

传感网中基于时间帧的信息场变速率模型

魏 巍^{1,2,3}, 赵金伟¹, 赵 鑫¹, 杨晶雯¹, 苏 琪¹, 高 敏⁴

(1. 西安理工大学计算机科学与工程学院 西安 710048; 2. 西安交通大学机械结构强度与振动国家重点实验室 西安 710049;
3. 西安电子科技大学软件学院 西安 710071; 4. 西安理工大学印刷包装与数字媒体学院 西安 710048)

【摘要】该文在构造传感器网中的信息位势场时,出于实际应用考虑,提出一种基于时限调度方案的新可变速率方法,可以进一步减少碰撞和提高节能效果。该方法结合CSMA和TDMA功能的同时克服了原有缺点。时隙0作为前一个时隙通知附近节点通信的标志时刻,在前一个时隙发通知信息的时刻,每个节点都精确地知道临近节点的调度信息。此过程采用了多速率和能量调整方法,同时使用可接受速率而非最高速率传输数据来进一步达到节能目的。实验中在一个能量有效数据比率下,数据比率用于动态校正交通负荷类节约能量。实验证明,与Z-MAC相比该文的局部帧预调度和多速率的特点能达到更好的节能效果,在传感器网络中有很好的应用前景。

关 键 词 载波侦听多路访问; 媒体访问控制; 无网格; 信息势场; 基于调度的速率; 传感器网络; 分时多址
中图分类号 TP391 **文献标志码** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-0548.2015.05.008

Different Rates Dispatching Based on Time Frame Model for Constructing Potential Fields

WEI Wei^{1,2,3}, ZHAO Jin-wei¹, ZHAO Xin¹, YANG Jing-wen¹, SU Qi¹, and GAO Min⁴

(1. School of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology Xi'an 710048;
2. State Key Laboratory for Strength and Vibration of Mechanical Structures, Xi'an Jiaotong University Xi'an 710049;
3. School of Software, Xidian University Xi'an 710071;
4. School of Printing and Packaging and digital media, Xi'an University of Technology Xi'an 710048)

Abstract A novel variable-rate based time frame scheduling scheme is proposed to reduce collisions and save energy in wireless sensor networks. The media access control (MAC) combines carrier sense multiple access (CSMA) and Time division multiple access (TDMA) functionalities, while obviating their drawbacks. Multi-rate and power scaling are adopted to save energy with an acceptable rate rather than the maximum rate. Data rate is dynamically adjusted according to the traffic load of sending nodes in energy efficient data rate to save energy. Compared with Z-MAC, the performance of the proposed scheme has better ability of local framing pre-schedule and multi-rate to achieve better energy efficiency.

Key words CSMA; MAC; meshless; potential fields; rate based scheduling; sensornets; TDMA

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSNs)的快速发展给很多应用场景带来了更多新的计算需求^[1-2]。目前传感器的进展揭示了手持设备的潜在用途,在和现实世界的相互作用过程中,彻底改变了人们生活的世界。分布式数据采集系统中,一些初步的应用情景^[1-2]由于具备低成本等优点,已经超越了传统的集中式传感器系统。随着技术的逐步成熟和传感器网络规模的扩大,更期望传感器网络可超越原有的军事部署用途,而应用于监测动物

或行人,如汽车、建筑、道路状况等方面。在上述场景中的无线传感器网络和用户同处同一网络物理空间,可以更加有效地完成相应的服务。此外,为了让用户能及时地采取响应,往往要求低延迟地提供相关信息的传输^[3]。如在第一响应时间内,做出灾难恢复方案。信息导航的各种方法目前还在被广泛研究中,本文也在努力探究可自行设定高查询频率的可扩展方法^[4]。

基于梯度的研究都是建立在物理现象形成的梯

收稿日期: 2012-04-01; 修回日期: 2014-07-21

基金项目: 中国博士后基金面上项目(2013M542370); 教育部新教师基金(20136118120010); 陕西省教育厅科研计划项目(2013JK1139); 陕西省科技攻关项目(2014K07-11); 西安市科技计划项目(CXY1440(6)); 西安市碑林区科技计划项目(GX1504); 国家自然科学基金(11301414, 11226173, 61402363, 61401355)。

