

基于无线传感器的物联网网络拓扑发现算法研究

牛新征¹ 梁帆² 周明天¹

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)¹ (中国科学院计算技术研究所 北京 100190)²

摘要 在基于无线传感器的物联网中,由于传感器硬件设备的局限性和动态性,以及组成的网络通信带宽有限等,在网络中准确、及时地获取网络的拓扑信息变得非常困难,而如何全面、准确、快速地进行网络拓扑发现对于物联网的网络管理、故障定位和拥塞控制等研究和更多的上层应用具有重要的意义。提出了一种基于移动代理的模糊动态拓扑发现算法的设计方案。不仅通过构造网络模糊拓扑信息的处理方法和移动代理的迁移、活跃度等相关策略模型,给出了移动代理和传感器节点的最优拓扑发现数量比,而且还根据模糊知识处理已有的研究,获得了完整的基于传感器的物联网网络拓扑发现算法。通过实验验证表明,本算法不仅改进了网络拓扑的发现效率,并且具有较小的网络能耗等。

关键词 移动代理,物联网,无线传感器,拓扑发现,动态拓扑结构

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Algorithm of Network Topology Discovery Based on Wireless Sensor in Internet of Things

NIU Xin-zheng¹ LIANG Fan² ZHOU Ming-tian¹

(School of Computing Science and Engineering, UESTC, Chengdu 610054, China)¹

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, ICT, Beijing 100190, China)²

Abstract Since the finitude of hardware and network dynamic limit the bandwidth in the wireless internet of things (IOF), it is difficult to obtain the network topology information accurately and timely. Comprehensive, accurate and fast topology discovery has an important meaning to the network control, congestion control and fault location. In this paper, an improved fuzzy algorithm and strategy based on multi-mobile agent cooperative system were proposed. Our model contains the process method of topology information, the agent active degree and migration, etc. We presented the best ration of agents to nodes and the IOF network topology algorithm. As expected, the model is efficient and can save resources.

Keywords Mobile agent, Internet of things, Wireless sensor, Topology discovery, Dynamic topology structures

1 引言

物联网就是物物相连的互联网,它通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统技术和信息传感设备,把任何物品与物联网相连接,进行信息交换、通信和共享等。同时,正如在文献[1]中提到的,采用体积小、性价比高的传感器设备构成的基于传感器的物联网,可将传感器作为信息采集和控制的网络基础,以连接物理世界和数字世界,它是物联网层级结构中最底层的基础设施。而对于各种物联网的研究,节点位置信息、网络拓扑知识等获取对物联网的其他应用至关重要,它是物联网的基础和关键技术。

目前,研究机构已展开了许多物联网方面的研究,但对网络拓扑发现算法方面的工作却较为罕见,而针对传感器网络的拓扑发现的研究虽较多,但是,如何有效地控制网络的拓扑发现通信量却仍然是传感器网络研究的重要课题。我们知道在大规模由无线传感器设备构成的物联网中,由于受传感器自身设备的硬件缺陷、多类型环境因素等诸多实际的网络因素的影响,传感器节点所获知的网络拓扑等信息常动态多变,

也容易和实际网络状况存在较大的差异,而带来较多的拓扑认识错误,影响其他应用的效果。因此,基于传感器的网络拓扑知识无法通过网络检测工具和具有较好鲁棒性的错误容忍技术来快速准确地获取和分析,它是目前的物联网网络拓扑发现的难点。

移动代理即移动 agent 具有自学习、分布性、移动性和自组织等特点和能力,因此,它被广泛应用于分布式传感器网络、移动网络的拥塞控制、拓扑发现等^[2,3]。同时,正如在文献[4]所描述的,和传统的 C/S 模型相比,移动代理技术在数据融合、拓扑发现等方面更适合无线传感器网络。因此,本文针对上述问题,利用移动代理-分布式计算技术,提出了一种基于移动代理的模糊动态拓扑发现算法的设计方案,即在发现速度、准确性、网络能耗等方面设计网络拓扑策略,使物联网的整个网络拓扑具有较高的拓扑发现鲁棒性和稳定性。最后通过实验,将论文中设计的模型和算法与已有的研究成果进行了比较,结果表明,算法的设计和分析是有效的,具有参考价值和应用意义。

