

无线传感器网络事务提交协议研究

秦 臻,管有庆

(南京邮电大学 物联网学院 信息技术研究所,江苏 南京 210003)

摘要:随着无线传感器网络的发展,其应用越来越广泛。为了提供可靠的服务质量并保证数据的一致性、有效性,这就需要无线传感器网络事务处理技术的研究。文中提出了一种适用于无线传感器网络的事务原子提交协议。此协议是对传统的 2PC(Two Phase Commit,两阶段提交)协议的改进,为参与者提供了缓存机制,有效利用协调者的广播信息,降低能量消耗,在协调者和参与者中加入了定时器,定时器触发后会提供事务处理统一的出口(提交或撤销)。此外,还为协调者增加了心跳算法,提高了协议的可靠性。最后使用 TOSSIM(TinyOS Simulator, TinyOS 仿真器)进行实验,证明了其可行性。

关键词:无线传感器网络;事务提交协议;一致性;原子性

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)02-0108-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.02.025

Research on Transaction Commit Protocol for Wireless Sensor Networks

QIN Zhen, GUAN You-qing

(Institute of Information Network Technology, College of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: With the development of wireless sensor networks, it is applied more widely. In order to provide reliable quality of service and ensure data consistency and validity, require study of wireless sensor network transaction processing technology. In this paper, present an atomic transaction commit protocol is suitable for wireless sensor networks. This protocol is the improvement of traditional 2PC (Two Phase Commit), to provide participants with a caching mechanism for efficient use of radio coordinator information, reducing energy consumption, the coordinator and the participants joined the timer will provide a unified export transaction after the timer trigger (committed or revoked). Furthermore, increase the heart rate algorithms for coordinator to improve the reliability of the protocol. Finally, use TOSSIM (TinyOS Simulator) to conduct experiments to prove its feasibility.

Key words: wireless sensor networks; transaction commit protocol; consistency; atomicity

0 引言

为了提供可靠的服务质量并保证数据的一致性、有效性,事务原子提交协议应运而生,其中影响最深的是 2PC(Two Phase Commit,两阶段提交)协议^[1]。在文献[2]中评估了 2PC 协议和 TCOT^[3](Transaction Commit On Timeout,基于超时的事务提交)在实际节点环境中的性能,显示虽然 2PC 可以在较少节点的环境中实现,但是当出现消息丢失时其性能很差。在 2PC 协议中,当参与者等待协调者的回答时,有可能产生阻塞,为此有学者引入了 3PC^[4](Three Phase Com-

mitment protocol,三阶段提交协议),3PC 协议就是通过 在 2PC 协议的两个阶段之间插入一个被称为“预提交”的阶段来解决节点失效时带来的阻塞。在移动自组织网络(Mobile and Ad Hoc Networks, MANets)中的事务处理也一直是一个重要的研究领域。文献[5]很好地概述了移动事务处理的原子提交协议。然而,由于计算需求,这些协议认为协调者应该是固定主机,这使得它们不能直接适用于无线传感器网络。文献[6-7]描述了一个事务处理系统,这个系统使用了 2PC-Presumed-Commit 或 2PC-Presumed-Abort 来减少发送的消息数量。文献[8]中描述了一种 Web 服务环境

收稿日期:2014-03-25

修回日期:2014-06-29

网络出版时间:2014-12-27

基金项目:江苏省高校自然科学基金研究计划项目(05KJD520146)

作者简介:秦 臻(1988-),男,硕士研究生,研究方向为软件技术在通信网络中的应用;管有庆,副研究员,硕士生导师,研究方向为数据库、通信软件和下一代网络等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141227.1348.048.html>

下的自适应事务中间件框架,解释了不同要求下的事务可以并发执行,而这些要求需要手动指定。文献[9]中介绍了事务如何自适应调度参数,例如事务的数量、冲突事务的数量等,这种方法没有考虑传感器网络的特点,但是为实现自适应性提供了好的想法。文献[10-11]提出了基于Web服务组合事务处理模型,保证了Web服务的可靠性。为了满足无线传感器网络协作事务的实时性,文献[12-13]通过放松事务的ACID特性来保证事务的实时协作,并提出基于控制区域的三层提交事务模型,但是在一定程度上增大了开销。

