

适用于语音传输的无线MAC层协议研究

陈秉梁

(电子科技大学自动化工程学院 成都 611731)

【摘要】网络协议是无线传感器网络(WSN)的核心分支,MAC层协议对无线传感器网络的性能有很大的影响;对于语音应用,无线语音网络(WVN)必须提供有限带宽下的高实时性和高准确度,用来传输大量的音频数据。针对特殊的应用环境和性能需求,该文设计了不同的MAC协议算法;在D-MAC协议的基础上,提出了具有实时性更高、功耗更小、准确性更高的改进的D-MAC协议算法,具有为无线语音网络(WVN)提供高实时性和高吞吐量的网络性能。

关键词 载波侦听多路访问; 介质访问控制; 时分多址; 无线传感器网络

中图分类号 TP393

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.z1.025

Wireless MAC Layer Protocol Applied in Voice Transmission

CHEN Bing-liang

(School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731)

Abstract Network protocol is a core branch of wireless sensors networks (WSN). Medium access control (MAC) layer protocol has a great impact on the performance of WSN. Different MAC protocol algorithms are designed for special application environments and performance requirements. For voice application, wireless voice network (WVN) must offer high real-time and high accuracy for a large number of audio data transmissions under the limited bandwidth. In this paper based on the S-MAC protocol, an improved D-MAC protocol algorithm is proposed with a higher real-time, less power consumption, higher accuracy, and high throughput for WVN.

Key words carrier sense multiple access; medium access control; time division multiple access; wireless sensors networks

近年来,无线传感网络在军用和民用(如目标跟踪、环境监测和安全监控)方面受到极大的关注。网络采集的对象主要为环境的温度、湿度,以及光通量、加速度等物理量。在某些应用场合,对于现场的音、视频有严格的要求。如对矿井监控时,现场的瓦斯传感器可以实时检测矿井下瓦斯的浓度;在诸如塌方之类的紧急情况发生时,大量的分布在矿井下的无线传感器节点上的语音传感模块,可帮助矿工们与外界保持联系,以及采取紧急自救方面发挥重要作用。

传感、计算和传输模块组成无线传感器网络节点。无线传感器网络的作用是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中的感知对象的信息,并发送给观察者。支持音频采集和通信的无线传感器网络是无线传感器网络应用的一个重要分支,而音频信号采集传输对无线传感器网络信号传输的信道带宽、点对点数据的实时性和传感器节点之间的约束性,

都有特殊的要求,对设计适合于特殊场合的无线传感网络提出了新的挑战。

1 相关研究工作

通信协议是无线传感器网络的核心部分,MAC层协议^[1]决定无线信道的使用方式,分配在传感器节点之间的信道资源,是决定音频信号能否实时、准确、高速传输的关键。

无线传感器网络的MAC层协议设计主要分为基于竞争、基于调度和基于竞争与调度两者组合的3大类。基于竞争的MAC协议源于美国夏威夷大学开发的ALOHA网所采用的争用型协议,经过改进,它具有比ALOHA协议更高的介质利用率。另外,改进后对每一个网站而言,一旦它检测到有冲突,它就放弃当前的传送任务。换句话说,如果两个网站都检测到信道是空闲的,并且同时开始传送数据,则它们几乎立刻就会检测到有冲突发生,应该立即停

收稿日期: 2009年11月15日

作者简介: 陈秉梁(1985年),男,硕士生,主要从事无线传感器网络应用等方面的研究。

止传送数据(帧),否则只会产生垃圾。能快速地终止被损坏的帧,以节省时间和带宽的典型协议有Z-MAC^[2]协议、S-MAC^[3]协议等。

基于调度的MAC层协议采用TDMA(time division multiple access),把一个传输通道进行时间分割以传送若干话路的信息,如把 N 个话路设备接到一条公共的通道上,按一定的次序轮流地为各个设备分配一段使用通道的时间。当轮到某个设备时,该设备与通道接通,执行操作。与此同时,其他设备与通道的联系均被切断。待指定的使用时间间隔一到,则通过时分多路转换开关把通道连接到下一个要连接的设备。时分制通信也称为时间分割通信,它是数字电话多路通信的主要方法,因而PCM通信常称为时分多路通信,典型的协议有EC-TDMA^[4]。