到稿日期:2011-07-15 返修日期:2011-10-16 本文受中央高校基本科研业务费电子科技大学项目(ZYGX2010J075),国际贸易区域经贸合作与流通促进平台关键支撑技术研究课题(2009BAH46B03)资助。

牛新征(1978—),男,博士,讲师,主要研究方向为移动对等网络、移动计算, E-mail: xinzhenniu@uestc.edu.cn; 梁帆(1988—),男,硕士生,主要研究方向为网络计算、系统结构; 周明天(1939—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为网络计算、网络控制与策略。

2 相关概念与描述

2.1 移动代理系统

移动代理(移动 Agent)系统是利用多个可移动可计算的智能体组成的集合,其中每个移动智能体即移动代理是一个物理和抽象的实体,通过在目标环境中移动,与其他移动智能体交互协作,完成系统的任务。正如文献[5]所述,移动多 Agent 的合作方式为分布式网络或者无线网络的应用提供了灵活、高效的解决方案,但对于动态网络环境和资源多变传感器等设备,当前的一些研究工作仍存在局限性,以多 Agent 移动合作模型为基础,分析动态网络环境中 Agent 知识的不确定性、影响力和 Agent 间可能客观存在的交互问题,是基于移动代理技术构建的系统研究的核心工作。

2.2 物联网网络拓扑发现

网络拓扑发现是网络管理优化的核心,较好的拓扑发现策略能够分析出网络拥塞和瓶颈的原因,获得带宽最优的利用率。而由于由无线传感器组成的物联网基础设施受地理环境、障碍物、网络动态变化等因素的影响,传感器节点所获得的网络拓动态复杂多变,常和实际的网络状况产生较大的差异,从而形成错误的网络拓扑认识。从文献[4-7]的描述可知,网络拓扑发现中网络延迟、通信量过大和可扩展性、鲁棒性差,以及传感器节点能量不均衡等问题较多和较严重。而且,在大规模传感器组成的物联网中,因传感器节点失效等意外因素影响网络拓动态事件经常发生。同时,目前较流行的传感器网络的拓扑发现^[8-10]的主要工作集中在能量测量和报文丢失率上,这些工作是在基于网络逻辑拓扑已知的前提下进行的,但却没有涉及专门的网络拓扑获取方法,而文献[6,7]提出的算法存在构建的层次性网络灵活性不强,重复执行算法的开销过大,算法效率不高等问题。

3 网络拓扑发现模型

3.1 Agent 模型结构

移动 Agent 是一个动态网络网络拓扑发现的逻辑执行单位,根据文献[11]提到的 Agent 模型结构,我们对模型做如下形式化定义:

$$IAgent = \langle M_A, E_n, L_U, H_R, C_D, S_G, F_\mu \rangle$$

式中, M_A 是移动 Agent 的网络标识 ID; E_n 是网络中的网络拓扑发现集合; L_U 是 Agent 对网络拓扑的模糊认识; H_R 是移动 Agent 之间的原子性协作动作,即协作原语; C_D 是 Agent 对网络拓扑发现的信念集合; S_G 是 Agent 对网络拓扑发现的自信度集合; F_μ 是 Agent 处理交互的网络拓扑信息的隶属度函数集合。

如果 n 表示所有传感器节点和移动 Agent 的总数, m 表示网络中移动的 Agent 个数,则网络中的移动 Agent i 可以表示为 $M_A, 1 \leq M_A \leq m, m < n$ 。

E_n 表示网络中的网络拓扑发现集合,包括了传感器节点的关闭和启动、链路的断开和连接、链路的拥塞和畅通。

L_U 表示移动 Agent i 与其他 Agent 或传感器节点交换信息后的网络拓扑发现集合,是对网络的部分认识, $L_U = \{l_{U1}, l_{U2}, \dots, l_{UN}\}, N \geq 0$ 。

