

文章编号:1001-9081(2010)12-3155-03

无线传感器网络节点的状态分析及 Agent 建模

陈志,史健,孔颖,章韵

(南京邮电大学 计算机学院,南京 210003)

(chenz@njupt.edu.cn)

摘要:为独立于内部结构和具体实现来理解和分析无线传感器网络节点的自治工作机制,分析了无线传感器网络节点的各种工作状态和自组织特性,建立了一种面向无线传感器网络节点的 Agent 类元模型。该元模型在 Agent BDI 模型基础上,扩展 AUML Agent 类图,引入符合无线传感器网络特性的 Mental、Role 和 Protocol 等模型元素来描述无线传感器网络节点的静态结构。实例分析表明,结合节点工作状态,Agent 类元模型为无线传感器网络节点体系的研究提供了良好的可视化建模基础和分析工具。

关键词:无线传感器网络;元模型;Agent;Agent 统一建模语言;自组织

中图分类号: TP393 文献标志码:A

States analysis and Agent modeling for wireless sensor network nodes

CHEN Zhi, SHI Jie, KONG Ying, ZHANG Yun

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu 210003, China)

Abstract: To understand and analyze the autonomous working mechanism of Wireless Sensor Network (WSN) that is independent of internal structure and practical implementation, the various working states and self-organization properties of WSN nodes were analyzed, and an Agent class meta-model for WSN nodes was built up. The proposed meta-model was based on the Agent BDI model, extended AUML Agent class diagram by adding Mental, Role and Protocol model elements that met WSN characteristics to describe the static structures of WSN nodes. The case study shows that, in combination with node working states, the Agent class meta-model provides the good fundamentals of visual modeling and analysis tools for WSN node architecture research.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); meta-model; Agent; Agent Unified Modeling Language (AUML); self-organization

0 引言

无线传感器网络是由通常具有感知、处理和无线通信功能的传感器节点自组织形成的网络,具有广阔的应用前景^[1]。无线传感器网络节点一般协作的采集和处理网络覆盖区域内被监测对象的信息,并将这些信息发送给所需用户,实现对环境或监测对象的有效控制。在特定应用中,这些网络节点可以看做是具有一定信念、期望、意图和能力的 Agent,每一个 Agent 在部署后的行为和工作状态主要取决于自身或其他节点、覆盖环境的交互^[2]。无线传感器网络节点 Agent 工作状态的转换是网络自组织运行的重要基础。本文将分析无线传感器网络节点 Agent 工作状态的转换关系,根据节点特有的组织特性和行为,利用 UML^[3]建立适合于无线传感器网络节点的 Agent 模型。

在无线传感器网络系统 UML 建模研究中,Bachmaier^[4]利用 UML 2.0 建模无线传感器网络节点操作系统 TinyOS 组件;Damm 等人^[5]利用 UML 2.0 活动图以图形化、结构化和层次化的方式建模无线传感器网络节点工作流,建立描述无线传感器网络节点行为的活动设计框架,通过模型自动转换生成无线传感器网络节点的执行程序;Wada 等人^[6]提出了一

个管理无线传感器网络应用开发复杂性的模型驱动开发框架,建立了面向无线传感器网络的统一建模语言 (Unified Modeling Language, UML) 轮廓,通过定义构造型的方式扩展 UML 类图来建模无线传感器网络节点。这些建模方法在形式上较好地利用了 UML 部分模型图来建模无线传感器网络节点系统,但缺乏较为明确的语义规约,没有界定无线传感器网络节点状态和行为。AUML 是对 UML 的扩展,用于 Agent 和多 Agent 系统的建模^[7-8],支持面向 Agent 软件开发的整个生命周期,它通过一系列模型从不同视角描述系统在不同生命周期中的各种静态结构和动态行为方面的特征。本文在无线传感器网络多 Agent 系统模型基础上,主要利用扩展 AUML 模型方式对网络节点进行建模和可视化描述,建立面向无线传感器网络节点的 Agent 类元模型。

1 无线传感器网络节点状态分析

无线传感器网络节点通常受到体积、价格和电源等因素的限制,其处理与存储能力相对较弱,通信距离有限,只与一定通信范围内的节点直接交换信息,而以多跳路由的方式与通信范围以外的节点进行通信。可见,每个传感器网络节点既充当信息的采集者也充当信息的路由器,在特定应用中,其

收稿日期:2010-05-27;修回日期:2010-07-29。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60905040);江苏省高校自然科学研究计划项目(08KJB520007);南京邮电大学科研基金资助项目(NY207020)。

作者简介:陈志(1978-),男,江苏淮安人,讲师,博士,主要研究方向:无线传感器网络、Agent 和多 Agent 系统、普适计算; 史健(1987-),女,江苏盐城人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络; 孔颖(1988-),女,江苏南京人,主要研究方向:软件工程; 章韵(1963-),男,安徽芜湖人,副教授,主要研究方向:计算机网络。

