

移动协同感知研究综述^{*}

滕文星 李士宁 尹小燕

(西北工业大学计算机学院 西安 710072)

摘要 移动感知网在军事、工业、医疗、交通、商业上运用极其广泛。为了进一步提高移动感知网的性能,更好地协同节点的移动感知行为,本文提出了移动协同感知技术。首先介绍了国内外近年来有关移动协同感知技术的发展情况和关键技术,包括移动协同感知模型、移动协同感知中间件、移动协同感知相关技术,然后概括归纳了技术特点,最后总结了移动协同感知技术的研究意义和发展趋势。

关键词 移动,协同感知,感知网

Survey of Cooperative Awareness Research in Mobile Environment

TENG Wen-xing LI Shi-ning YIN Xiao-yan

(College of Computer, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract Mobile sensing networks are widely used in military affairs, industry, medical treatment, traffic and business. To further cooperate the awareness activity of mobile nodes, this paper presents cooperative awareness technology in mobile computing environment. In this paper, this paper firstly introduces the development and crucial factor of the cooperative awareness technology in mobile computing environment, including model of mobile cooperative awareness, middleware of mobile cooperative awareness, technology about mobile cooperative awareness. Then this paper summarizes the technology character and puts forward framework of mobile cooperative awareness. At last, it provides some further interesting directions.

Keywords Mobile, Cooperating awareness, Wireless sensor networks

1 引言

移动协同感知技术是一门综合了移动计算、CSCW(Computer Supported Cooperative Work)、人工智能、嵌入式技术、传感器网络的多学科交叉的新兴研究领域。设备的移动性给协同感知网络带来了挑战,如设备处理能力、带宽、能量受限,网络频繁断接、无线链路干扰等。在移动感知网中,由于环境和本身条件的限制,节点之间必须要协作,移动协同感知实际上是解决如何在这些节点之间进行协作而提出来的。研究人员借助协同技术来解决移动的问题, Cambridge、清华大学、CMU(Carnegie Mellon University)等高校研究机构对无线网络视频和音频的协作处理、协作数据传输等方面进行研究与开发。IBM、Microsoft 将传统 CSCW 应用到移动企业级。美国自然科学基金委员会、美国国防部高级规划署(DARPA)对无线传感器网的协同感知进行了深入细致的研究。

移动协同感知的研究还处于发展的初期,其技术框架、支撑理论等诸多方面都有待进一步发展或突破,国内更是处于研究的初级阶段,因此研究移动协同感知技术具有重要的指导意义。移动协同感知的研究热点如下:移动协同感知模型,移动协同感知中间件,移动协同感知相关技术(节点协作、移动协同目标跟踪、移动协同感知缓存技术)等。

本文第 2 部分介绍移动协同感知特点和挑战,第 3 部分详细介绍移动协同感知的研究热点,最后对全文作出总结。

2 移动协同感知特点和挑战

移动协同感知技术的特点包括下面 4 点:

1) 移动性:节点的移动性使得节点间连接不稳定、传输不可靠、抗干扰能力差,还可能随时出现断接,并且其拓扑结构、空间位置时刻在改变。

2) 协同:由于自组织传感器网络的固有属性(无固定结构和集中管理,自组织和端对端的通信),节点间的协作成为完成任务的基本保证。

3) 感知节点能力有限:单个感知节点具有能量、点处理能力、带宽有限的特点。

4) 资源共享:感知节点将资源同其他节点共享,使感知、处理节点分离,有利于节点协同工作。

由于移动协同感知技术的这些特点,它面临的挑战是:如何稳定地访问移动资源,如何解决节点间频繁断接带来的问题(连接不稳定,传输不可靠,抗干扰能力差),如何最优化地协同利用节点的计算、能量和资源,如何解决安全问题,如何共享数据等。

3 研究热点及挑战

3.1 移动计算协同感知模型

从目前的研究看来,面向移动计算的协同感知模型还很少。Jakob E. Bardram^[1]等人提出了上下文中介的社会感知概念,介绍上下文感知计算是如何帮助社会意识的。Yushun Li^[2]等人提出 3DCAM(Dimension Model of Awareness)三维感知模型(如图 1)。该模型可以用在不同的协作领域描述感知信息,为需要协作的感知节点提供信息种类、信息方式、构建信息的方式。胡益锋等^[3]提出了基于行为的移动协同感知模型。该模型以行为为中心构建系统,围绕着如何提供基于

^{*}国家自然科学基金资助项目(60573161)。滕文星 硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、移动协同计算;李士宁 教授,主要研究方向为移动计算、无线传感器网络;尹小燕 博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络。