H_R 表示移动 Agent i 依据设定的作用阈值(见算法描述部分),检查网络拓扑发现的模糊信念等,判断是否可以接受事实,从而做出不同的动作。原子性动作集为: $H_R = \{accept, reject, exchange, save, quit\}$ 。如果移动 Agent i 接受使用某

个移动 Agent j 或者传感器节点提供的网络知识,则做出 accept 动作,反之 reject。如果有移动 Agent i 需要的并且可以修改自己的网络拓扑发现信息的数据,则使用 exchange 进行信息交换。如果成功交换了数据,可以使用 save 修改自己的模糊网络拓扑结构。当结束整个模糊知识信息的交互过程时,选择 quit 动作。

C_D 表示移动 Agent i 与移动 Agent j 或传感器节点交换信息后,网络拓扑发现的信念度集合, $C_D = \{CF(i, e, t_1), CF(i, k, t_2), \dots\}$ 。信念参数 $CF(i, e, t)$ 表示在时刻 t 时, Agent i 对网络拓扑发现 e 的信任程度。

S_G 表示移动 Agent i 对发现网络拓扑发现的自信程度, $S_G = \{FA(e_1), FA(e_2), \dots\}$, S_G 受到 C_D 的直接影响,利用文献[5]中的描述,可定义 $FA(e)$ 为:

$$FA(e) = |CF(i, e, t) - 0.5|, 0 \leq FA(e) \leq 0.5 \quad (1)$$

式中, F_μ 表示移动 Agent i 处理网络拓扑发现模糊信息的隶属度函数集合, $F_\mu = \{\mu_{1.1}, \mu_{1.2}, \dots, \mu_{1.k}\}$, k 为隶属函数个数, $k \geq 1, \mu_{1.1}$ 定义见算法描述部分。

3.2 Agent 的活动周期

Agent 的移动行为一般分为主动和被动两种,主动方式是指 Agent 根据环境条件,主动地进行网络拓扑发现,被动方式是指 Agent 的活动受到其它实体(如移动节点)的操控,本文定义的 Agent 通过主动方式进行网络拓扑发现。图 1 说明了它在网络中的活动周期。



图 1 Agent 的活动周期

网络拓扑知识发现: Agent 在网络中移动时,能够感知到链路和传感器节点的状态,主动发现网络拓扑中存在的事件,并将其作为与其他 Agent 或节点交流的信息。

信息更新: 移动 Agent 和传感器节点之间进行信息交流时,更新自己的网络拓扑认识,并调整自己的路由表信息。

路径选择: 移动 Agent 从一个节点向另一个节点迁移时,需要根据感知的信息进行选路,合理的选路策略能够使得 Agent 携带的信息能够在网络中快速地传递,使其适应网络动态变化的环境。

4 新的拓扑发现算法

4.1 模糊知识处理

正如在文献[5,11]中描述的,在基于移动 Agent 的网络拓扑发现过程中,网络拓扑信息包括移动 Agent 采集到的拓扑信息,以及传感器节点自身获得的拓扑信息。由于传感器网络和移动设备资源等的敏感性、短缺性、多变性和不确定性带来了网络中路由、拓扑等信息的不确定性、多变性、模糊性,因此,假设移动 Agent 根据各种方式获得的拓扑信息组成了本文提到拓扑发现策略的模糊知识处理的论域 ξ 。从 ξ 到区间 $[0,1]$ 的映射 $L(\xi \rightarrow [0,1])$ 被称作 ξ 上的一个模糊发现集合。隶属度 μ_L 表示 ξ 隶属于模糊网络拓扑发现集合 L 的隶属度。隶属函数可以表达为: $\mu_L(l_U): \xi \rightarrow [0,1], l_U \in \xi$ 。隶属函数定义了对模糊网络拓扑发现这种模糊的输入空间(论域 ξ)上的每一点都映射为 0 到 1 之间隶属值的方法。

信念参数的阈值 Z_f 表示移动 Agent 或者传感器节点拓扑发现的信息可使用时信念参数必须达到的数值。只有当移动 Agent 或者传感器节点的信念参数值大于该参数时,该移动