基于竞争与调度两者组合的协议,是结合了TDMA和CSMA的混合型协议,增加了几种比较复杂的机制(如全局时间同步和单独邻居发现等),集合了TDMA和CSMA两种算法的优点,去除了CSMA在高信息量和TDMA在低信息量时的缺点,典型的协议有Z-MAC。Z-MAC协议是结合CSMA和TDMA的混合型协议,在低复杂信号量时,它像CSMA协议一样工作;在高度竞争的信号量时,它像TDMA协议一样工作。但是Z-MAC协议中的单独邻居发现、本地帧交换、全局时间同步和ECN(explicit contention notification)等机制,大大增加了协议开发的难度,严重耗费了本身配置比较低的无线传感器网络节点的硬件资源。

当前应用领域使用最广泛的是S-MAC协议,它是在IEEE 802.11 MAC协议基础上针对无线传感器网络减少能量的需求提出的传感器网络MAC协议。它的主要设计目标是提供良好的扩展性,减少能量的消耗。在802.11 MAC协议的基础上,S-MAC协议引入了节点间的同步机制,并允许没有数据收发的节点进入休眠状态,如图1所示。



图1 S-MAC协议时间分配

现在比较实用的无线传感器网络MAC层协议算法还有T-MAC^[5]和TRMA^[6],这些算法简约可靠、稳定性高,不像Z-MAC、D-MAC因复杂度很高,实现起来相当困难。复杂度的提高伴随的是不稳定性 and 比较大的延时,不利于实际的应用。简单可靠的MAC算法虽然有它的优势,但是也有先天的缺陷。

基于竞争机制的算法在数据量大的情况下数据包丢失率高、能耗大;基于时间调度机制的算法信道资源浪费,在传输音频信号时延时明显。音频信号的有效传输需满足3个条件:(1)数据包必须比较完整,实验研究表明数据包丢包率在5%以内可以有效地传达语音信息,但是丢包率超过10%将严重影响对语音信息的解读;(2)语音信号传输过程中,长时间的延时是不能接受的,在语音网络中,可以接受低于150 ms的延时,超过150 ms将严重影响通话双方;(3)对语音数据包必须按照采集的时间逐帧进行还原,不允许帧的抖动情况出现,当出现抖动时,还原出来的语音信号将模糊不清,并伴有爆炸声和嘶啦声。

2 改进的D-MAC协议

根据传输音频的需求,本文提出基于D-MAC协议的改进版本,如图2所示。未改进的D-MAC协议是在S-MAC协议基础上改进而来的,协议主要针对节点休眠带来的延迟问题而提出,采用交错调度机制,将节点周期划分为接收时间、发送时间和休眠时间,其中接收时间和发送时间相等,均为发送一个数据分组的时间。每个节点的调度具有不同的偏移,下层节点的发送时间对应上层节点的接收时间,数据能够连续地从数据源节点传送到汇聚节点,减少了传输延迟。但未改进的D-MAC协议需要严格的时间同步。

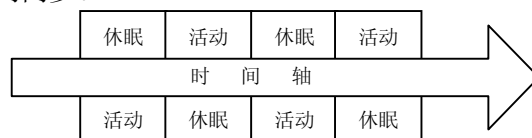


图2 改进的D-MAC协议工作机制

文献[7]提出的实现时间同步机制一直是无线传感网络中的一个研究难点。时间同步算法大致可以分为:(1)基于接收者-接收者(receiver-receiver)的同步算法;(2)基于成对(pair-wise)同步的双向同步算法;(3)基于发送者-接收者(sender-receiver)的单向同步算法。在无线传感网络中,为了完成节点间的时间同步,消息包的传送是必须的。有消息包的收发就会产生延时,影响延时的时间由发送时间、访问时间、传输时间、传播时间、接收时间和接收处理时间6部分组成^[8-9]。针对用协议方式实现时间同步机制的难度,以及存在不可预知的诸多问题,本文采用基于硬件的方式实现全局时间同步。如采用原子钟接收装置实现时间同步,通过时间同步可以很好地消除碰撞^[10]。

