

基于定向扩散路由的结构化分层模型

汤斯鹏, 章 韵

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘要:在无线传感网中,定向扩散协议(Directed Diffusion, DD)提供了一个基于平面拓扑的以数据为中心的路由思想。针对基于应用的无线传感网络,许多研究人员对DD进行了相应的改进,但是都缺乏一个统一清晰的架构。为了提高研究和开发效率,文中通过科学研究和系统归纳提出了一个基于DD的结构化分层模型,力图呈现一个基于DD的清晰、完整的体系架构,在此模型的启发下,提出了能量多路径加强的DD协议。最后通过性能分析证明了改进算法的可行性,同时也给出了此模型的一个有效应用。

关键词:定向扩散协议;基于DD的结构化分层模型;能量多路径加强DD

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)08-0095-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.024

Structured Hierarchical Model Based on Directed Diffusion

TANG Si-peng, ZHANG Yun

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract:In wireless sensor networks, Directed Diffusion Protocol (DD) provides a flat topology based data-centric routing thought. Based on the application of wireless sensor networks, many researchers make corresponding improvement of DD, but lack of a unified and clear structure still unsolved. In order to improve the efficiency of research and development, through scientific research and systematic summarizing, present a DD structure-based hierarchical model seeks to provide DD in a clear, complete system architecture, and inspired by this model, proposed the energy multipath strengthening DD. Finally, the performance analysis proves the feasibility of the improved algorithm, also gives an effective application of this model.

Key words:directed diffusion protocol; structured hierarchical model based on the DD; energy path strengthening DD

0 引言

在无线传感网中,定向扩散协议(DD)是一个以数据为中心,以查询来驱动的经典路由协议^[1]。由于具有结构上的可靠性、灵活性,实现的简易性,高能量效率(对比洪泛)等一系列优点,DD自提出以来便得到了相当的关注,对DD的研究与改进更是从未间断,一直是无线传感网路由技术的一个热点研究话题。以数据为中心的无线传感网路由设计开辟了一种新思路,对无线传感网路由技术的发展起到了重要的作用。

文献[2]对定向扩散协议作了详细的描述,在此仅作一简介。DD可以分为4个阶段:周期性的兴趣扩散、探测数据传播、梯度建立和路径加强。DD开始时,汇聚节点通过兴趣消息发出查询任务,采用洪泛方式传播兴趣消息(一种采用命名机制的特定格式数据包)到整个网络或者部分区域内的所有节点。兴趣消

息用来表示查询的任务,表达用户对检测区域内感兴趣的信息。在兴趣消息传播的过程中,数据源节点在匹配兴趣后发送探测数据到汇聚节点,从而逐跳在每个节点上建立从数据源到汇聚节点的数据传输梯度。传感器节点将采集到的探测数据沿着梯度方向(可能有多个方向)传送到汇聚节点。汇聚节点在收到探测数据后通过规定的路径加强标准选定上游节点,依次选定稳定传输的路由。

1 相关研究

1.1 基于梯度的受限扩散改进

文献[3]提出了一种通过分析邻居梯度,计算扩散广度和深度,进而选取最优转发节点集进行扩散的算法。该算法假设节点位置服从均匀分布,利用节点的地理位置信息,设经验参数对应节点与汇聚节点之

收稿日期:2012-10-22

修回日期:2013-01-25

网络出版时间:2013-04-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60905040);江苏省基础研究计划(自然科学基金)项目(BK2011756)

作者简介:汤斯鹏(1987-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;章韵,教授,研究方向为传感器网络。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130408.1559.012.html>

间连线为对称轴、传播距离为半径的扇形角弧度。扩散广度阈值等于落在扇形角弧度中的邻居节点数,深度阈值是每个分组最多进行传播的跳数。经验参数可进行自适应调整。此算法的核心思想在于通过制定有效扩散覆盖范围减少源节点周期性的洪泛探测分组。

1.2 基于 Gossip 的 DD

许多研究者对兴趣洪泛进行了改进^[4-6],文献[6]提出了在大规模密集网络中利用 Gossip 的思想在 DD 的兴趣扩散和探测数据传输阶段减少洪泛开销。Gossip 很像洪泛,但是它根据概率 p 发送数据到邻居节点。在兴趣扩散最开始的 k 跳,Gossip 会使用概率 1。若节点的邻居少于 n 个,则采用更高的概率。进一步利用汇聚节点的位置信息设置传输范围,在区域外的节点接收到消息后直接丢弃。

1.3 可区分的能量效率 DD 协议

文献[7]引入了最小路径能量(MPE)。MPE 梯度是节点指向汇聚节点路径的最小能量水平 MPE 设计用来在最大努力交付(BE)过滤器中实现负载均衡,而跳数(HC)梯度引入用来选择最短路径以提供更低的时延给实时(RT)通信。RT 过滤器从候选邻居中先选择 HC 最小的节点,若 HC 相同则选择 MPE 最小的节点。BE 过滤器则先选 MPE 最小的节点,若 MPE 相同则选 HC 最小的节点。这样就弥补了原始 DD 中不支持时间敏感性通信及不支持能量均衡通信的缺陷。