Agent 或者传感器节点携带的拓扑信息才能被信任和使用。

信念度的修改:移动 Agent 在两种情况下对网络拓扑发现的信念度进行修改:1. 每次移动 Agent,传感器节点之间进行信息交互时,更新网络拓扑中节点和链路的信念;2. 随着时间的流逝,Agent 对过去网络拓扑发现的信念降低。

信念影响力 $effect^{[6]}$, 亦即 Agent 对网络拓扑发现 e 的认识受到外界其它 Agent 或节点信息的影响程度, $effect = \sum_{k \in \Omega} w_k CF(i, k, t) - w_e CF(i, e, t)$, 其中 Ω 为交互信息的 Agent 和节点的集合, $w_e = CF(i, e, t) / \sum_{k \in \Omega} CF(i, k, t)$ 为集合元素对网络拓扑发现 e 的信念所占总体拓扑信念的权重。

在 $t+\omega$ 时刻,按照下面的策略计算移动 Agent i 感知网络拓扑发现 e 的信念度:

$$CF(i, e, t+\omega) = \begin{cases} 0.5 + e^{-\frac{\ln effect}{3}}, & effect > 0 \\ 0.5 - e^{-\frac{\ln effect}{3}}, & effect < 0 \\ \rho^{\frac{t+\omega}{t}} CF(i, e, t), & \text{没有交换信息} \end{cases} \quad (2)$$

根据时间进行修改

式中, ρ 为挥发系数,随着时间的推移,记录的移动 Agent 或者移动节点的信念度慢慢降低,这是符合模糊知识交换的原则的。初步设定 $\rho=0.9$ 。

4.2 移动 Agent 活跃度控制

Agent 在网络中的移动会占用网络带宽,频繁地移动容易使传感器节点数据包传播时丢包。为控制 Agent 在网络中的移动速率,提出移动 Agent 活跃度的概念。

综合自信度 $S(\Omega)$:是 Agent 对所有知识的自信度的总体评价。

$$\overline{S(\Omega)} = 2 \sum_{e \in \Omega} \omega_e \times FA(e) \quad (3)$$

式中, Ω 为节点中总体网络拓扑发现集合; $\omega_e = \frac{FA(e)}{\sum_{k \in \Omega} FA(k)}$ 为 Agent 对某一网络拓扑发现 e 的自信度占总自信度的权重。

网络的活跃度 Nac :即 Agent 对网络动态变化的认识程度,它是网络拓扑发现更新时间的函数。

$$Nac = 2 - e^{\theta t} \quad (4)$$

式中, $\theta = (\text{当前时间} - \text{最近发生的信息时间}) / \text{网络拓扑发现更新周期}$,是最近两个网络拓扑发现发生的系统时间差与 Agent 的网络更新周期比例。

Agent 活跃度:代表了 Agent 在网络中的移动快慢,它表示为 Aac ,该值是 S_G 和 Nac 的函数。随着网络的逐渐稳定,Agent 的活跃度如图 2 所示。可以取下面的函数表示活跃度与其他两者的关系。

$$Aac = Nac \times \sqrt[3]{e^{-S_G}} \quad (5)$$

Agent 在节点中的驻留时间 T_{linger} :该值与 Agent 活跃度 Aac 成正比,即 $T_{\text{linger}} \propto Aac$,Agent 在网络中越活跃则在节点中停留的时间越短,反之越长。

根据上述得到的 T_{linger} ,能够控制 Agent 在网络中的移动速率,从而控制 Agent 对网络带宽的占用率。

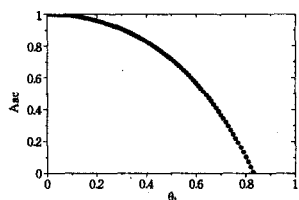


图 2 Agent 的移动速度与时间的关系

4.3 Agent 选路策略

Agent 获得的网络信息包含了传感器节点中的信息,该信息由节点向网络中发送报文进行探测,该报文的目的是探测网络拓扑信息,与移动 Agent 的交换信息不同,该报文不具有信念,不能够辨别信息的可信程度,但是可以为 Agent 的网络拓扑发现做参考。我们设计了网络中的查询报文结构,如图 3 所示。

