

融合 MAC 和路由的跨层设计节能协议

陈 伟, 程良伦, 卢 旭

(广东工业大学自动化学院, 广州 510006)

摘 要: 融合 MAC 和路由功能, 采用跨层设计方法, 提出一种增强型的 AIMRP 协议——E-AIMRP。该协议针对事件检测与快速报告型应用, 解决 AIMRP 中由于多节点检测和报告而造成的能量浪费问题, 扩展单节点检测拓扑模型。仿真结果表明, E-AIMRP 能增强协议的扩展性, 进一步提高节能效率并减少时延。

关键词: 无线传感器网络; 跨层设计; 节能; E-AIMRP 协议

Cross Layer Design Energy Efficient Protocol Integrating with MAC and Routing

CHEN Wei, CHENG Liang-lun, LU Xu

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

【Abstract】 This paper proposes an enhanced AIMRP protocol——E-AIMRP. Designing for the event detecting and quick reporting applications, it integrates MAC and routing with cross layer mechanisms, solves the problems in AIMRP of low energy efficient resulting from the multi-node event detecting and reports, and enhances the topology of single node detecting model. Simulation results show that E-AIMRP outperforms AIMRP for energy efficiency and time delay in the event-detection applications.

【Key words】 Wireless Sensor Network(WSN); cross-layer design; energy efficient; E-AIMRP

1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)有明显的资源吝惜和动态变化的特点^[1]。因此, 使用一般方法来设计的无线传感器网络协议通常不能使协议达到最优, 而且这种一般性的协议在特定的应用中可能不适用。现在大多数的 WSN 应用可以分为以下 4 种类型^[2]: (1)事件检测与报告; (2)监控与周期报告; (3)目标检测与追踪; (4)以上 3 种的混合型。本文的工作主要针对第 1 种类型的应用。设计这类无线传感器网络应用协议时, 必须满足时延和位置需求, 同时具备最小的能耗。

在传统的通信网络中, 对模块化和互操作性的需求导致层次参考模型协议的出现。对于 WSN, 满足应用的特定需求和能量有效是最重要的。因此, 对协议的跨层操作和融合成为有效减少协议负载和减轻协议栈设计的重要解决思路^[3]。

2 AIMRP 协议分析

2.1 AIMRP 的应用模型和特点

AIMRP^[4]的应用模型是事件检测及快速汇报型 WSN, 如火灾检测应用。AIMRP 有几个假设前提: 汇集节点不需要与特定的节点通信, 只需要在配置阶段进行一种广播的操作; 事件能够被兴趣区域内的节点等概率地感知, 并且仅仅只有一个节点能够感知和汇报此事件。

2.2 AIMRP 的拓扑结构和帧格式

AIMRP 的拓扑结构如图 1 所示。AIMRP 中假设所有的节点都是以汇集节点为中心来配置的, 通过初始配置阶段, 整个网络被组织成以汇集节点为中心的分层结构, 从最里面层开始, 各层分别被编号为 1, 2, ...。这样第 n 层节点可以通过 n 跳把数据转接给汇集节点。在配置阶段完成后, 整个路

由发现也就跟着完成。AIMRP 在层寻址的层次上完成路由功能, 它比全局编址的路由寻址法使用更少的能量。

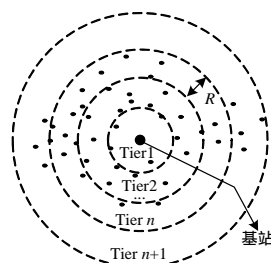


图 1 AIMRP 的网络拓扑结构

AIMRP 共有 5 种类型的帧^[4], AIMRP 使用其中的 RTR 帧来寻找靠近汇集节点的接收者来转接数据, 接收者使用 CTR 确定它作为下一节点的地位。TIER 帧是 AIMRP 的特有帧, 它被使用在网络配置阶段进行路由发现。