工作状态如图1所示。

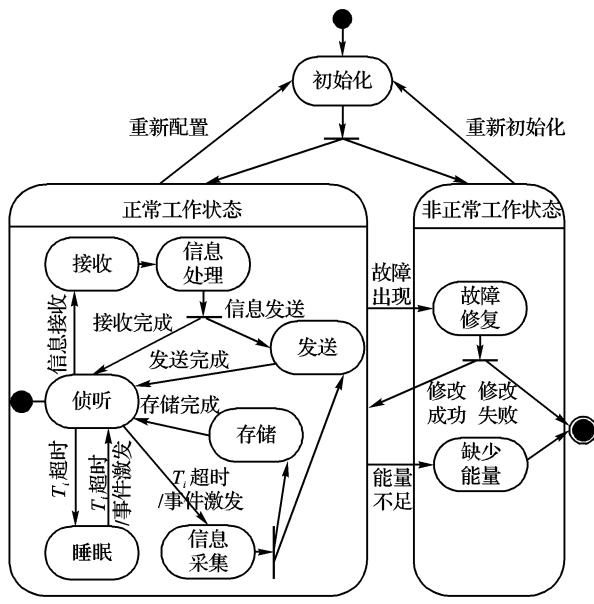


图1 无线传感器网络节点状态

无线传感器网络节点被部署到特定的场合后,通过广播的方式获取邻节点信息,存储邻节点表,初始化成功后节点进入正常工作状态。节点处于正常状态时,一般具有以下四种运行状态:侦听、接收、发送、睡眠。在图1中,节点初始化成功后即进入侦听状态,当网络中有消息到达时,节点处于接收状态,接收消息后一般会进行一定的信息处理;信息处理完成后,若无需转发,则节点完成接收,回到侦听状态,若该节点需要向下一跳节点发送消息,则进入发送状态,在发送完成后返回侦听状态;为了节能,节点通常在侦听时间 T_i 后,若无消息到达,则进入睡眠状态;节点处于睡眠状态时,当有事件激发到达或经过时间 T_i 后,节点回到侦听状态响应事件或继续侦听网络。传感器网络节点在正常进行接收转发的过程中,除了进行本地的信息采集和信息处理之外,还要存储、管理和融合其他节点转发的信息,并和其他节点协作处理任务。另外,传感器网络节点处于侦听状态时,可以根据应用需求转换到信息采集状态,控制传感器采集数据,任务完成后进入存储状态或发送状态,实现对网络覆盖区域的监测和信息传送。在无线传感器网络中,当节点出现缺少能量或发生故障时,节点进入非正常状态,可以通过远程的故障修复使节点恢复正常工作状态,如果故障无法修复或修复失败,节点则终止工作,退出网络系统。

2 无线传感器网络节点 Agent 类元模型

2.1 Agent 自组织特性

无线传感器网络通常是在无人监管并且没有其他任何预置网络设施的状态下运行,单个节点在工作行为上是具有特定语义的 Agent,这些 Agent 构成一个自组织的多 Agent 系统。传感器网络节点 Agent 通过其状态的转换实现整个网络的系统行为,主要的自组织特性包括知识性和协作性等。

传感器网络节点 Agent 知识性的实现是通过对环境和自身的认识,进行推理而构成相对独立的知识或智力,最终表现出决策的自主性;传感器网络节点 Agent 协作性则表示 Agent 通过相互协作完成任务。在无线传感器网络中,每个节点 Agent 对状态的控制遵循特定的信念、规划、目标等。其中,信念反映了节点 Agent 对于自身以及环境的理解和认识;规划是指节点 Agent 通过分析从信念中获取认识,根据目标,决定

自身的选择和意向^[2,9]。节点 Agent 还拥有一定的能力,一般表现为节点所具有的电源能量、计算能力、存储容量等,能力的大小将影响节点 Agent 的决策。

在分簇结构的无线传感器网络中,每个簇由一个簇头 Agent 和多个簇成员 Agent 组成,簇头 Agent 管理簇成员 Agent,并负责簇间数据的转发,而簇成员 Agent 只需负责数据的采集和初步处理,因此需要簇头 Agent 的能力相对较高。节点 Agent 的规划服务于类似管理其他节点或处理簇间数据转发等较高层次的任务;当节点 Agent 随着工作的进程,能力逐渐降低并不能满足簇头 Agent 的能力要求时,该节点 Agent 则降为簇成员 Agent,此时可以为节点 Agent 规划简单的数据采集或初步处理工作;当能力减少至最终丧失时,该节点 Agent 则终止工作,退出网络,不再进行规划。LEACH 是无线传感器网络一种层次路由协议,周期性的按轮随机选举簇头,非簇头节点通过一跳通信将数据传送给簇头,簇头通过一跳通信将聚合后的数据传送给汇聚节点^[10]。在基于 LEACH 的无线传感器网络运行过程中,簇头 Agent 选举依赖于节点是否当选过簇头,考虑到簇头 Agent 电源能量减少较快,即能力会不断降低,其他节点在下一轮次当选为簇头的机会增大,这种选择簇头的方式保证了一个簇或整个网络信念和目标的实现。