行为的感知信息开展,它克服了资源的限制,避免了资源的瓶颈和移动环境的干扰,有效地支持了用户在移动中完成协同工作。国内在该方面的研究还处于理论阶段,目前还没有专门针对感知网提出的感知模型。

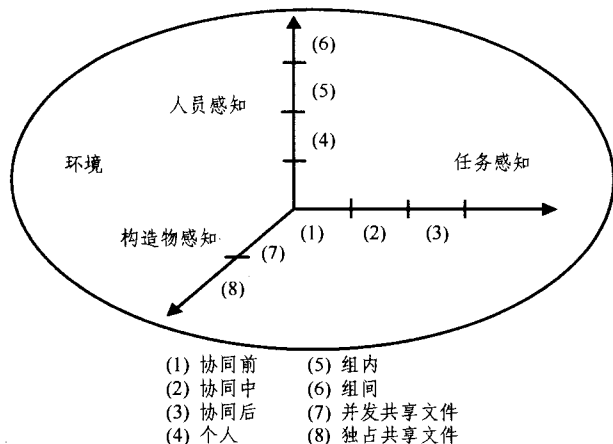


图1 3维感知模型

3.2 移动协同感知中间件

移动协同感知中间件需要解决的问题包括异质性(需要支持不同的应用和硬件平台)、移动性、网络拓扑协议(适应动态拓扑改变)、可扩展性(能减少或添加节点)、有限资源(低能耗)、安全性。

针对如频繁断接、资源管理、低带宽和动态网络拓扑等不同场景,人们提出了不同的移动协同感知中间件。Mirco Musolesi^[4]等人提出了改编自信息中间件的EMMA(Epidemic Messaging Middleware for Ad hoc networks),EMMA对JMS(Java Message Service)中的消息传递进行很小的改变,并添加了消息传送的路由机制。A. Murphy^[5]等人提出了基于信息共享的LIME(Linda in a Mobile Environment)中间件,它采用为固定分布系统提供数组空间数据结构的方法,其特点是使用了基于数组空间的数据共享。Fok^[6]等人提出了LIME的改进版本LIMONE(Lightly-coordinated Mobile Network),它提供了一个高度不确定网络状态下的强壮交互模型,其特征是上下文管理、外在数据访问、代码移动和代理移植。比起LIME,它考虑了可测量性,有限硬件资源和安全的问题。L Capra^[7]等人考虑到面向数据共享,提出XMIDDLE(A Data-Sharing Middleware for Mobile Computing)中间件,它提供了处理频繁断接操作的机制,解决了移动中的设备资源缺乏和频繁断接问题。Levis^[8]等人提出了Mate(mah-tay)方法,用于ad hoc无线传感器场景,提出了从简单参数调整到使用VM方法的卸载完全程序的频谱改编方法,克服了如限制带宽、能量耗损大的行为。Curino^[9]等人提出的TinyLIME(Bridging Mobile and Sensor Networks through Middleware)是另一种专门针对传感器网络的中间件,它从LIME发展来在TinyOS下支持移动协同感知中间件,能很好支持客户端的移动性。它们的性能比较如表1。

由此看出,上面提出的中间件结构并不能适应所有的移动协同感知环境。由于在感知网络中的中间件技术本身是一个新型技术,将来必将有越来越多的研究人员针对自己的应用提出不同的中间件。

表1 中间件性能比较

中间件	机制	可靠性	异质性	移动性	可测量性	多跳性	断接性	可扩展性	资源有限	安全
EMMA	JMS+路由	✓		✓						
LIME	数据共享			✓						
LIMONE	LIME改编			✓	✓				✓	✓
XMIDDLE	面向数据共享			✓			✓		✓	
Mate	虚拟机制	✓		✓		✓		✓	✓	
TinyLIME	LIME扩展			✓						✓

3.3 移动协同感知相关技术

3.3.1 移动协同感知节点策略

为提高节点间协作性,研究人员建立了2类协作模型:基于虚拟流通模式,即使用一些动机去激发节点协同;基于威望模式(包括全局和本地威望),即使用节点威望减少自私节点行为,它能通过直接观察或从网络中其他节点获得。

1) 基于虚拟流通模式

建立虚拟流通系统的原因是MANET(mobile ad hoc network)中的移动节点能量有限性,所以当节点传递包给别的节点时,必须付出代价,因此虚拟流通被用于支付/奖赏包传递服务。系统必须支付信用或报酬给提供服务的节点。节点接收虚拟报酬传递信息给另一个节点,报酬从传送者或目的地扣除。Buchegger^[10]等人提出了使用信用计数器的Nuglets模式,其原理是当节点想传送包,它的计数器值至少等于路由跳数。当节点是源节点,计数值减少跳数的数目。当中间节点传输包时,计数值增加1。Zhong^[11]等人提出了Sprite模式,它使用CCS(Credit Clearance Service)管理各个节点的奖励和信用支付。这个方法的问题是它需要中心服务器来管理奖励和信用支付,它的要求不满足实际ad hoc场景。