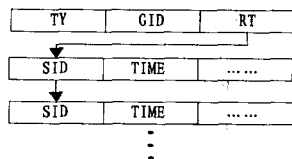


图 3 传感器节点查询报文

其中, TY 表示包类型, GID 表示报文的序列号, SID 标识报文经过的节点的 ID, RT 记录了报文经过节点的基本信息,即节点的 ID 和从节点离开的时间。

结合上述 3 种算法的核心思路,提出了基于移动 Agent 的拓扑发现算法(简称为 ISP 算法)。

Step1 对网络中的每个节点随机地向邻近节点发送拓扑探测报文,报文记录下经过节点时的基本信息;

Step2 当移动到节点时,收集发送到节点中的探测报文信息,利用 Agent 选路策略,根据文献[11]的信念参数计算公式对网络拓扑发现的信念进行更新;

Step3 Agent 根据移动 Agent 活跃度控制思路,控制移动 Agent 的活跃程度。若有多个 Agent 同时在传感器节点中,它们之间进行信息的交换,根据式(1)和式(2)修改信念度和自信度,根据式(5)计算移动速率,决定自己在节点中停留的时间,以拓扑发现为基础修改自己的路由表;

Step4 当 Agent 应当从节点选路向下一个节点移动时,根据模糊知识处理思路,Agent 分别对路由表中的节点和链路的信念度进行排序,选择信念度最小的节点作为目的节点,选择信念度最小的链路作为路径;

Step5 Agent 在网络中重复上述 1 到 4 的步骤,直到自己退出网络。

5 实验及其结果分析

5.1 实验环境

实验环境是一个仿真的动态网络,其网络的节点和链路个数分别是 14 / 20, 28 / 46, 56 / 104, 图 4 给出了节点个数为 14 时的拓扑结构,其链路容量均为 2.0Mbps,模拟的时间周期为 1ms。假设移动节点按照泊松分布规律产生数据包,平均大小为 1024 字节。网络中包括的模型 IAgent 描述 6 种网络事件,即传感器节点的关闭和启动,链路的断开和连接、链路的拥塞和畅通。

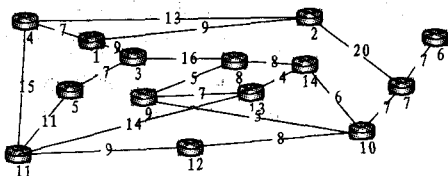


图 4 实验网络拓扑

5.2 实验结果

首先,根据本文的模型设计,分析了网络拓扑发现与响应

时间关系。若传感器网络中突然出现一个动态网络拓扑变化事件,则研究网络拓扑发现在全网中传播的速度。经过比较发现,Agent 个数的不同对网络拓扑发现的响应速率有较大影响。图 5 利用了传感器节点规模分别为 14 和 56 两种网络拓扑做测试。其中 p 为发现网络拓扑发现的节点占总节点的个数, Δt 为从网络拓扑发现产生开始的系统时间差。曲线越陡,说明网络拓扑发现在网络中传播的速度越快。图 5(a) 在网络节点数为 56 时,比较了 Agent 个数为 8, 14, 28, ..., 224 等几种情况下网络拓扑发现的传播速度;图 5(b) 在网络节点数为 28 时,比较了 Agent 个数为 1, 2, ..., 56 等几种情况下网络拓扑发现的传播速度。图 5 说明了 Agent 个数的增加能够提高网络拓扑发现在网络中的传播速度。但是,随着 Agent 个数的增加,网络拓扑发现在网络中的传播加速度在降低。因此,我们得出了基于移动 Agent 的拓扑发现算法的核心重点,即移动 Agent 的个数问题。