1 基于WSN的事务提交协议

在这一部分中介绍文中提出的基于缓存和定时器的两阶段提交协议(2PC with Cache and Timer, 2PCwCT),它是两阶段提交协议(2PC)的改进,它的灵感来源于跨层提交协议(CLCP)^[14]并且还利用了广播通信的特点,与跨层提交协议相比,通信开销比较小。下面介绍此协议的主要思想。

1.1 协议原理

如果一个节点 P_1 向节点 P_2 发送消息 M ,而节点 P_1 需要对 P_2 是否收到消息进行确认,因此 P_2 需要向 P_1 发送确认消息 M_{ack} 。一般来说,确认消息由OSI七层模型的传输层处理,而不是上层应用程序。与此相反,在CLCP中,确认消息可以被用来捎带一些信息,而这些信息是关于这一事务中其他参与者的提交决定。其他参与者的表决信息被存储(缓存)起来,以便稍后处理,加快提交决定的生成。这种方法使得2PC协议的节点可以受益于其他参与者的缓存信息。由于在WSNs中使用广播通信,一些节点可以获得其邻居节点的信息而无需额外的开销。现在的问题是,哪些信息是有用的缓存。因此,仔细查看分析2PC协议的投票阶段出现消息丢失的情况,如图1所示。

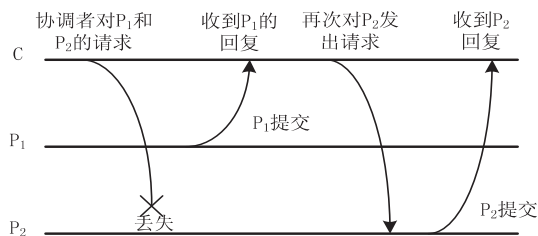


图1 2PC中消息丢失的情况

首先,协调者 C 向参与者 P_1 和 P_2 发送请求,但是只有 P_1 接收到消息, P_2 由于消息丢失而没有收到。因此,一段时间后,只有 P_1 提交自己的决定并被 C 接收到,协调者 C 需要对 P_2 再次发出请求, P_2 接收到请求后向 C 成功提交自己的决定。同理,在 P_2 的提交信息丢失的情况下,也可能发生再次提交。

为了减少广播消息产生的通信开销,在一个事务处理过程中,可以使参与节点暂存邻居节点的提交消息,这可以分为以下两种情况:

(1)代替其他参与者节点向协调者回复提交信息,如图2(a)所示。假设参与者 P_1 和 P_2 都接收到了协调者 C 发来的请求,此后 P_1 和 P_2 都向 C 发送自己的提交信息,但是 P_1 的回复信息被 C 接收到, P_2 的回复信息在传输过程中丢失,却被途中的参与者 P_1 接收到并暂存起来。此时, P_2 并不知道 P_1 已经缓存了自己的信息。经过一段时间后,由于没有收到 P_2 的消息,协调者 C 重新向 P_2 发送请求,这个请求再次丢失但被 P_1 接收到。由于 P_1 已缓存 P_2 的提交信息,则此时 P_1 可以代替 P_2 向 C 发送提交信息。

(2)没有收到协调者请求的参与者回复提交信息,如图2(b)所示。假设协调者 C 的请求只被参与者 P_1 收到, P_2 并没有收到。因此,只有 P_1 发送自己的提交信息而 P_2 不会这么做。然而,只要 P_2 监听到 P_1 的提交信息,这表明协调者 C 已经发送过请求信息,此时, P_2 也可以向 C 发送自己的提交信息。因此,协调者 C 的第二次请求是没有必要的。