作者简介: 魏巍(1980-),男,博士,主要从事无线传感器网络、普适计算和偏微分方程应用方面的研究。

度上,即物理现象的空间分布,如热量的传导就是遵循自然的扩散法则。基于梯度的研究方法^[5-7]也都是使用物理现象的梯度来说明,因为这些物理现象的空间分布都是类似的,如热量的传导是遵循自然的扩散法则,测量热量扩散的过程就是扩散过程。然而,梯度受自然规律影响,不是可以完全依赖的法则。当存在局部极值区域,会迫使信息引导用户随机地走动。本文尝试使用嵌入式传感器网络,通过动态的环境辅助信息来发现空位信息场而进行导航,这个过程包括数据导航(即从任何节点回答用户的查询)。人或车辆在同一个空间移动时的导航也是类似的情况。当手持设备与附近的传感器节点通信时,用户可获得实时的导航信息。如路边传感器可以监测本地交通拥挤状况;停车场通过检测部署在每个停车位的传感器可进行跟踪。这些具备不同特点的应用场景不同于传统的科学监测应用,信息都是动态更新的,如停车位的释放和占领的具体情况,道路在一天中不同时段通行状况等。因此,导航系统需要适应环境的变化。信息的变化与信息场紧密关联,如何有效地获取信息场,对在传感器网络中的应用是至关重要的。

大量WSNs的MAC记录适用于静止状态。目前,随着移动节点活动的逐渐增加,而相应的无线网络诊断则几乎完全依赖模拟,因此,验证价值高度依赖于在模拟中如何使运动的模型现实化。在公共场合中,由于可用的现实跟踪数量有限,所以非常需要运动模式的合成模型。但是,目前大多数人采用的模型都非常简单,侧重于应用而不是基础应用。因此,仿真模拟往往是基于随机生成的运动模式,不同于真实情况下运用系统得到的记录。目前,出现了大量成熟的可移动性模型,应用最广泛的是基于随机个体运动,用于证明能量系统的纯随机运动。除了以上的基础模型研究,无线传感器网络中许多存在的应用软件如环境监测和战争场地监测,都需要传感器节点来延长寿命。把无线传感器网络的先天特性考虑进去,首先应注意能量的有效性,而后是高能量、低潜伏期问题。任何无线传感器网络的流畅操作和能量有效性在很大程度上取决于MAC层响应的功效。

无线时隙访问设计传统上可分为两大类:基于争夺和基于保留。在无线网络中通常用的MAC范例是CSMA,它是基于争夺的中间通道。它的普及是由于它的简单和耐用,它不需要太多的基础支持,在任意两个相邻区域都可以发生碰撞。RTS/CTS可

以缓解隐藏的电极问题,但是不能解决高漏出。另一方面,基于保留的中间通道可以解决隐藏的问题而不会带来额外信息泄露,因为它能预定任意时刻发生的邻近节点的传播时间。但是,TDMA需要时间同步且很难应用于可变网络。在Z-MAC的研究中,CSMA和TDMA结合可以用于网络中争夺的水平。在低水平,CSMA被广泛应用;在高争夺水平,需要TDMA来增强争夺。但是,在Z-MAC中没有多速率功能。

本文在Z-MAC中引入多速率来减少争夺和碰撞。因为每个节点知道它的调度和邻近节点的调度方案,这样它可以更好地节能。

1 问题阐述

1.1 信息势场

无线传感器网络中大多数MAC记录是基于常规的CSMA/CA无线记录。IEEE 802.11家族MAC提供了多速率功能,但是在这些MAC中能量消耗非常高,它们不适合与无线传感器工作。

S-MAC是基于MAC的低能争夺。基本观点是时间可以分成活动部分和休眠部分。通过引入适当的工作期T-MAC改善S-MAC的能量使用,即在活动期经过同步当前的数据后,运用一个超时窗口,如果没有活动发生,节点将回到休眠期。在可变的工作负荷下T-MAC比S-MAC节能。

Z-MAC在基于B-MAC上用CSMA作为基本的MAC设计,使用了TDMA作为暗示来加强线路争夺方案。在Z-MAC中展开的同时,时间时隙的分配也同时完成,但刚开始会导致高消耗。它的设计原理是在长时期的网络操作中高消耗是必需的,最终被高处理量和能量效率所补偿。与TDMA不同,在Z-MAC中任何时间时隙节点都可以传输。如果传输媒介可以高效地感应和传输数据包,那么节点就可以更有效地实现节能。但是,在通过媒介时时隙的拥有者比非拥有者有优先权。优先权通过调整最初的线路争夺窗口大小来实现,这样使得拥有者比非拥有者有更早的传输机会。通过放大CAMA和TDMA,对于定时失败、定时变化媒介改变、时隙分配失败和局部改变Z-MAC要比TDMA更加结实;最糟糕也就是它成为CAMA。