2) 全局威望协议

各个节点使用2种信息更新威望值:直接观察和节点的有效威望信息。Buchegger^[10]等人提出了动态ad-hoc网络中的节点协同和公平原则,它的目标是侦察和隔离非协作节点。Michiardi^[12]等人提出了协作威望,它通过协同控制技术和威望机制刺激节点协同。各个网络实体使用称为威望的技术保持别的实体协同的追踪。它的特征是拒绝服务攻击。

3) 本地威望协议

仅仅使用本地威望信息为邻居节点更新威望值。协议假设各个节点知道邻居节点并保持了各自的威望值。Bansal^[13]等人提出了基于观测的协同强制技术,它处于协议栈的网络和MAC层之间,帮助节点更智能地路由。Hu提出了^[14]本地感知威望系统,该系统定义了3层信任T。Conti^[15]等人提出了概率路由,他们认为任务节点应该最大化传输成功率。路由的原理是每个节点有一个动态更新表。每次节点发送包,它更新相关邻居可靠值,所有在邻居上注册了路径的可靠值都是唯一的。如果源节点观察到子树的可靠指数减少,它立刻减少通过邻居的流量。

表2 全局协议和局部协议的比较

协议	表大小	网络流量	计算开销	可靠性	移动性
全局威望	O(N)	O(N ²)	多	不可靠	移动性强
本地威望	O(1)	<O(N ²)	少	可靠	移动性弱

3.3.2 移动感知节点协同目标跟踪

现代跟踪问题主要集中在研究安全、监视、使用传感器控制敌对的或友好的主体信息系统。在使用传感器监控时,大多数研究都针对静止传感器网络,而无论是携带传感器的机器人还是 UAV(Unmanned aerial vehicle)都处于移动中。其中主要的问题是如何保证网络的连接性。目前,多传感器移动协同跟踪问题引起了科学家注意,它是一个值得研究的新方向,在未来几年内将会是一个热点研究问题。

Reza Olfati-Saber^[16]等人研究了基于集群的移动传感器网络的分布跟踪问题,并建立了微卡尔曼滤波器协同网络(例如分布卡尔曼滤波算法)的移动模型,证明了使用基于集群移动模型的集群算法实际上是协同攻击的信息驱动行为控制算法,介绍了 DKF(discrete Kalman filter)算法在移动网络中的扩展并详细讨论了网络的连接问题。

3.3.3 移动协同感知的缓存技术

协同缓存——多节点共享缓存数据,最开始用于提高有线网络性能。对于能量限制、网络连接间断、计算能力有限的移动环境,有线网络技术并不适用。如何解决移动协同缓存最关注的搜索效率的问题,如何减少协议的动态性、通信断接对搜索效率产生影响,如何解决协同缓存安全和隐私等问题都有待解决。下面是提出的几种能改进搜索效率的方法。

Yin^[17]等人提出 HybridCache 方法,它结合了 cacheData 和 cachePath,节点在不同的情况下选择性能好的一种方式。这种方法对比 SimpleCache 能有效减少询问延迟,并比 FloodCache 时显著减少消息复杂性。Theodoros^[18]等人提出 BSBC(Best State/Best Cost)算法,该算法适用于规模大、存储有限的无线 ad hoc 网络。它提出了本地 BSBC 算法和全局 BSBC 算法。两个 BSBC 算法证明是近似最优性能。Du^[19]等人提出 COOP(A cooperative caching service in MANETs)服务(见图 2),它是在 MAENT 中数据访问应用的一个新颖的协同缓存服务,它解决的问题是缓存决议和缓存管理。它的目标是通过协同移动设备的本地资源设备提高数据使用性和访问有效性。比起简单缓存模式,COOP 能显著提高数据请求成功率,并能改善平均反应延迟。