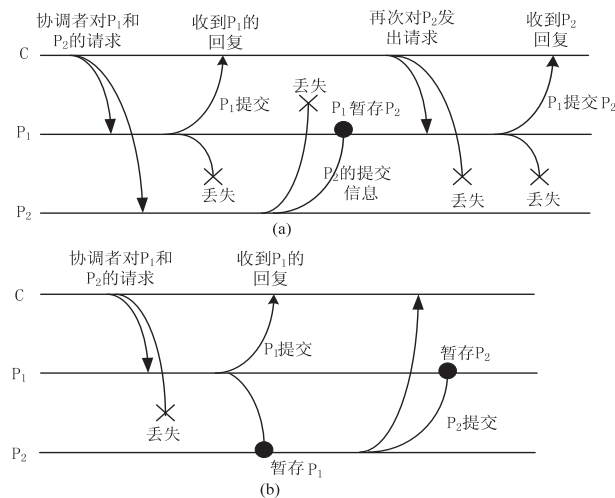


图2 参与者缓存邻居节点消息

1.2 协议设计

在上述原理中,一些参与者的提交信息在途中丢失,协调者没有接收到这些提交信息,协调者会再次向它们发送请求,但是其他已成功提交的参与者可能监听到此请求,这里重要的一点是这些参与者不会再次向协调者发送提交信息。此外,文中使用带有消息识别的洪泛法,参与者节点只转发新的消息,这在一定程度上避免了重复请求消息的泛滥。另一个重要的实现细节是参与者节点在代替其他节点回复请求前,必须在一个随机的时间间隔内等待并监听其他节点的回复信息,这样可以有效避免太多的参与者节点回复协调者的重复请求,降低通信量。此外,在当前事务结束时,无线传感器节点要删除与此事务相关的缓存信息,

有效利用有限的内存空间。

无线传感器网络中的节点的能源有限,在事务协调算法执行期间可能存在节点能源耗尽而被剔除的情况。为了避免这种情况造成事务协议的阻塞,文中提出的事务提交协议引入定时器的概念,通过定时器触发事务的提交或撤销,而不像传统 2PC 协议需要收到各参与者的反馈信息,由协调者发出事务提交或回滚的命令。这样即使在事务协调过程中出现节点死亡,协议仍然正常结束。

在事务协调过程中,协调者的地位特殊而且非常

重要,一旦协调者超时或死亡,整个事务协调过程可能会阻塞。之前的一些事务提交协议中,如 3PC,参与者不仅需要关注和协调者之间的通讯及本地事务的执行,也要负责在协调者超时或死亡的情况下,发起新的协调者选举的算法。如果可以使得参与者节点不必关心协调者是否死亡,也就是说协调者的死亡与新协调者的产生对于参与者来说是透明的,那么整个系统的结构更清晰且效率更高。为此,这里可以对协调者引入心跳机制。事务提交协议的执行流程如图 3 所示。