对于无线传感器网络Z-MAC是一个非常出色的MAC协议。在Z-MAC中,纤维单跳跃线路争夺是通过使用ECG解决,将会增加额外的操作。基于Z-MAC,通过努力限制拥有者时隙的传输,使用新

的多速率方案解决线路争夺,该方法极大地减小了线路争夺,因此也减小了能量消耗。

1.2 Z-MAC的改进

基于B-MAC的Z-MAC设计加强了CSMA和TDMA,同时消除了它们的缺点。低竞争时,CAMA可以达到高频道利用;高竞争时,TDMA对频道利用会表现得更好。

文献[5]和文献[6]描述了邻域使用DRAND方法,每一个节点构造一个两跳邻域目录。基于局部的一个两跳邻域局部的例子,采用DRAND方法构造了时隙的分配。每一个节点至少分配一个时隙用于传输。除了传输时隙,如果某节点没有数据传输,那么节点就可以竞争其传输时隙。对于接收时隙,低能力用于节能。但有两个问题:首先,因为任何一个节点都不知道它的数据从哪里来并传到哪里去,所以所有的节点都必须周期性地执行低能听力。这种方法将会导致所有节点的周期性复苏以此来检查是否传给了它们所有的数据。尽管低能听力能够很好地节能,但频繁开关无线设备将会导致能量浪费。如果一个节点知道哪个节点会把几位数的数据传给它,那么当执行低能听力时它将会被重组。此外,如果一个节点有太多缓冲数据,并且在它有时隙中数据传输不能够完成,它将会争夺其他节点的时隙。Z-MAC用ECN来解决这个冲突,但将会引入额外的消耗^[8-12]。

2 交叉层设计方案

早期研究已经证明交叉层是较为有效的。环境的独特性交叉层设计原则很重要,在决策时,不同的层需要用到相同的信息,如决策时常需采用链接和媒介信息、节点的定位信息、邻域目录和局部信息。此外,在迅速变化的无线环境中不同层之间需紧密协调以满足需求。当routing层共享MAC层的信息时就可完成相关设计需求^[17-19]。

交叉层设计允许任一层之间交互作用。在协议中每一层都与其他层相互联系。本文研究讨论了共享在移动设备上的交叉层信息的积极作用,提出了一个有效的交叉层信息共享结构。但是,没有对多速率信号处理软件提出总的方案,或者没有为无线传感器网络中信号处理软件的新创造提出发展平台。

3 框架结构

主要框架由交叉层模型中负责协调运作且明确定义的几个部分组成,其中包括自适应的应用多速

率MAC和选进选出(first input first output, FIFO)管理等。在不同的层次结构上组织这些组件构造一个简约易管理的框架。通过ATM网络的启示,在不同的组件上设置简约而易管理的框架结构,同时将应用程序调整成更适合于多速率信号处理的方式。多速率MAC和双层栅格线路在控制面起作用,分别提供线路、媒介访问工作和多速率功能;FIFO管理在数据面起作用;本地数据库在信息面起作用。系统框架结构如图1所示。

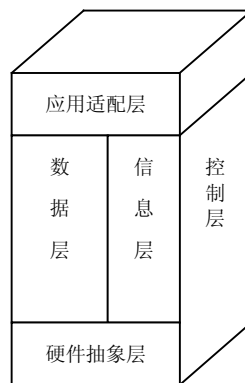
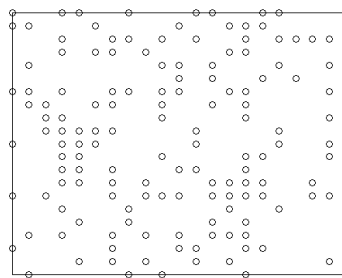