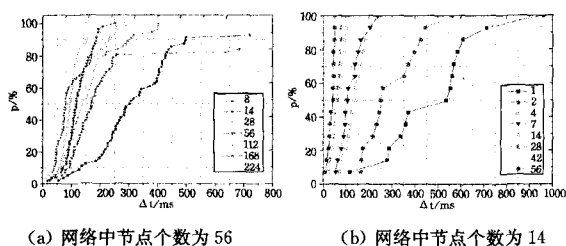


图 5 不同 Agent 个数对响应传播时间的影响

同时,利用本文的算法思路,仿真分析了传感器网络拓扑发现和移动 Agent、网络带宽的关系。图 6 展示了 Agent 个数与传感器节点完全发现网络拓扑发现的关系,其中 τ 为 Agent 个数与节点个数的比例, Δt 为网络中所有节点都发现网络拓扑发现的系统时间差,而图 7 描述了 Agent 个数与网络带宽的关系。研究发现 Agent 个数与网络拓扑发现的传播速度呈反比关系,与占用的网络带宽呈线性关系。

综上所述,结合图 5—图 7,我们发现网络中的 Agent 个数与节点个数比值 p 的 0.5~1 倍时(见图 6),网络的带宽在 250~600 /unit 变化(见图 7),网络拓扑发现在节点之间的传播速度约为 200ms(见图 5),对于网络拓扑发现是可接受的带宽占用数量。

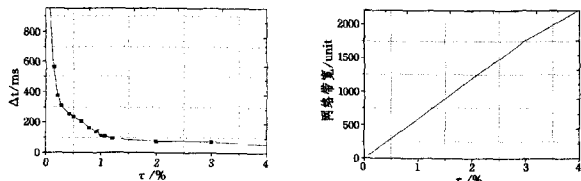


图 6 不同 Agent 个数和网络的总体响应时间关系 图 7 网络中 Agent 个数与占用带宽关系

其次,验证了我们算法中采用 Agent 活跃度和模糊知识处理对网络带宽的影响。如果 Agent 频繁地在网络中移动,它占用带宽使得网络拥塞,容易使传感器节点的数据包在传感器节点之间传播时丢包。合理地控制 Agent 在网络中的移动速率,能够有效地降低网络带宽占用率。通过增加 Agent 在节点中的驻留时间,来控制网络的带宽占用率,并且分析了 Agent 移动速率对网络拓扑发现响应速度的影响。

图 8 示出了网络拓扑发现发生后网络带宽的变化。其

中,在 2000ms 设计有新传感器节点加入,因此,网络带宽发生明显的变化。在 1000~2000ms 时,网络比较稳定,Agent 的活跃程度较低,Agent 移动占用的网络带宽少。当 Agent 发现网络中的网络拓扑发现后,开始变得活跃,网络带宽占用增加,而随着网络再次趋于稳定,带宽占用下降。

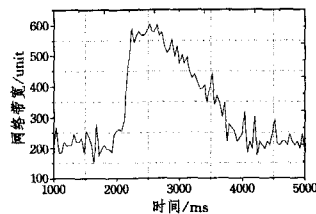


图 8 网络带宽与时间的关系

如图 9 所示,Agent 对网络拓扑发现模糊值的升高和降低说明网络拓扑事件连接和断开的发生。在增加了 Agent 驻留时间的设计后,并没有影响 Agent 对网络拓扑的发现速率。并且,图 10 显示了在网络活跃时,Agent 也会加快自己在网络中的移动速率,发现网络拓扑变化。综合两个图可知,新的设计能够在网络变得活跃时及时响应网络网络拓扑发现的发生,而在网络稳定时,降低 Agent 的活跃程度,减少移动所占用的网络带宽。