1.4 在安全性能上改进的 DD

文献[8]最早意识到 DD 缺乏安全机制,提出了将逻辑分层密钥(LKH)应用于 DD 的改进,称为 LKHW。LKHW 的多播树模型由两个基本方面组成:(1)密钥树结构;(2)密钥更新策略。而这样的策略保证了向前和向后的机密性。为了实现高效的方法,把数据源当成播组成员,汇聚节点是密钥分配中心。文献[9]提出了一种相对低开销的实时的单向密钥链和认证黑名单扩散来实现路由过程的可靠性和完整性。需要在兴趣扩散前每个节点增加预加载这一阶段,通过预加载生成哈希链。

1.5 基于移动代理(MA)的 DD

MA 是一种特定的软件,它周期性地访问网络(或按需求访问)节点。数据在节点之间迁移的过程中能自动地处理数据(如数据融合)。文献[10]提出了一种利用 DD 来分配 MA 的算法。MA 访问的节点顺序除了第一个和最后一个源节点是由汇聚节点选择的,其余的访问节点都是由每个源节点邻居列表中决定的。MA 收集数据可能会经历多个轮次。最后 MA 将会携带数据的结果沿着加强的路径回到汇聚节点。

文献[11]同样是基于 MA 的 DD 改进,但在 MA 的路由迁移方面有所不同。通过组合最大最小路径节

点剩余能量和最小跳数两个度量,建立多向最优传输梯度。源节点通过发送两组不同的探测数据包来分别完成源节点的发现与 MA 迁移路由的建立。这样就保证在较小端到端传输延时的基础上有效地平衡网络能耗,从而延长网络的生存期。

1.6 数据聚合的 DD

在原始的 DD 中已有了数据聚合的概念,但仅仅是随机聚合。文献[12]提出了一种通过构造贪心增长树的方法来提高路径共享性的算法,实现了高密度无线传感网中节省能量的目的。贪心聚合的原理:只有第一个源节点到汇聚节点的路径上建立最短路径,其他节点都连接到最近的现存树的节点上。在贪心增长树提出后,文献[13]提出可以在密集无线传感网中采用轻量级 DD 定义本地规则来产生稀疏逻辑拓扑,DD 利用贪心增长树的数据聚合技术在这个拓扑上运行来减少洪泛的开销。通过每个节点随机选择 c 个邻居,通过 hello 分组和邻居通信,没有被选中的传感器节点可以周期性地休眠。

1.7 基于分簇的 DD

DD 是一个典型的平面路由协议,但在大规模网络中平面协议的洪泛带来的巨大开销限制了 DD 的使用,因此在文献[14]中提出了被动分簇的改进方法。被动分簇是一个随机创造和维护的分簇拓扑,它抑制使用精确控制消息来维护拓扑而把大部分信息用在数据分组交换上,有效权衡了子集的维护和开销。同时定义 3 种类型的节点:普通节点,簇头节点,网关节点。兴趣消息仅在簇头节点和网关节点之间洪泛。同样采用分簇思想的文献[7]则利用簇头节点保持成员信息,以此来决定是否转发兴趣消息到簇集合中。分簇机制需要在洪泛兴趣消息前加入一个分簇形成阶段。

2 DD 路由的结构化分层模型

文献[2]中已有意识地提出了一个在 DD 协议运行过程中各环节可选措施的总结。现在整合第一节的内容对该表进一步改进,如表 1 所示,表 1 称为 DD 的过程平面。表1把DD各个运行阶段独立开来,分别

表 1 DD 的过程平面

运行阶段	可选策略
兴趣扩散	洪泛
	特定洪泛;利用地理信息、逻辑拓扑、分层机制
探测数据传输	基于数据缓存的直接数据传输
	移动代理,数据聚合技术
梯度建立	建立能量梯度,数据梯度,时延梯度
	指向邻居的数据传输速率梯度
梯度加强	加强标准,加强方法
	负加强机制

提供各种供参考的可选策略,研究人员只需集中精力对特定阶段的策略进行独立分析。

2.1 引入目的平面的 DD

借助过程平面可以直观地了解 DD 的各阶段和可选策略。但无线传感网路由协议的制定要根据网络的实际要求来设计,即必须基于具体应用,因此不仅要掌握协议的过程,还要从协议改进的目的及相应的算法进行分析,引入目的平面,如表 2 所示。表 2 列出了 3 个改进的热点,并分别提供了不同的算法作为参考,同时为方便理解列出了关键技术。