图1 系统框架视图

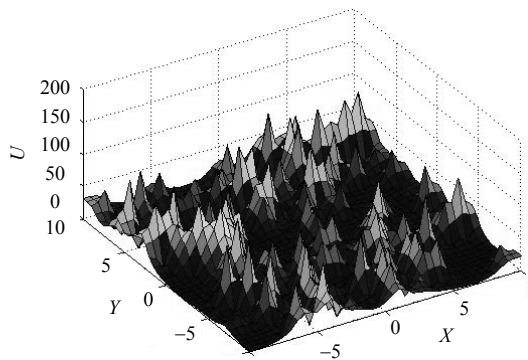
在FIFO中,路径部分将会把数据打包到TOS-Msg数据包,并且找到本数据库部分的下一个邻域。路径选择和速率参数被传递到MAC部分,MAC部分将会把数据打包到MAC结构格式。然后按照媒介条件和数据速率计算传输能量,并把数据速率和供给能量传到物理层。无线传感网随机的带有信息场的可以被生成出来。本文方法被应用后可以获得期望的信息场。

算例1:信息节点在区域 $G=[-1,1] \times [-1,1]$ 上的分布如图2所示。信息量在节点 $(-1,-1)$, $(1,-1)$, $(-0.5,0)$ 被分别设定为2,2,5,同时给出相应的边界条件。在后续的高级应用中,一个光滑的信息场可以被确定得到。

算例2:信息分布如图2a所示。信息量在区域 G 的4个顶点上被分别设定为:2,6,4,5。节点 $(0.5,0)$ 包含信息量2。给定确定的边界条件。可以得到光滑的信息势场,如图2b所示。



a. 传感网中的随机信息分布图



b. 拉普拉斯边界构造法形成的预计信息场

图2 由随机分布确定的信息势场

算例3: 图2a给出了在无线传感器网中, 随机的信息分布情况。相似的边界条件被定义为拉普拉斯问题。期望的信息场可以由给定的方法来构造, 结果如图2b所示。信息场主要特征的光滑特性也可以被应用到其他应用场景。

4 交叉层控制

4.1 多速率MAC

多速率MAC部分是基于T-MAC。它用T-MAC来执行媒介存取控制功能和代码休眠与复苏。把多速率功能加到MAC部分。MAC部分中多速率功能通过动态调整达到。

```
interface IMultiRateMAC {
    command result_t SendPacket(void * pPacket, \
        uint16_t nPacketLen, uint16_t nDstAddr, \
        uint16_t nDataRate);
    event result_t SendPacketDone(result_t success);
    event void OnReceivePacket(void * pPacket, \
        uint16_t nPacketLen, uint16_t nDstAddr, \
        uint16_t nSrcAddr);}
```

4.2 MAC方案描述

一般要求把数据包传到MAC部分, 在传到FIFO前数据包已经被提前打包; 然后MAC部分把MAC域名和CRC尾部打包到TOS-Msg, 当然是无记忆复制; 再根据数据比率选择一个适当的调节方案, 并基于发送器和接收器之间的调解方案和频道损失设置传送无线电能量; 最后开始无线电传输数据。当一个数据包被物理层捕获, 它就会被保存到域名和结尾后的FIFO^[9-15]。

4.3 路径部分

路径部分的主要功能是决定下一个节点地址。路径部分的延迟是一组数据传送到下一个节点需要

的时间。界面并没有简化路径系统界面的应用, 相反它给出暗示应用必须照顾链接推迟, 并且为下一个传输反馈一个适当的数据速率。

```
interface IRoutingComponent {
    command result_t SetE2EDelay(uint16_t nE2EDelay);
    command uint16_t GetNextHopAddr(uint16_t nDstAddr);
    command uint16_t CalcNextHopDataRate();
}
```

4.4 FIFO管理

FIFO是一个数据导管, 支持储存数据和打包操作。当应用程序改编在FIFO储存数据时, MAC标题的内存定位、CRC踪迹和路径域名如图2所示。当路径部分占据此数据帧时, 在相应预定的位置偏移处打包路径域名。数据帧被MAC部分占据时, MAC域名和CRC踪迹就被填充。处理之后, 储存在FIFO的所有数据通过给出的起始地址和位置直接传输到无线发射部分待发送。

4.5 局部数据库

局部数据库是位于每个节点的定位数据中心。其主要的功能是为路径和MAC部分管理共享的数据目录。在传统设计上, 路径层和MAC层有各自的邻域目录, 但是它们有几乎相同的信息。局部数据库消除了不一样, 保留了数据一致性。邻域目录是由所有单跳的主要信息构成, 比如邻域节点ID、节点位置、节点残余能量和媒介损耗。局部数据库提供了界面来管理邻域目录。