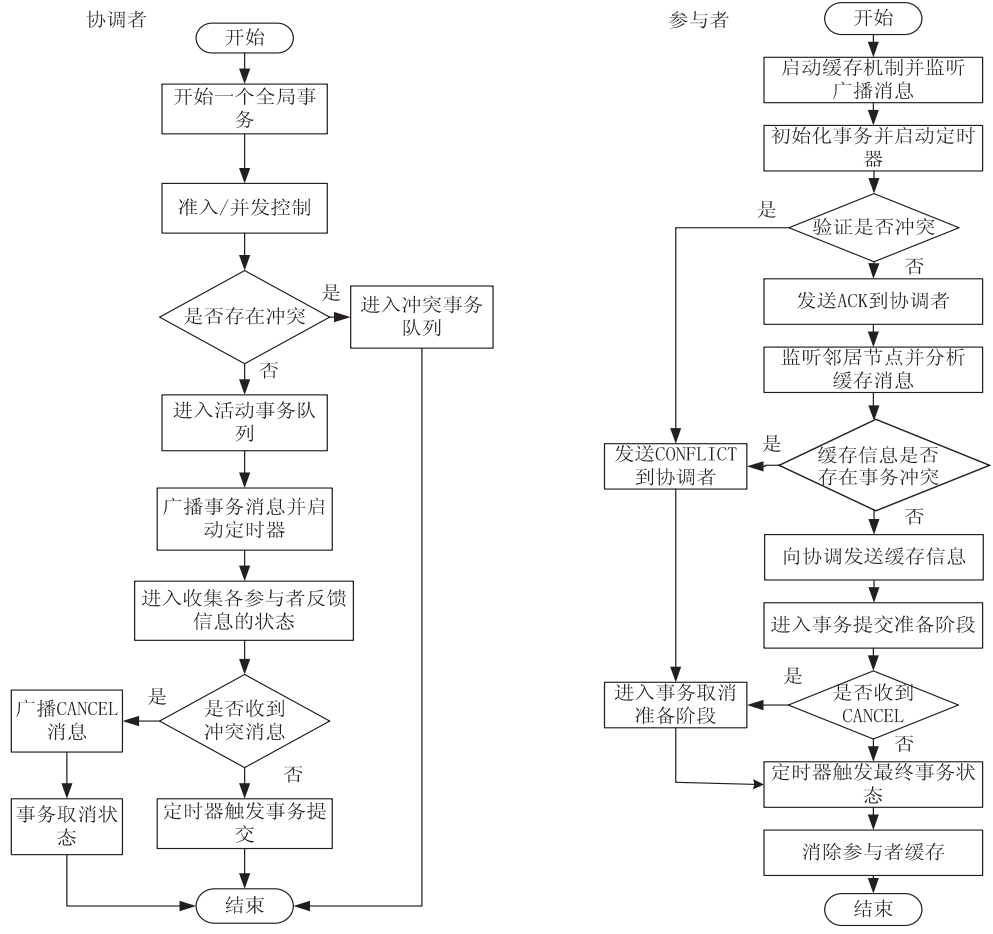


图 3 协调者和参与者的协议流程图

对于协调者,首先它开始一个全局事务,通过随机产生的事务号来标识这个事务。与此同时,协调者的事务模块初始化活动事务队列和冲突事务队列,分别存放活动事务和被冲突挂起的事务。新事务首先进入协调者上的验证阶段(准入/并发控制),验证是否与活动事务冲突。若没有冲突,则该事务进入活动事务队列,开始之后的执行阶段,否则进入冲突事务队列。协调者通过广播把事务消息发送到各个参与者,并启动定时器(设定触发时间和事件)监视事务提交,然后收集各参与者的反馈信息,若收到冲突消息,则会向各参与者广播 CANCEL 消息,并撤销定时器事件,进入事务取消阶段。若没有收到参与者发来的冲突消息,

则定时器事件触发事务提交,事务执行结束。此外,在事务协调过程中,如果主协调者发生故障,协调者的心跳机制就会启动,此前一直监听主协调者的从协调者接管主协调者的工作,这一改变对于参与者是透明的,从而保证协议继续执行。

对于参与者,协议开始后启动缓存机制并监听广播消息,收到协调者的广播消息后就初始化事务并启动定时器监视事务定时提交,然后进入参与者上的验证阶段。如果存在冲突,参与者就会向协调者发送 CONFLICT 消息,进入事务取消阶段。如果没有冲突则向协调者发送 ACK 消息,此后进入监听邻居节点并分析缓存的阶段。若缓存信息里存在事务冲突消息,

则参与者向协调者发送 CONFLICT 消息,进入事务取消阶段。若缓存信息里无冲突,则参与者向协调者发送缓存信息并进入事务提交准备阶段。之后参与者继续监听协调者的广播信息,检查是否收到 CANCEL 消息。若收到 CANCEL 消息,则进入事务取消阶段,等待定时器触发取消事务提交。若没有收到 CANCEL 消息,则等待定时器触发事务提交。最后参与者还需要清除本次事务处理过程中的缓存信息,避免资源浪费。

2 实验部署和分析

2.1 实验环境部署

实验模拟以基站(协调者)为中心,其他传感器节点为参与者的网络结构,WSNs 的拓扑结构是通过节点之间的噪声模型确定的,实验使用的噪声模型由 TinyOS 官方提供,通过 CPM(Closest Pattern Matching,最近模式匹配)算法输入噪声轨迹来产生统计模型,使得实验更加规范。实验的消息收发机制基于 TinyOS 的 Network Interface 和 Active Message 这两层提供的 API 来实现,在这基础上实现基于 nesC 语言的事务处理模块。仿真实验中的运行日志完全以 TOSSIM 的 BDG 调试形式输出,包括事务提交的过程、网内能量的变化情况等,最终通过 Python 脚本语言输出到特定文件中。

仿真环境包括硬件环境和软件环境,如表 1 和表 2 所示。

表 1 仿真硬件环境

CPU	内存
内存 Core i5 2410 @2.3 GHz	4 G

表 2 仿真软件环境

操作系统	WSN 系统	仿真模拟器	仿真图生成环境	代码开发环境
Windows 7 Home Basic	TinyOS2.1	TOSSIM	OMNET	Notepad++

2.2 实验分析

在这一部分,通过实验比较了三种提交协议,分别是两阶段提交(2PC)、跨层提交协议(CLCP)以及文中提出的事务提交协议(2PCwCT),主要从提交效率、内存消耗和能量消耗三个方面进行比较。

如图 4 所示,随着参与节点个数的增加,即其潜在的消息丢失的概率会增加,三个协议的提交效率都有不同程度的降低。CLCP 协议的提交效率比其他两个协议高,文中提出的协议的提交效率也维持在可接受范围内,但是 2PC 协议的提交效率降低明显,很难满足应用需求。

