

# 无线传感器网络移动 Agent 的应用

王结太, 杨少军, 于海勋, 许家栋  
(西北工业大学电子信息学院, 西安 710072)

**摘要:** 节点计算模式对网络性能影响很大。移动 Agent 计算模式在下一代网络中具有广阔应用前景。该文分析了移动 Agent 在无线传感器网络中的应用背景。从网络和节点两个层面提出一种基于移动 Agent 的传感器网络框架模型, 阐述了模型组成、功能定义和交互接口等。给出一种基于定向扩散的移动 Agent 机制实现方法, 并对其特点进行了分析和讨论。

**关键词:** 无线传感器网络; 移动 Agent; 分布式计算模式

## Application of Mobile Agent in Wireless Sensor Networks

WANG Jie-tai, YANG Shao-jun, YU Hai-xun, XU Jia-dong

(School of Electrical and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

**【Abstract】** Computing model of nodes has an important effect on the network performance and the mobile agent computing model for the next generation network has attracted more and more attentions. The background of mobile agent applied in the wireless sensor network is first analyzed. Then a framework based on mobile agent is proposed from two levels, namely network and nodes. After introducing the basic elements, functional definitions and interfaces of the framework, an implementation mechanism based on directed diffusion for mobile agent is presented.

**【Key words】** wireless sensor networks; mobile agent; distributed computing model

在传统 Client/Server(C/S)计算模式下, 客户机将数据传给服务器, 经处理后返回结果, 该模式存在资源浪费、负载不均衡、容错性和安全性较差等缺陷。在无线传感器网络<sup>[1]</sup>中, 大量节点密集分布, 能量、存储空间、无线通信和计算能力通常较有限, 易失效, 难以维护; 网络面向应用, 以数据为中心, 强调对目标信息的感知和协同处理, 网络协议设计和信息处理技术需考虑容错性、可扩展性、可靠性和节能等需求。C/S计算模式在无线传感器网络应用中受到较多限制, 有必要研究并引入新的计算方法。

### 1 无线传感器网络移动 Agent 应用需求

#### 1.1 移动 Agent 计算模式

移动 Agent 计算模式是 Agent 实体携带执行代码、运行状态、处理结果和访问路径等信息在网络中自主迁移并与外界交互的计算方法, 强调“自主”和“协作”, 具有“异步交互”、“按需移动”和“靠近数据源处理”等特点, 可克服 C/S 计算模式的诸多不足。它可根据自身目标和环境状况移动到拥有相应资源的节点上进行计算, 在计算过程中与其他 Agent 进行通信和协作, 整个过程可分解为相对独立的多个本地子计算过程, 如图 1。

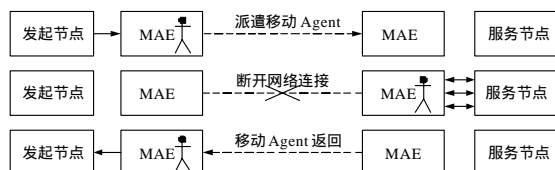


图 1 移动 Agent 计算模式

从计算实现的角度看, 移动 Agent 模式可通过传统分布式计算方法的组合或变形实现, 但在网络条件受限的情况下, 拥有诸多传统分布式计算方法无法比拟的优势<sup>[2-4]</sup>:

(1) 减少网络数据流量。移动 Agent 的代码迁移、本地处

理和结果携带使得网络节点间的交互次数和数据传输量大幅减少, 从而降低带宽需求, 缩短通信时延, 提高服务质量。

(2) 负载均衡。Agent 可对环境变化作出适当反应, 根据网络负载动态决定迁移策略和数据处理方法。

(3) 并行性。网络可按需创建多个 Agent, 它们在网络中自主迁移、并行工作, 可协同求解共同目标, 提高计算效率和服务质量。

(4) 容错性。Agent 异步自主移动, 网络节点间无需长连接, 可根据网络状况进行节点访问和结果返回。

(5) 自治和协作性。移动 Agent 可感知环境变化, 与其他 Agent 交互, 面向任务实施自主、协作的动作。

(6) 异构性。移动 Agent 仅依赖移动 Agent 环境(Mobile-Agent Environment, MAE), 与特定软硬件环境无关。

#### 1.2 无线传感器网络移动 Agent 应用特点

无线传感器网络是反映当前计算发展趋势的典型系统, 包括目标对象、传感节点、感知视场和观测节点 4 类基本实体对象。其节点具有感知、通信和信息处理等能力; 支持传感节点对目标的感知、传感节点间的无线通信和协同信息处理等典型动作; 以数据为中心, 强调对目标的“近距离感知”和“以数量换质量”; 具有网络规模较大、节点资源有限和要求分布式协作等特点; 作为连通逻辑信息世界和客观物理世界的桥梁, 需要更加人性化的人机交互接口。