AIMRP 在信道接入控制、路由和 MAC 地址的配置与处理、数据的传递上是高效的, 且算法简易可行。在针对事件检测与快速报告型应用的 WSN 应用中能达到很好的性能。但该协议仍有值得进一步完善的方面。

3 E-AIMRP 协议的设计与分析

3.1 AIMRP 的不足

本文深入分析 AIMRP 协议的主要实现机制, 为进一步

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60673132); 广东省自然科学基金资助项目(07117421, 8351009001000002, 2009A080207008)

作者简介: 陈 伟(1983 -), 男, 硕士, 主研方向: 无线传感器网络, 嵌入式系统; 程良伦, 教授、博士生导师; 卢 旭, 硕士

收稿日期: 2010-04-16 **E-mail:** chenwei536328@163.com

提高协议性能,发现有以下问题需要解决:(1)AIMRP 没有解决多个节点对同一事件进行多次报告而造成能量浪费的问题,从而导致汇集节点能量过早耗完而使网络生命结束,在这类 WSN 应用中,多个节点检测到同一事件的情况经常发生。(2)AIMRP 没有任何具体的机制来防止通信量的突然激增。(3)对于节点的移除或加入,AIMRP 并不提供机制应对,对于节点移除,只提出一种局部修复或全局重新配置的选择,没有提出具体选择的策略,也没有进一步说明对于新加入的节点如何入网。针对以上问题,本文基于 AIMRP 协议及其应用模型提出了一种增强型的 AIMRP——E-AIMRP。

3.2 E-AIMRP 协议的设计

E-AIMRP 仍针对事件检测与快速报告型应用,协议的设计与运行仍然采用 MAC 与路由融合策略,能量节省模型、协议死锁避免等 AIMRP 的控制策略和算法,但它使用了一种改进的 RTR 帧结构和控制方式,主要改进工作如下:

(1)修改 RTR 帧中的 NAV 域为 2 个,分别为 NAV_{sc} 、 NAV_{dc} , 使该帧能够在同路由层中传播一定距离,避免同路由层的其他节点对同一事件的报告。

(2)在 RTR 帧中加入一个 Thre 域,同时在每一个节点中增加一个全局的 $ThreadValue$ 变量和一个 $EventTime$ 变量,只有当节点采集的数据比 $ThreadValue$ 大,并且这次检测到事件的时间距上次检测到事件的事件比 $EventTime$ 大时才对此事件进行报告。改进的 RTR 消息如图 2 所示。

RTR	MessageType	RSD	STD	NAV_{sc}	NAV_{dc}	OPI	THR
-----	-------------	-----	-----	------------	------------	-----	-----

图 2 改进的 RTR 消息

(3)增加对新加入节点的处理,对于新加入节点,让它等到下一个检测事件发生并汇报时才加入网络。对于节点的移除,采用 AIMRP 的局部修复办法,这些办法与 AODV、DSDV 中的路由修复策略相似。

对于 E-AIMRP 的应用模型,拓扑改变不是经常的,不需要周期运行路由发现协议来修复路由;另外,兴趣区域的事件发生很频繁时,可以通过 $ThreadValue$ 变量和 $EventTime$ 变量来控制信息量的大小,防止汇集节点过早死亡,但同时可以自适应地调整 $EventTime$ 的值从而达到不减弱不同事件报告的及时性。因此,E-AIMRP 的改进是合理的。

3.3 E-AIMRP 的主要运行机制分析

E-AIMRP 继承了 AIMRP 的主要机制,包括高效的路由发现算法以及协议死锁避免机制。但 E-AIMRP 通过允许 TIER 消息在同层传递一定距离从而降低了不同节点对同一事件的检测和报告。用 time out 机制减少了不同路由层之间节点冲突,从而减少了监听能耗和提高了事件报告的时延。E-AIMRP 通过局部修复算法可以处理节点的移除与增加,提高了网络的动态适应性和扩展性。