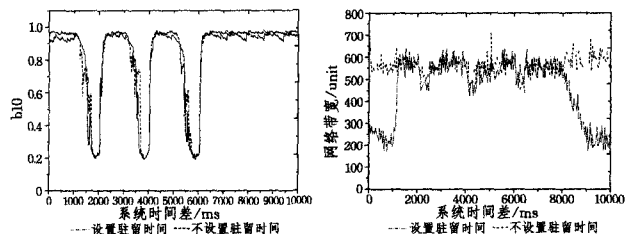


图 9 时间与模糊值的关系 图 10 网络带宽与时间的关系

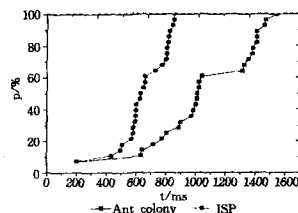


图 11 蚁群策略和 ISP 策略的发现时间比较

再者,我们比较了包含 Agent 选路策略的 ISP 策略和蚁群策略的性能差别。实验验证了 ISP 策略和蚁群策略在网络知识发现中的速率比较。其中,该实验设置网络中有 28 个节点和 46 条链路,Agent 个数为 14 个。图 11 所示的实验结果显示,新的策略能够有效提高 Agent 发现和传播网络拓扑发现的速度。

结束语 由于在传感器节点组成的物联网中存在噪声和时滞等网络现象,因此减少网络拓扑的动态变化对拓扑发现的性能影响,具有非常重要的研究意义。本文抓住了基于无线传感器的物联网网络拓扑发现的本质,采用了成熟的移动代理发现的鲁棒模型,根据网络状况产生合适的移动代理数量,并将其放入基于无线传感器的物联网中,移动代理根据设计的策略在网络中移动和交互。上述设计的算法不依赖于网络传感器节点之间的协作,不增加网络负担,符合传感器网络能量和带宽资源有限的特性。

参考文献

- [1] 顾晶晶,陈松灿,庄毅. 基于无线传感器网络拓扑结构的物联网定位模型[J]. 计算机学报,2010,33(9):1548-1556
- [2] 郑巍,刘三阳,寇晓丽. 动态传感器网络移动代理路由策略[J]. 控制与决策,2010,25(7):1035-1039
- [3] 邓勇,王汝传,黄海平,等. 基于移动代理的网络拓扑发现技术的研究[J]. 计算机科学,2008,35(10):76-80
- [4] 周四望,林亚平,聂雅琳,等. 无线传感器网络中基于数据融合的移动代理曲线动态路由算法研究[J]. 计算机学报,2007,30(6):894-904
- [5] 王敏毅,周明天,姚绍文. 动态网络环境下的多 Agent 移动合作系统[J]. 计算机研究与发展,2001,38(12):1454-1460
- [6] 赵涛,蔡皖东,李慧贤. 基于汉明距离的传感器网络分层拓扑发现算法[J]. 华中科技大学学报,2008,36(10):71-74
- [7] 张金荣,曹长修,唐贤伦. 圆分布双跳无线传感器网络网络配置

- 及拓扑发现修复算法与仿真[J]. 计算机科学,2008,35(6):110-113
- [8] Mao Y Y, Kschischang F R, Li B C, et al. A Factor Graph Approach to Link Loss Monitoring in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(4):820-829
- [9] Zhao J, Govindan R, Estrin D. Residual Energy Scan for Monitoring Sensor Networks[C]// IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway: IEEE Computer Society, 2002:356-362
- [10] Hartl G, Li B. Loss Inference in Wireless Sensor Networks based on Data Aggregation[C]// Third International Symposium on Information Processing in Sensor Networks. Piscataway: IEEE Press, 2004:396-404
- [11] 牛新征,余堃,秦科,等. 移动 P2P 网络路由策略中模糊知识处理的研究[J]. 计算机研究与发展,2008,45(6):930-941

(上接第 117 页)

法以及本文算法更新已有 SPT, 仿真结果如表 1 所列。根据表 1 可知, 变化边拓扑数为 4074, Xiao Bin 算法耗时 8768ms, DSPT-MLI 算法耗时 6708ms, 比 Xiao Bin 算法少 23.49%。入队节点数, Xiao Bin 算法与 DSPT-MLI 算法相当, Xiao Bin 算法为 2175, DSPT-MLI 为 2156。入队总次数, DSPT-MLI 比算法 Xiao Bin 算法少 6%。更新节点总数两算法相等。更新节点总次数 DSPT-MLI 算法比 Xiao Bin 算法少 42%。