Agent 可利用局部信息进行自主规划, 通过推理解决冲突, 实现 Agent 间协作, 进而达到系统整体目标, 这与无线

**基金项目:** 国家科工委基础科研计划基金资助项目

**作者简介:** 王结太(1982 - ), 男, 博士研究生, 主研方向: 计算机网络与信息处理, 无线传感器网络; 杨少军, 博士研究生; 于海勋, 教授; 许家栋, 教授、博士生导师

**收稿日期:** 2007-03-30 **E-mail:** jtwang@mail.nwpu.edu.cn

传感器网络的特点和应用需求类似。移动 Agent 计算模式具有“异步交互”、“按需移动”和“靠近数据源处理”等特点，为网络协议栈设计和协作信号信息处理技术提供了新的认识视角和理论框架。因此，将无线传感器网络映射为一个多 Agent 系统，研究在该环境下的移动 Agent 框架、实现机制和性能评估，既有理论意义，又有实际应用需求。

## 2 无线传感器网络移动 Agent 框架

无线传感器网络移动 Agent 框架需要体现支持目标感知、以数据为中心和能量敏感等特点，下面从网络和节点两个层面来描述。

### 2.1 基于移动 Agent 的无线传感器网络体系结构

从网络层面看，基于移动 Agent 的无线传感器网络体系结构如图 2。移动 Agent 定义为按一定路径访问网络节点，并对节点数据进行处理的特殊软/硬件模块，具有自主、移动、协作和安全等特点，至少包括标识、执行代码、访问路径和数据空间 4 部分。Agent 通过标识 3 元组(NetworksID, NodeID, TimeStamp)唯一确定，其中网络标识 NetworksID 在网络部署前给定，节点标识 NodeID 通过预设或协商确定，序列号 TimeStamp 是节点派发 Agent 的时间戳。执行代码提供网络访问和信息处理指令。访问路径是移动 Agent 的访问节点列表，标识已访问和当前所在的节点，并指向下一目标节点，图 2 中， $\{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$  是移动 Agent1 的访问路径。数据空间用于存储 Agent 访问过程中的信息集成结果和状态。

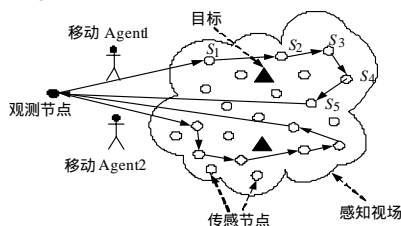


图 2 基于移动 Agent 的无线传感器网络体系结构

与传统传感器网络体系结构相比，该体系结构在目标对象、传感节点、感知视场和观测节点 4 类基本对象基础上增加了移动 Agent 实体，除传感节点对目标的感知、传感节点间的无线通信和传感节点本地或多个节点间协同信息处理 3 个动态过程外，还包括移动 Agent 沿一定路径迁移，访问网络节点的过程。传感器网络面向应用，以数据为中心，基于移动 Agent 的典型网络应用情景是：观测节点作为网络查询的控制者和感知数据的接收者，拥有更多资源，往往是移动 Agent 的创建者和回收者；传感节点对目标的感知数据不再直接汇聚到观测节点，而是通过移动 Agent 在网络中的迁移和访问完成对节点数据的收集和处理；根据任务并发性要求，可能同时存在多个移动 Agent。

### 2.2 无线传感器网络移动 Agent 系统框架

从节点层面看，无线传感器网络环境下移动 Agent 系统框架如图 3。在基础功能方面，网络节点配备感知、通信、处理和能量等模块，提供目标感知、节点间通信和本地计算的能力，并通过嵌入式操作系统的封装实现对外层应用的开放；在应用方面，网络应用构建在由移动 Agent 和 MAE 组成的移动 Agent 系统中；移动 Agent 根据是否按任务进行迁移可分为用户 Agent(User Agent, UA)和服务 Agent(Service Agent, SA)两类。MAE 通常配备在 Agent 可能到达的所有网络节点上，为移动 Agent 的移动和计算提供所需服务。典型服务包括：负责移动 Agent 创建、发送、传输、接收和执行

的生命周期管理服务；提供统一命名，进行服务定位和调用的目录服务；对 Agent 进行身份验证和完整性检查，提供安全运行环境的安全保障服务等。SA 为来访的 UA 提供服务，一般不移动。UA 面向任务，在 MAE 间迁移，通过 SA 访问网络节点本地受控资源，增强节点安全性。

