2001:200-210.
- [8] 张鹏,邓高明,陈开颜,等. 针对 AES 密码芯片的远场相关性电磁分析攻击[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2009:37(8):31-34.

作者简介:

张 鹏 男,(1976—),博士后,工程师.研究方向为芯片安全防护技术.

王新成 男,(1969—),博士,高级工程师.研究方向为集成电路芯片设计.

周 庆 男,(1964—),高级工程师.研究方向为信息安全技术.

(上接第13页)

- [2] Mahapatro J, Misra S, Manjunatha M, et al. Interference mitigation between WBAN equipped patients[C]// Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 2012 Ninth International Conference on. India: Indore, 2012:1-5.
- [3] Ameen M A, Liu J, Ullah S, et al. A power efficient MAC protocol for implant device communication in wireless body area networks[C]// Consumer Communications and Networking Conference (CCNC) USA: Nevada, IEEE, 2011:1155-1160.
- [4] IEEE standard for local and metropolitan area networks - Part 15. 6: wireless body area networks[S]. IEEE Std 802.15.6, 2012(29):1-271.
- [5] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [6] BaniYassein M, Al-zoubi A, Khamayseh Y, et al. Improvement on LEACH protocol of wireless sensor network (VLEACH)[J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2009, 3(2):

132-136.

- [7] Wairagu G Richard. Extending LEACH routing algorithm for wireless sensor network[D]. Makerere University, Data Communications Engineering, 2009.
- [8] Meenakshi Sharma, Kalpana Sharma. An energy efficient extended LEACH (EEE LEACH)[C]// CSNT, 2012 International Conference on Communication Systems and Network Technologies. India:Gujarat, 2012: 377-382.
- [9] 刘铁流,巫咏群. 一种新的基于分簇的无线传感器网络多跳节能路由协议[J]. 信息与控制, 2012, 41(1):27-32.
- [10] 尚凤军. 无线传感器网络通信协议[M]. 北京:电子工业出版社, 2011.

作者简介:

孔令淑 女,(1989—),硕士研究生.研究方向为无线传感器网络.

姚向华 男,(1973—),博士,副教授.研究方向为无线传感器网络、现代检测技术.