表 1 多链路权值增大

变化拓扑	用时 (ms)	根节点:0				变化拓扑数:4074			
		入队次数				更新次数			
算法		1	2	3	>3	1	2	3	>3
Xiaobin	8768	2069	92	14	0	2090	825	218	29
DSPT-MLI	6708	2156	0	0	0	3162	0	0	0

结束语 采用点更新动态最短路径算法在处理多链路权值增大时, 存在较多因链路相关性引起的冗余计算。分支更新算法全局处理所有变化拓扑, 消除了变化链路相关性引起的冗余计算, 提高了更新效率。相比点更新算法, 分支更新算法更加复杂。涉及到变化拓扑的初始化方式、队列元素的维护方式, 以及边检查等方面。

本文提出了 DSPT-MLI 算法来解决多链路权值增大问题。相比点更新算法, DSPT-MLI 算法明显降低了入队次数以及节点更新的冗余计算。经过估计, 所得算法在预处理、入队操作、出队操作、节点更新的复杂度上界分别是 $O(\Gamma^2)$ 、 $O(\Gamma^2 \cdot N_{\max})$ 、 $O(\Gamma^2)$ 和 $O(\Gamma)$ 。

参考文献

- [1] Moy J. RFC2328: OSPF Version 2[S]. April 1998
- [2] Oran D. RFC1142: OSI IS-IS Intra-domain Routing Protocol[S]. Feb 1990
- [3] Dijkstra E W. A Note on Two Problems in Connection with Graphs[J]. Numerical Math, 1959, 1(1):269-271
- [4] Bauer R, Wagner D. Batch Dynamic Single-source Shortest-path Algorithms: An Experimental Study[C]// Vahrenhold J, ed.

- SEA. 2009:51-62
- [5] McQuillan J, Richer I, Rosen E. The new routing algorithm for the Arpanet[J]. IEEE Trans. Commun, 1980, 28(5):711-719
- [6] Narváez P, Siu K-Y, Tzeng H-Y. New dynamic algorithms for shortest path tree computation[J]. IEEE Trans. Networking, 2000, 8(6):734-746
- [7] Ramalingam G, Reps T. An incremental algorithm for a generalization of the shortest path problem[J]. J. Algorithms, 1996, 21:267-305
- [8] Narváez P, Siu K-Y, Tzeng H-Y. New dynamic algorithms based on a ball-and-string model[J]. IEEE Trans. Networking, 2001, 9(6):706-718
- [9] Franciosa P, Frigioni D, Giaccio R. Semi-dynamic shortest paths and breadth-first search in digraph[J]. Theoretical Aspects of Computer Science, 1997, LNCS 1200:33-46
- [10] Frigioni D, Marchetti-Spaccamela A, Nanni U. Fully dynamic output bounded single source path problem[J]. Journal of Algorithms, 2000, 34(2):251-281
- [11] Xiao Bin, Cao Jiang-nong, Qing Zhu-ge, et al. Shortest path tree update for multiple link state decrements[C]// Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference. 2004:1163-1167
- [12] Xiao Bin, Cao Jiang-nong, Shao Z, et al. An Efficient Algorithm for Dynamic Shortest Path Tree Update in Network Routing[J]. Journal of Communication and Networks, 2007, 9(4):409-510
- [13] 孙知信, 高艳娟, 王文鼎. 更新最短路径树的完全动态算法[J]. 吉林大学学报, 2007, 37(4):860-864
- [14] 梁德恒, 姚国祥, 官全龙. 基于路由最短路径树的动态多节点删除算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(5):121-123
- [15] 付天成, 莫松海, 王晖, 等. 基于 agent 的动态路网行车最短路径求解[J]. 计算机工程, 2008, 34(20):203-207
- [16] 林澜, 闫春钢, 蒋昌俊, 等. 动态网络最短路径问题的复杂性与近似算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(4):608-614
- [17] Winick J, Jamin S. Inet-3. 0: Internet Topology Generator[J/OL]. <http://www.ssat-inet.net/>, 2002