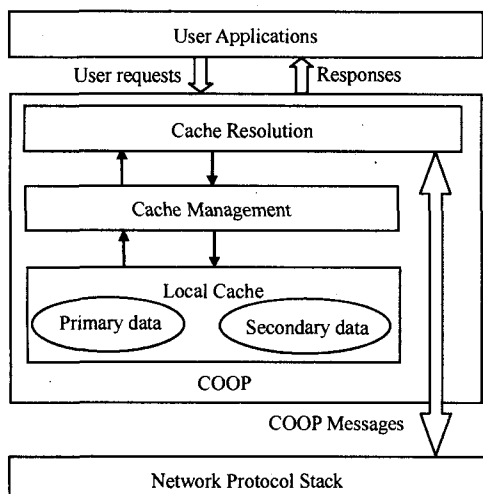


图 2 基于协同缓存的系统结构

结束语 移动协同感知技术是交叉领域的一项重要性技术,协调移动的多个感知源实现移动协同感知计算,可满足多种应用,包括野生动物的生活、追踪病人心跳情况、无人飞行器机

载传感器、移动机器人等。移动协同感知技术无需地面设施支撑,具有良好的鲁棒性,可以增强感知系统的应用范围和生存能力。利用移动协同感知技术对多源信息进行智能处理,可以增强对目标的侦察监测能力,研究移动协同感知技术具有重要的意义。国内对移动性感知网络协同感知的研究比较滞后,存在很多亟待解决的问题,需要更进一步深入研究。本文通过阐述近年来国内外对移动协同感知技术所提出的一些设想和协议,为进一步地研究与改善移动协同感知技术奠定了基础。

参考文献

- [1] Silva V H Z, la Cruz Salgado E I D, Quintana F R. The A-WARE Architecture: Supporting Context Mediated Social Awareness in Mobile Cooperation [C]// Proceedings of the 2004 ACM CSCW. ACM Press, 2004:192-201
- [2] Li Yushun, Gong Neng, Shi Meilin. A New Collaborative Awareness Model and Its Application [C]// 8th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (IEEE Cat. No. 04EX709). Vol. 1, 2004:53-58
- [3] 胡益锋,鲁东明,盛宇,等. 基于行为的移动协同感知模型研究 [J]. 计算机科学, 2005, 32(11):142-144,157
- [4] Musolesi M, Mascolo C, Hailes S. EMMA: Epidemic Messaging Middleware for Ad hoc networks [C]// Personal and Ubiquitous Computing. 2005
- [5] Murphy A, Picco G, Roman G-C. Lime: A Middleware for Physical and Logical Mobility [C]// International Conference on Distributed Computing System. 2001:524-536
- [6] Fok C-L, Roman G-C, Hackmann G. A lightweight coordination middleware for mobile computing [C]// Proceedings of COORDINATION 2004. Volume 2949 of LNCS., Springer Verlag, 2004:135-151
- [7] Mascolo C, Capra L, Zachariadis S, et al. Emmerich. XMIDDLE: A Data-Sharing Middleware for Mobile Computing // Wireless Personal Communications. 2002, 21(1): 77-103
- [8] Levis P, Culler D. Mat' e: A Tiny Virtual Machine for Sensor Networks [C]// International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems. San Jose, CA, USA, Oct. 2002
- [9] Curino C, Giani M, Giorgetta M, et al. TinyLIME: Bridging mobile and sensor networks through middleware [C]// 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom). IEEE Computer Society, March 2005, 61-72
- [10] Buchegger S, Boudec J-Y L. Performance Analysis of the CONFIDANT Protocol: Cooperation Of Nodes, Fairness In Dynamic Ad-hoc Networks [C]// Proceedings of IEEE/ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC). Lausanne, CH, June 2002
- [11] Zhong S, Chen J, Yang Y R. Sprite, A simple, Cheatproof, Credit-based System for Mobile Ad hoc Networks // Proceedings of IEEE INFOCOM '03. San Francisco, CA, April 2003
- [12] Michiardi P, Molva R. Core: A Collaborative REputation mechanism to enforce node cooperation in Mobile Ad Hoc Networks [C]// IFIP-Communicatin and Multimedia Security Conference. 2002
- [13] Bansal S, Baker M. Observation-based Cooperation Enforcement in Ad Hoc Networks. <http://arxiv.org/pdf/cs.NI/0307012>, July 2003
- [14] Hu Jiangyi. Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks [R]. Technical report. Computer Science Department. Florida State University, January 2005
- [15] Conti M, Gregori E, Maselli G. Towards Reliable Forwarding for Ad Hoc Networks [R]. Technical report. IIT Institute-CNR. Italy, 2003
- [16] Olfati-Saber R. Distributed Kalman Filtering in Sensor Networks [C]// The 46th IEEE Conference on Decision and Control. New Orleans, LA, Dec. 2007
- [17] Yin L, Cao G. Supporting Cooperative Caching in Ad Hoc Networks [C]// Proc. of the 5th ACM int'l workshop on Wireless Mobile Multimedia. Atlanta, Georgia, Sep. 2002: 56-63
- [18] Salonidis T, Tassiulas L. On optimal cooperative route caching in large, memory limited wireless ad hoc networks [C]// Proceedings of International Conference on Computer Communications (ICC). Paris, France, 2004
- [19] Du Y, Gupta S K S. COOP-a cooperative caching service in MANETs [C]// International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services (ICAS/ICNS). 2005:6