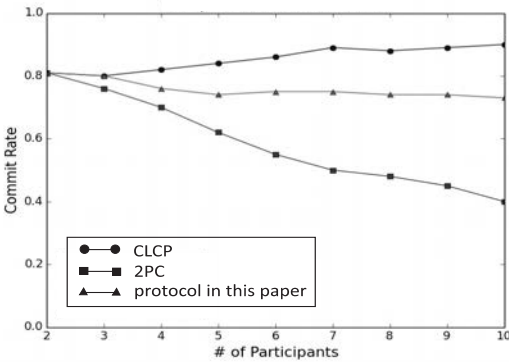


图 4 提交效率对比图

如图 5 所示,随着参与节点个数的增加,CLCP 协议由于需要维持各个节点的提交矩阵,其动态内存消耗明显增加。文中提出的协议虽然使用节点缓存机制,但是只有当消息丢失时才会使用缓存,由于提交效率可以维持在较高水平,因此动态内存消耗增加不明显。对于 2PC 而言,每个节点的内存消耗在事务处理开始时就已决定,协议中没有额外消耗,故其内存消耗基本保持不变。

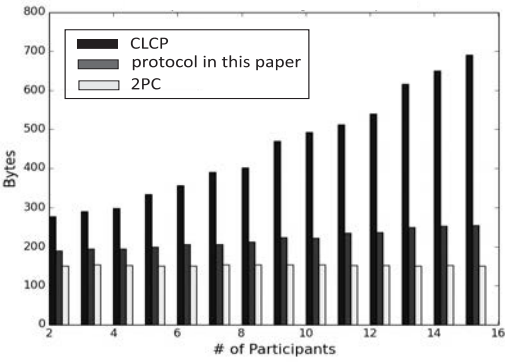


图 5 内存消耗对比图

如图 6 所示,与传统 2PC 协议相比,文中的提交协议能耗有所降低,这是因为文中的缓存机制降低了通信量,此外还使用了定时触发器,降低了协议交互的复杂性,从而降低了能耗。对于 CLCP 协议来说,其能量消耗在三者中最大,这是因为其协议的复杂性,每个参与者都需要维护一个提交矩阵,从而消耗大量能量。

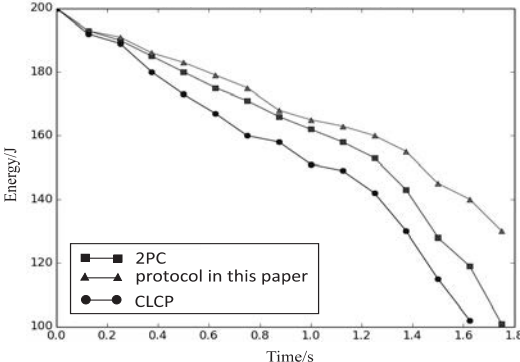


图 6 能量对比图

3 结束语

文中基于现有事务提交协议提出了一种适用于无线传感器网络的提交协议,通过原理阐述与实验分析,该协议在一定程度上满足了无线传感器网络的资源和能源有限性的特点,可以保证事务执行结果的一致性,为无线传感器网络的进一步应用打下基础,将来可以进一步研究复杂网络结构下的事务提交协议以适用于大规模传感网的应用,提高服务质量。

参考文献:

- [1] Bernstein P A, Goodman N. Concurrency control in distributed database systems[J]. ACM Computing Surveys, 1981, 13(2): 185-221.
- [2] Reinke C, Hoeller N, Neumann J, et al. Integrating standardized transaction protocols in service oriented wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 24th ACM symposium on applied computing. Honolulu: ACM, 2009: 2202-2203.
- [3] Kumar V, Prabhu N, Dunham M H, et al. TCOT—a timeout-based mobile transaction commitment protocol [J]. IEEE Transactions on Computers, 2002, 51(10): 1212-1218.
- [4] Skeen D, Stonebraker M. A formal model of crash recovery in a distributed system[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1983, SE-9(3): 219-228.
- [5] Nouali N, Doucet A, Drias H. A two-phase commit protocol for mobile wireless environment[C]//Proceedings of the 16th Australasian database conference. Darlinghurst: [s. n.], 2005: 135-143.
- [6] Serrano-Alvarado P, Rouvoy R, Merle P. Self-adaptive com-

ponent-based transaction commit management[C]//Proceedings of the 4th workshop on reflective and adaptive middleware systems. Grenoble: ACM, 2005.