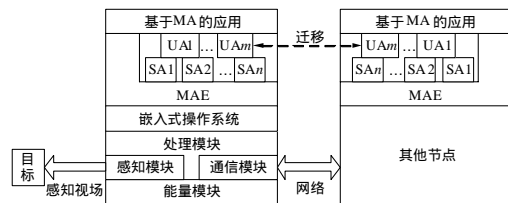


图 3 无线传感器网络移动 Agent 系统框架

移动 Agent 携带计算代码、数据和运行状态在网络节点间迁移，按一定机制进行交互，完成 Agent 间的相互协商并访问 MAE 提供的各种服务。Agent 的迁移路径可静态设定或在迁移过程中动态规划。移动 Agent 生命周期包括创建、执行、冻结、迁移和消亡，如图 4，在创建状态，完成移动 Agent 标识分配，用户任务委托，功能语义和迁移语义定义等；在执行状态，依靠各种资源开展协作，最终完成用户委托任务；在冻结状态，完成 Agent 状态和计算上下文的封装，准备迁移；在迁移状态，依赖 MAE 完成物理发送、缓存、接收和容错等操作；在完成用户委托任务后，Agent 将消亡。

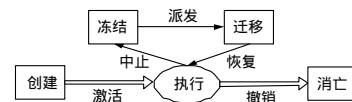


图 4 移动 Agent 生命周期状态转换示意图

## 3 基于定向扩散的移动 Agent 机制实现 DDMA

### 3.1 定向扩散及其扩展机制<sup>[5-6]</sup>

DD 是无线传感器网络中以数据为中心路由协议发展的里程碑，允许以滤波器形式扩展。DD 体系中节点数据处理流程涉及应用层、过滤器和过滤器内核 3 部分，如图 5，大致包括数据流的接收和分发(1 和 8)、应用层处理(2 和 3)和带优先级的过滤器处理(4~7)等。其中，过滤器内核与底层通信模块相连，接收其他节点发送的分组包(数据或控制信令)，评估所有过滤器对该分组的优先级，使最高优先级过滤器获得对该分组包的控制权；同时，过滤器内核与应用层模块相连，接收其发出的分组包，同样依过滤器优先级进行处理；过滤器内核接收过滤器处理后的分组包，重新评估后可返回给应用层、其他过滤器或底层通信模块进行下一步处理。过滤器包含数据分组包的匹配条件和具体处理算法，过滤器内核完成过滤器优先级评估和数据分组包调度，因此，新增或组合过滤器是扩展 DD 数据分发机制的基本方法。

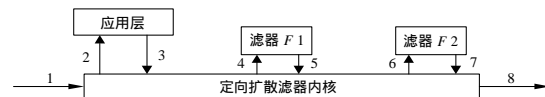


图 5 定向扩散中节点的数据处理流程

### 3.2 移动 Agent 实体和运行环境 MAE

DD 机制中，节点间传输的网络消息都包含一系列属性，过滤器内核根据这些属性判断消息类别，评估过滤器优先级，并完成处理调度。而移动 Agent 是可按一定路径访问网络节点，并对节点数据进行处理的特殊软件模块，因此，首先在系统中增加新的消息类型 MA。

MAE 的基本功能是提供移动 Agent 的生命周期管理，包

括创建、发送、传输、接收、执行和终止等操作。不同硬件平台下, MAE 可采用不同实现机制, 如基于 Java 虚拟机或动态连接库等。DDMA 中, 移动 Agent 实体被作为 DD 协议中的一类特殊消息在网络中传输, MAE 则通过增加优先级最高的 MAEFilter 过滤器实现。当新到网络消息类别为 MA 时, 过滤器内核将把收到的消息交给 MAEFilter 来负责解释和执行。该过滤器将完成提取 Agent 实体属性值, 加载指定算法, 调用所需服务函数, 以及执行数据处理等操作。

### 3.3 协议流程

DDMA 在两阶段拉模式下采用查询驱动的数据采集策略, 由观测节点向网络发布查询, 传感节点根据检测情况进行响应, 观测节点进而派发 Agent 完成数据采集。整个协议流程可大致分为有效节点发现、节点间路由建立和 Agent 数据采集 3 个阶段。

有效节点发现与 DD 的兴趣扩散阶段类似。观测节点用目标属性描述命名感兴趣数据, 并封装为兴趣分组包向邻近节点广播, 发起一次查询。兴趣分组包通过广播逐级扩散, 最终遍历全网。传感节点存储该兴趣, 并与本身周期检测的感知数据进行匹配, 若匹配成功则成为有效节点。