改进的D-MAC协议也采用数据采集树为通信机制, 每两个节点分为一组, 在同组节点中采用交叉方式, 节点的休眠时间和活动时间设定为相同值, 当一个节点处于活动状态时, 另一个节点处于休眠状态, 保证了不同深度的每一层节点都有节点处于活动状态, 不需要等待节点被唤醒, 保证数据包可以连续地传输到上层节点。每个节点的活动状态划分为接收时间 T_x 和发送时间 R_x 两部分, 相连层之间节点的接收时间 T_x 和发送时间 R_x 采用交错机制, 数据包可以从子节点到父节点通过多跳方式没有延时地连续传输。

改进的D-MAC协议从采集节点开始到汇聚节点传输一次数据的时间为:

$$T=(T_R+T_T)(n-1)+T_S(n+1)$$

式中 T_R 为单个节点接收数据时间; T_T 为单个节点发送数据时间; n 为数据从采集节点到汇聚节点经过的节点个数; T_S 为单个节点执行代码的系统延时。

同处于活动状态的节点之间采用数据采集树作为通信机制传递数据, 如图3所示。

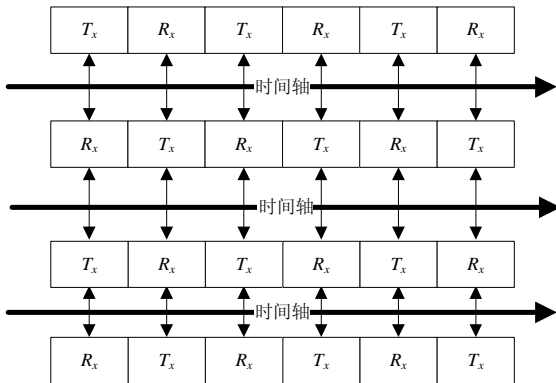


图3 交错机制向上传递数据

不同深度节点之间采用接收/发送的交错调度机制, 数据能沿着多跳路径连续地从数据源节点传送到汇聚节点。

无线传感器网络在初始化的过程中采用ACK request机制, 把每个节点的同组节点的物理地址和每个节点的父节点与子节点的物理地址一起存储在邻居表中, 数据包按照从子节点到父节点的顺序一层层地向上传输到汇聚节点。当网络中有节点损坏或者电池耗尽不工作时, 相应地, 断开节点会重新搜索自己的父节点与子节点加入到网络中。改进的D-MAC协议设计为最优二元树的网络结构, 每个父节点下面搭载两个子节点, 当两个子节点同时向同一个父节点传送数据包时, 先发送一段小小的请求传送报文RTS(request to send)给父节点, 等待目标端回应CTS(Clear to Send)报文后, 才开始传送数据包。

利用RTS-CTS握手(handshake)程序, 确保接下来传送数据包时, 不会被碰撞。

3 对比分析

本文提出的改进的D-MAC机制采用一种可靠的硬件时间同步方式机制, 避开未改进的D-MAC协议用协议算法形式解决时间同步的问题。

改进的D-MAC, 节点周期还是分为活动时间和休眠时间两部分, 节点的活动时间和休眠时间还是周期性的。该协议采用精确的时间同步机制把两个节点绑定, 不同层数之间的节点采用时间交叉机制, 性能的提升如表1所示。

表1 主要指标对照

类型	D-MAC	改进的 D-MAC
侦听机制	自适应占空比机制	周期性的睡眠与侦听机制
空闲侦听时间	短	长
发送延时	无	无
接收延时	无	无
占空比	α_{D-MAC}	\uparrow 改进的 D-MAC
数据冲突	无	无
系统延时	长	短
稳定性	低	高
时间漂移	有	无

无线传感器网络节点由电池供电, 节点的能耗主要体现在数据包的收发和长时间侦听两个方面。采用改进的D-MAC协议机制, 每组节点都可以有序地休眠和活动, 不需要长期进行侦听。

未改进的D-MAC的占空比为:

$$\alpha_{D-MAC} = \frac{n(R_x + T_x)}{sleep}$$

式中 R_x 和 T_x 分别为等时段的接收时间和发送时间; sleep为睡眠时间; n 为一个周期内发送的分组数据个数。虽然在数据量少时未改进的D-MAC可以将占空比降低到很小, 减少空闲侦听, 但是复杂的自适应调整机制会带来系统稳定性的降低。