在配置阶段,E-AIMRP 所有节点的 $ThreadValue$ 和 $EventTime$ 都初始化为 0,并且每一个节点配置一个事件上下限表。当节点检测到兴趣事件后,节点竞争信道发送 RTR 消息,这个改进的 RTR 消息是 E-AIMRP 优于 AIMRP 的重要消息。下面分析这个消息的传递过程和网络相关节点的状态:节点检测到兴趣事件后(称为源节点),等待一个固定的安全时间。接着节点再等待一个随机监听时间或是监听到信道空闲而直接转入发送 RTR 消息的状态。节点发送完 RTR 消息后马上进入请求状态。接受到此 RTR 消息的节点(称为下一节点)的可能性分 2 种情况:

(1)大于或等于源节点路由层的节点:接收到此 RTR 消息的节点如果也检测到了某一事件,那么此节点使用 RTR 中的 THR 值与自己检测到的事件值进行比较,如果自己检测到的事件值与 THR 中的值同时落在上下限表中的同一个域中,并且 $EventTime$ 还没为 0 时,下一跳节点对 RTR 消息中域 NAV_{sc} 的值减 1 后转发该 RTR 消息,同时删除自己的该待发事件,不对源节点发 ACK 帧。如果 $EventTime$ 为 0 则不转发该消息。该 RTR 消息在同路由层传递直到 NAV_{sc} 为 0 为止。一般开始统一设置 NAV_{sc} 为 2,这样就最少抑制了同路由层中 2 跳以内有相同事件报告的通信量。

(2)低路由层节点:如果接收到此 RTR 消息的节点也检测到了某一事件,并且自己检测到的事件与待转接的事件是同一事件,设置 ACK 帧中的重叠事件标志以告诉源节点结束此事件的报告,转而由该节点报告此事件。接着该节点作为源节点报告此事件,并设置自己的 $ThreadValue$ 和 $EventTime$ 值以避免转接不同节点检测到的相同事件。如果接收到 RTR 消息的节点没有检测到此事件或则检测到的事件与此事件不相同,那么该节点就以 AIMRP 的方式完成这一事件数据的交换,并设置 $ThreadValue$ 和 $EventTime$ 值。

以上过程为 E-AIMRP 一次数据的交换过程,它以这样的数据推进方式完成检测事件的报告,并有效地抑制相同事件的重复报告,同时使用 AIMRP 的睡眠机制进行能量控制。下文的仿真实验将证明 E-AIMRP 协议在节能效率上比原协议优越,时延性能在节点密集时比原协议损失小。

4 仿真实验与分析

本文提出的 E-AIMRP 协议在 NS-2 平台中进行仿真,实验数据用 Matlab 辅助分析,测试的性能指标有节能效率和时延。实验模型参考原 AIMRP 的实验(网络结构如图 1 所示),仿真时间为 10 000 s,仿真参数如表 1 所示,其中, α 为路由层宽度参数; λ 为最大允许时延参数。

表 1 仿真参数

R/m	L/m	α	λ /s	$EventTime$ /s	NAV_{sc}
100	500	0.5	0.6	60	3

本文假设所有的传输都没有错误和碰撞冲突,这个假设在低事件发生率时是正确的,仿真结果如图 3、图 4 所示,其中, λ 为节点密度参数。

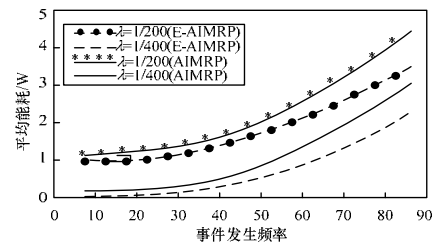


图 3 能耗随事件发生频率变化的曲线

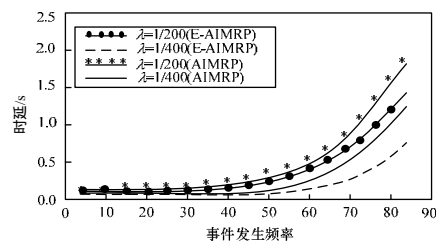


图 4 时延随事件发生频率变化的曲线

(下转第 136 页)