- [7] Rouvoy R, Serrano-Alvarado P, Merle P. Towards context-aware transaction services[C]//Proceedings of the 6th IFIP WG 6.1 international conference on distributed applications and interoperable systems. Bologna: [s. n.], 2006: 272-288.
- [8] Arntsen A B, Mortensen M, Karlsen R, et al. Flexible transaction processing in the argos middleware[C]//Proceedings of the 2008 workshop on software engineering for tailor-made data management. Nantes: [s. n.], 2008: 12-17.
- [9] Helal A, Ku T H, Elmasri R, et al. Adaptive transaction scheduling[C]//Proceedings of the second international conference on information and knowledge management. Washington: [s. n.], 1993: 704-713.
- [10] 何 演, 管有庆. 基于 WS-C/T 协议的 Web 服务业务事务处理研究与实现[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(4): 90-93.
- [11] 管有庆, 程 强. Web 服务组合事务处理研究与实现[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(11): 77-81.
- [12] 胡 侃, 刘云生. 保证数据流融合处理一致性的事务机制[J]. 计算机科学, 2008, 35(1): 112-116.
- [13] 胡 侃, 刘云生. 传感器网络中协作实时数据库事务的提交控制[J]. 计算机学报, 2007, 30(6): 916-923.
- [14] Obermeier S, Böttcher S, Kleine D. A cross-layer atomic commit protocol implementation for transaction processing in mobile ad-hoc networks[J]. Distributed Parallel Databases, 2009, 26(2-3): 319-351.

(上接第 107 页)

型。当前,正对模型进行拓展,在相邻 VDS 中融入空间和时间信息,以进一步提高交通流量的预测精度。

参考文献:

- [1] 江玉八. 短时交通流预测算法研究和应用[D]. 镇江: 江苏大学, 2012.
- [2] 金成均, 常桂然, 程 维, 等. 基于 IPSO 的模糊神经网络优化及交通流量预测[J]. 计算机科学, 2012, 39(10): 190-192.
- [3] 王 建, 邓 卫, 赵金宝. 基于改进型贝叶斯组合模型的短时交通流量预测[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2012, 42(1): 162-167.
- [4] 杨 凡, 严忠贞. 混合神经网络挖掘模型在交通流量预测中的研究[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(9): 1978-1981.
- [5] 侯 越. DE 优化 T-S 模糊神经网络的交通流量预测[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(9): 3284-3287.
- [6] 于振洋. 小波消噪的神经网络短时交通流量预测模型[J]. 计算机仿真, 2012, 29(9): 360-363.

- [7] 徐 鹏, 姜凤茹. 基于蚁群优化支持向量机的短时交通流量预测[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(3): 250-254.
- [8] 王 凡, 谭国真, 杨际祥, 等. 基于 AOSVR 的交通流预测及参数选择[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(6): 1245-1248.
- [9] Elattar E E, Goulermas J, Wu Q H. Electric load forecasting based on locally weighted support vector regression[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2010, 40(4): 438-447.
- [10] Ma J, Theiler J, Perkins S. Accurate on-line support vector regression[J]. Neural Computation, 2003, 15(11): 2683-2703.
- [11] Sauer T, Yorke J A, Casdagli M. Embedology[J]. Journal of Statistical Physics, 1991, 65(3): 579-616.
- [12] Freeway Performance Measurement System (PEMS), version 7.0[EB/OL]. 2006. <http://pems.dot.ca.gov/>.
- [13] Sun H, Liu H X, Xiao H, et al. Use of local linear regression model for short-term traffic forecasting[J]. Transportation Research Record, 2003, 1836(1): 143-150.
- [14] Park B B. Hybrid neuro-fuzzy application in short-term freeway traffic volume forecasting[J]. Transportation Research Record, 2002, 1802(1): 190-196.

无线传感器网络事务提交协议研究

作者：[秦臻](#)，[管有庆](#)，[QIN Zhen](#)，[GUAN You-qing](#)

作者单位：[南京邮电大学 物联网学院 信息网络技术研究所, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015 (2)

引用本文格式：[秦臻](#). [管有庆](#). [QIN Zhen](#). [GUAN You-qing](#) [无线传感器网络事务提交协议研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015 (2)