5 结 论

本文提出一个全新的模型来逼近传感器网络中的信息场, 同时基于Z-MAC提出了新预调度的多速率局部架构方案, 这样可以更好地减小能量消耗。尽管Z-MAC已经达到较好的节能效果, 但新的局部预调度框架方案可以较好地减少不必要的低能侦听, 从而可以较好地节省节点能耗; 同时多速率方案给出了多种传输选择而有利于数据传输。因为发射功率在调制过程中, 与数据传输速率有关, 从节能的角度选择低速率比选择全速率节能效果更好, 节点也只需要在一轮发送中完成数据传输就可以了。这样也可以更容易地应用到无线传感器网络未来应用场景中去, 如用户携带手持设备在无线传感器节点附近, 可以获取实时信息来导航; 路边的传感器可以监控交通阻塞情况; 借助无线传感网, 市

区空闲停车位也可以被探测和追寻到。

参考文献

- [1] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless sensor networks: a survey[J]. *Computer Networks*, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] AKYILDIZ I F, MELODIA T, CHOWDHURY K R. A survey on wireless multimedia sensor networks[J]. *Computer Networks*, 2007(51): 921-960.
- [3] ATLURI S N, ZHU T. A new meshless local Petrov-Galerkin(MLPG) approach in computational mechanics[J]. *Computational Mechanics*, 1998(22): 117- 127.
- [4] BELYTSCHKO T, KRONGAUZ Y. Meshless methods: An overview and recent developments[J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 1996 (1/4): 3-47.
- [5] CHU M, HAUSSECKER H, ZHAO F. Scalable information driven sensor querying and routing for ad hoc heterogeneous sensor networks[J]. *International Journal of High Performance Computing Applications*, 2002: 90-110.
- [6] FARUQUE J, HELMY A. RUGGED: Routing on fingerprint gradients in sensor networks[C]//IEEE International Conference on Pervasive Services (ICPS). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004.
- [7] FARUQUE J, PSOUNIS K, HELMY A. Analysis of gradient based routing protocols in sensor networks [C]//IEEE/ACM International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005.
- [8] KALANTARI M, SHAYMAN M. Energy efficient routing in wireless sensor networks[C]//Proceeding of Conference on Information Sciences and Systems. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 356-361.
- [9] LIN Hui-jia, LU Mao-hua, MILOSAVLJEVIC N, et al. Composable information gradients in wireless sensor networks[C]//Proceeding of the International Conference on Information Processing in Sensor Networks(IPSAN'08). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 121-132.
- [10] LIU J, ZHAO F, PETROVIC D. Information-directed routing in Ad-hoc sensor networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005(4): 851-861.
- [11] ZHANG Suo-chun. Smooth particle hydrodynamics (SPH) method (Review)[J]. *Computational Physics*, 1996(4): 385-397.
- [12] ZHANG Xiong, HU Wei, PAN Xiao-fei. Weighted least squares meshless method[J]. *Journal of Mechanics*, 2003(4): 425-431.
- [13] ZHANG Xiong, SONG Kang-zu, LU Ming-wan. Meshless method in solid mechanics[J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2003(6): 730-742.
- [14] ZHANG Xiong, LIU Yan. Meshless method[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [15] ZHOU Wei-yuan, KOU Xiao-dong. Meshless method and it's app lication in engineering[J]. *Journal of Mechanics*, 1998(2): 193-202.
- [16] WEI Wei, QI Yong. Information potential fields navigation in wireless Ad-hoc sensor networks[J]. *Sensors*, 2011, 11(5): 4794-4807.
- [17] WEI Wei, XU Qin, WANG L, et al. GI/Geom/1 queue based on communication model for mesh networks[J]. *International Journal of Communication Systems*, 2014, 27(11): 3013-3029.
- [18] WEI Wei, YANG X L, SHEN P Y, et al. Holes detection in anisotropic sensornets: Topological methods[EB/OL]. [2012-03-01]. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/135054>.
- [19] WEI Wei, YANG X L, ZHOU B, et al. Combined energy minimization for image reconstruction from few views [EB/OL]. [2012-02-01]. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/154630>.

编辑 张俊