DDMA 机制下, Agent 迁移路由大致分为观测节点经中继节点到有效节点, 有效节点经中继节点到有效节点以及有效节点经中继节点到观测节点 3 类。与 DD 的梯度建立阶段类似, 节点间路由的建立建立在兴趣和探测数据的扩散过程中完成。最终, 节点将拥有从邻居节点指向当前节点的多向最优梯度, 用来评估当前节点从邻居节点中选择下一跳节点到达不同目标节点(观测节点或不同的有效节点)的路径质量。在有效节点发现和节点间路由建立的过程中, 观测节点可利用获得的相关信息完成 Agent 的创建和访问路径规划。

Agent 数据采集阶段, 由观测节点派发 Agent 来依次访问路径规划中的有效节点, 完成数据采集和融合处理, 并最终携带结果返回观测节点。Agent 迁移过程中的路由在第 2 阶段完成。

### 3.4 分析讨论

DDMA 利用 DD 协议以数据为中心的交互机制和自身协议扩展体制, 在传感器网络中引入移动 Agent 计算模式。与 DD 相比, DDMA 有如下特点:

(1) 节能。网络中传输的是移动 Agent 实体, 而不是大量的感知数据, 可降低带宽需求, 缩短通信时延并提高服务

质量。

(2) 灵活性。DD 中由有效节点决定数据的传送时机和持续时间, 观测节点是被动的, 容易造成资源浪费。而 DDMA 中, 观测节点在派发 Agent 前估计有效节点数量、数据量大小、持续时间和代价, 综合考虑传感节点存储空间大小和数据时效性, 灵活控制派发 Agent 的周期、数量和待访问节点。Agent 也可根据网络状况和信息融合结果, 动态自主地决定访问策略。

(3) 感知数据的本地存储需求。DD 在观测节点完成路径增强后, 即可沿最优路径发送感知数据。DDMA 中观测节点需要完成 Agent 创建、路径规划和派发后, Agent 才能开始采集和处理数据。因此, 传感节点应有一定的本地存储空间来缓存感知数据, 以等待 Agent 的访问和处理。尽管如此, 相关的仿真实验表明, DDMA 机制对观测节点获取感知数据的延迟几乎没有影响。

## 4 结束语

本文深入研究移动 Agent 在传感器网络中的应用背景, 从网络和节点两个层面提出了一种基于移动 Agent 的传感器网络框架模型, 阐述了模型组成、功能定义和交互接口, 可用于指导传感器网络的 Agent 机制实现。在此基础上, 给出了一种适用于无线传感器网络的基于 DD 的移动 Agent 实现机制 DDMA。

### 参考文献

- [1] Akyildiz F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] 张云勇, 锦 德. 移动 Agent 技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 朱森良, 邱 瑜. 移动代理系统综述[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(1): 16-25.
- [4] Gavalas D. Advanced Network Monitoring Application Based on Mobile/Intelligent Agent Technology[J]. Computer Communications, 2000, 23(8): 722-726.
- [5] Intanagonwivat C, Govinda R, Estrin D, et al. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 11(1): 2-16.
- [6] Silva F, Heidemann J, Govindan R, et al. Directed Diffusion[R]. USC/Information Sciences Institute, Technical Report: ISI-TR-2004-586, 2004.

(上接第 132 页)

综上所述, A1 算法在与 A0 算法系统的吞吐量相近的情况下, 降低了干扰的总体水平, 保证了通信的可靠性。

## 4 结束语

本文归纳整理了 802.16e 协议中上行链路功率控制的流程, 分析了系统的干扰特性, 并在此基础上提出了 OFDMA 模式下一种基于位置信息的功率控制算法, 这种算法根据移动台位置信息对其发射功率以及采用的调制编码方式进行控制, 降低了小区边缘用户对其他小区的干扰水平, 以牺牲极小吞吐量为代价, 大大降低了系统的中断概率。本算法在小区中用户较多时优势明显。

### 参考文献

- [1] Dong Liang, Xu Guanghan. Dynamic Uplink Power[C]//Proc. of the 53rd Vehicular Technology Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2001: 2849-2853.

- [2] Rogers D V, Zaks C, Lin K T. Up-link Power Control Experiments at 14/11 GHz[C]//Proc. of the Antennas and Propagation. [S. l.]: IEEE Press, 1989: 206.
- [3] Jia Yunjian, Hara S, Hara Y. Impact of Closed-loop Power Control on SDMA/TDMA System Performance[C]//Proc. of the 56th Vehicular Technology Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2002: 1825-1829.
- [4] IEEE 802.16e D5 Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems—Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands[S]. 2006-02.
- [5] 雷震洲. 未来移动通信的定位与应用[J]. 无线电技术与信息, 2006, (9): 2-4.