在无线传感器网络中,具有知识性和协作性的节点 Agent 通过合作,构成一个群体社会以完成特定的应用。在这个群体社会中,每个节点可以扮演不同的角色以完成协作需要。例如,在分布式管理结构中,可以将管理功能分布在系统的不同位置或者不同的节点 Agent 中,通过设置不同的 Agent 角色,实现具有高度的自主性和设备无关性,进而为网络自组织创造有利的条件。

2.2 Agent 类元模型

根据无线传感器网络节点状态和多 Agent 系统自组织特性,图2给出无线传感器网络节点 Agent 类元模型。该模型在 Agent BDI 模型基础上,扩展 AUML 中的 Agent 类图^[5, 11],从认知型 Agent 体系结构角度描述节点 Agent 的静态结构。

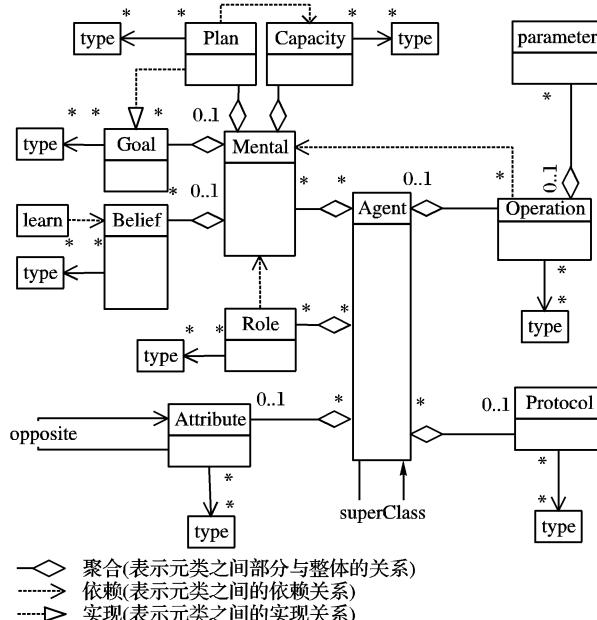


图2 无线传感器网络节点 Agent 类元模型

在无线传感器网络节点 Agent 类元模型中,主要的模型元素包括 Mental(智力)、Role(角色)、Protocol(交互协议)、learn(学习)、Attribute(属性)、Operation(操作)等。其中,Mental 包括了 Belief、Plan、Goal 和 Capacity 等。节点通过

learn 理解和认识自身以及环境信息, 这种认识构成节点的 Belief, 涉及到的网络节点 Agent 状态包括信息采集、信息处理等; Plan 决定节点的每一步动作, 涉及到的网络节点 Agent 状态包括侦听、接收、发送、睡眠、存储、故障修改等; Goal 是节点动作的目标, 由 Plan 实现; Capacity 表示节点的能力, 这种能力直接影响 Plan, 节点能力大小决定节点的动作内容和性质。节点 Agent 执行的操作由其 Mental 控制, Mental 根据其每一步的应用需要决策节点 Agent 的动作; 节点 Agent 的 Role 依赖于节点 Agent 的 Mental。

3 实例分析

本文以基于无线传感器网络的智能家居应用为例, 验证节点 Agent 类元模型。在智能家居应用中, 具有智能性的传感器网络节点在适当的时候主动监测环境中各类物理参数的变化, 节点 Agent 可以分为家电控制 Agent、环境监测 Agent、安全警报 Agent 等^[12]。这里以智能家居中环境监测 Agent 为例, 根据无线传感器网络节点 Agent 类元模型构建出的 Agent 模型如图 3 所示。