改进的D-MAC的占空比为:

$$\alpha_{改进的D-MAC} = \frac{T_1}{T_s}$$

式中 T_1 表示活动时间; T_s 表示休眠时间。采用简单可靠的周期性休眠/活动机制, 可保证节点运行的稳定性。

在无线传感器网络中传输的数据包的延时, 主要是由于大量收发数据时产生的信号争抢, 导致数据包丢失引发的数据重发延时和等待休眠节点被唤醒引发的等待延时。

改进的D-MAC协议有效地降低了D-MAC协议

中采用软件时间同步机制引发的时间漂移问题,提高了系统的时间准确性,增强了整个系统运行的稳定性。

改进的D-MAC协议采用硬件时间同步机制,降低节点的软件复杂程度,减少了节点软件代码执行时间,有效地解决了大量传输数据包时,每次软件时间同步机制代码执行时间累加的系统延时。节点的分组机制和不同深度节点之间活动时间的收发时间的相互交叉,使数据包能够沿着多跳路径连续地从数据源节点传送到汇聚节点,保证语音数据的实时性。

4 硬件实现

MICAZ是为本文研究独立制作的硬件平台,采用ATMEL公司的低功耗8位单片机atmel1281作为处理芯片、TI公司的CC2420作为射频收发芯片、MC145481作为语音信号编解码芯片,以两节AAA(5号)电池供电。另外,时间同步模块采用RT-Link机制实现,可以为固定和移动两类节点提供时间同步。节点时间统一由时间同步模块接收系统广播的时间进行校准。节点硬件架构如图4所示。

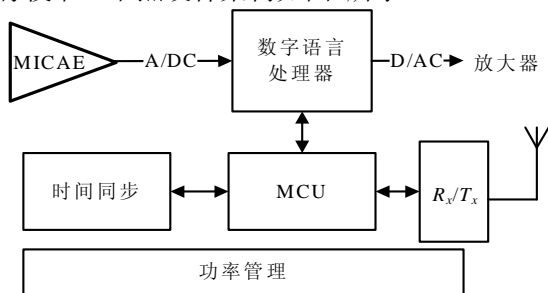


图4 语音无线传感器节点

5 总结和后续工作

为了使传统的无线传感器节点能够快速地传输音频信号,本文设计了语音模块,对原有的MICAZ节点进行软硬件的扩充;提出了实时性更高、功耗更小、准确性更高的改进的D-MAC协议,具有为无线音频网络提供高实时性和高吞吐量的网络性能。今后对无线传感器网络将完成:(1) 无线语音节点现场的实验工作;(2) 对改进的D-MAC协议的评估和

测试工作;(3) 音频压缩算法的改进工作;(4) 丢弃CRC校验,降低功耗的工作。

参 考 文 献

- [1] DEMIRKOL L, ERSOY C, ALAGOZ F. MAC protocols for wireless sensor networks: a survey[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(4): 115-121.
- [2] RHEE I, WARRIER A, AIA M, et al. A hybrid MAC for wireless sensor networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(3): 511-524.
- [3] YE W, HEIDEMANN J, ESTRIN D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]//INFOCOM. [S.l.]: [s.n.], 2002: 1567-1576.
- [4] XIE Mao-tao, WANG Xiao-li. An energy-efficient TDMA protocol for clustered wireless sensor networks[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM. [S.l.]: IEEE, 2008: 1567-1576.
- [5] TIJS van DAM, LANGENDOEN K. An adaptive energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. [S.l.]: [s.n.], 2003: 171-180.
- [6] RAJENDRAN V, OBRACZKA K, GARCIA J, et al. Energy-efficient, collision-free medium access control for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems Table of Contents. Los Angeles, California, USA: Year of Publication, 2003: 171-180.
- [7] JENS E, MAGNUS L, PER L. Time synchronous blue tooth sensor networks[C]//2006 3rd IEEE Consumer Communications and Networks Conference. [S.l.]: IEEE, 2006.
- [8] ALYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2002, 40(8): 102-105.
- [9] ELSON J, GIROD L, ESTRIN D. Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts[C]//Proceedings of the 5th Symposium on Operating Systems Design and Implementation. [S.l.]: Year of Publication, 2002: 147-163.
- [10] ROWE A, MANGHARAM R, RAJKUMAR R. RT-link: a time-synchronized link protocol for energy constrained multi-hopwireless networks[C]//Proceedings of the on Energy Efficient Design in Wireless Ad hoc and Sensor Networks. [S.l.]: [s.n.], 2007: 127-134.

编辑 漆 蓉