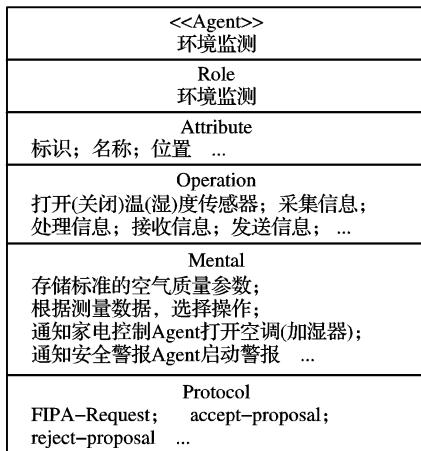


图 3 环境监测 Agent 模型

在智能家居环境中, 一般传感器网络节点可以有充足的供电, 所以这里未考虑节点的能量问题。在环境监测 Agent 中, Agent 属性包括了节点 Agent 的一些基本信息, 如标识、名称、位置等; Agent 操作包括打开(关闭)温(湿)度传感器、采集信息、处理信息、接收信息、发送信息等; Mental 包括的信息有: 存储标准的空气质量参数、根据传感器测量数据选择合适的操作、具有通知家电控制 Agent 打开空调(加湿器)的能力、具有通知安全警报 Agent 启动警报的能力等。上述环境监测 Agent 各方面的描述给出了较为完整的语义规约, 建立了智能家居应用中传感器网络节点的自组织行为特性模型。

4 结语

本文在无线传感器网络多 Agent 系统模型基础上, 较为直观地分析了无线传感器网络节点侦听、接收、发送、睡眠、信

(上接第 3147 页)

- [4] 严权锋. 一种自适应的视频帧率和速率联合控制算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(4): 1009–1011.
- [5] LIANG ZHIQIN, ZHOU JIANTAO, GUO LIWEI, et al. Joint decoding of multiple video streams[C]// Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. [S. l.]: IEEE, 2007: 1339–1342.
- [6] CHAKARESKI J, FROSSARD P. Distributed packet scheduling of multiple video streams over shared communication resources[C]// Proceedings of the 2005 IEEE 7th Workshop on Multimedia Signal

息采集、信息处理等正常工作状态和缺少能量等非工作状态, 研究了节点 Agent 知识性和协作性等自组织特性, 建立了基于 AUML 的节点 Agent 类元模型, 最后给出了智能家居应用中的环境监测 Agent 模型, 验证了 Agent 类元模型的可行性。本文所提出的节点 Agent 类元模型为传感器网络节点的可视化描述奠定了良好基础, 结合节点各种工作状态, 能够为无线传感器网络节点体系的研究提供独立于内部结构和具体实现的可视化分析工具, 最终形成符合应用需求的节点自治工作机制。后续的工作是在此基础上进一步建立无线传感器网络节点的交互模型, 分析其动态行为。

参考文献:

- [1] ILYAS M, MAHGOUB I. Handbook of sensor networks: Compact wireless and wired sensing systems [M]. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [2] 陈志, 王汝传, 孙力娟. 一种无线传感器网络的多 Agent 系统模型[J]. 电子学报, 2007, 35(2): 240–243.
- [3] BOOCHE G, RUMBAUGH J, JACOBSON I. The unified modeling language user guide [M]. 2nd ed. Boston: Addison-Wesley, 2005.
- [4] BACHMAIER S A. UML 2.0 for modeling TinyOS components [C]// FGSN09: Proceedings of the 8th GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose Sensornetze. Hamburg: GI/ITG, 2009.
- [5] DAMM C, FUCHS G. Extended abstract: Programming wireless sensor networks using UML2 activity diagrams [C]// FGSN09: Proceedings of the 8th GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose Sensornetze. Hamburg, Germany: GI/ITG, 2009.
- [6] WADA H, BOONMA P, SUZUKI J, et al. Modeling and executing adaptive sensor network applications with the Matilda UML virtual machine [C]// Proceedings of the 11th IASTED International Conference on Software Engineering and Applications. Anaheim: ACTA Press, 2007: 216–225.
- [7] HUGET M P. Agent UML notation for multiagent system design [J]. IEEE Internet Computing, 2004, 8(4): 63–71.
- [8] 薛霄. 面向 Agent 的软件设计开发方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [9] 毛新军. 面向主体的软件开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [10] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005–3014.
- [11] EHRLER L, CRANEFIELD S. Executing Agent UML diagrams [C]// Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. New York: IFAAMAS, 2004: 906–913.
- [12] 王殊, 阎毓杰, 胡富平, 等. 无线传感器网络的理论及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.

Processing. Washington, DC: IEEE, 2005: 1–4.

- [7] 范英磊, 苏放, 李勇, 等. 无线视频传输中自适应的前向纠错技术[J]. 高技术通讯, 2007, 17(11): 1131–1135.
- [8] 范英磊, 苏放, 李勇, 等. 无线视频错误控制技术研究[J]. 无线电工程, 2007, 37(10): 44–49.
- [9] 王丽丰, 牛建伟, 肖晨, 等. 基于 H.264 无线视频传输系统的研究[J]. 计算机应用与软件, 2005, 22(10): 139–141.
- [10] 吴怡, 林潇, 沈连丰, 等. 多路远程视频统一监控装置: 中国, ZL200810071517.4 [P]. 2009–10–28.