表 2 DD 的目的平面

改进目的	具体算法(关键技术)
能量效率	1.1 基于梯度的受限扩散改进 (广度、深度扩散,地理位置信息)
	1.2 基于 Gossip 的扩展 DD 协议 (基于概率的逻辑拓扑,地理位置信息)
	1.3 可区分的能量效率 DD 协议(最大努力进行交付)
	1.5 基于移动代理的 DD(MA、MA 迁移顺序,数据融合)
	1.6 数据聚合的 DD(数据聚合,逻辑拓扑)
	1.7 基于分簇的 DD(大规模网络,分簇)
时延性能	1.3 可区分的能量效率 DD 协议(实时交付)
安全性能	1.4 在安全性能上改进的 DD(LKHW,单向哈希密钥链)

2.2 引入可编程路由框架

现在 DD 的研究可以借助过程平面和目的平面两个维度,但是并未涉及节点的路由服务结构。文献[15]给出了 DD 节点的路由模块结构,文献[16]以无线传感网路由服务的自适应性为目的,提出了一个可编程的路由框架模型。这个框架包括了一个通用路由服务和一个自动部署的服务。通用的路由服务允许引入不同的服务、可调参数和可编程部件。部署服务通过传感网自动能量效率的方式完成通用路由服务的调试工作。这种部署服务可以根据上层应用的要求为不同模块选择不同配置,并将这些配置信息传达到整个网络,保持一致性。这样实现了拥有自配置能力的传感网路由服务。

利用 DD 原有的路由模块结合可编程部件的思想,引入图 1 所示节点路由框架结构。图 1 中浅色的盒子是在部署路由服务前预配置的代码,深色的盒子是路由服务可编程部件。

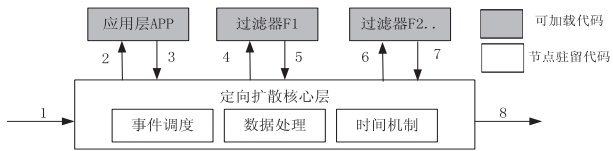


图 1 节点路由框架结构

2.3 引入拓扑控制模型

对 DD 的研究发现网络的可靠运行与拓扑结构息

息相关。一定范围内节点分布分为:均匀分布,随机分布和聚合分布。文献[17]从昆虫种群的分布模式中得到启发,介绍了空间分布模型,并从空间分布模型中促进和优化了族群成员的通信。另外,原始 DD 适用于少量汇聚节点(一般默认为仅有 1 个汇聚节点)从传感网的多个源节点获取信息。但若有多源节点和多个汇聚节点,源节点仅偶尔产生数据或持续产生数据,则原始 DD 很难适用于这样的环境。文献[18]从以上两点进行研究,提出了 DD 协议族,即原始 DD、一阶段推送 DD 和一阶段拉 DD。还有一种情况,是汇聚节点移动,文献[19]利用自学习的思路提供了相应解决方式。最后,还应结合环境因素对拓扑结构作出综合评估适当调节 DD 的各项参数。综上,文中提出一个拓扑控制平面(如图 2),以便对 DD 进一步研究。

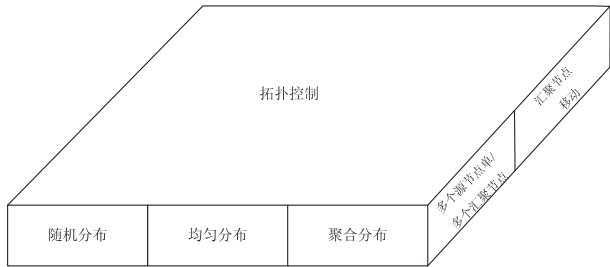


图 2 拓扑控制模型

2.4 小结

这一节分别从过程平面、目的平面、路由框架结构 3 个平面立体式地对 DD 进行了剖析,从不同角度入手对 DD 路由模型的研究提供了指导依据。另外又提出了 DD 的拓扑控制模型,该模型在路由模型之下,对路由协议运行的效率有很大影响。至此便形成了 DD 路由的结构化分层模型。

3 能量多路径梯度加强 DD

这节将提出一种按照 DD 路由结构化分层模型的研究方法对 DD 进行改进的算法。考虑环境因素对拓扑的影响,在环境因素不稳定的条件下,无线传感网节点的通信拓扑将变得十分脆弱,DD 必须增加兴趣洪泛频率来保持网络的可靠性。高频洪泛虽然提高了可靠性但节点能耗大大增加,原始 DD 缺乏对网络生存性的监控,容易导致网络节点快速死亡。

文献[20]提出了一种能量多路径路由机制,该机制根据路径上节点的通信能量消耗以及节点的剩余能量情况,给每条路径赋予一定的选择概率,使得数据传输均衡消耗整个网络的能量,延长整个网络的生存期。性质上 DD 算法是以数据为中心的,而能量多路径路由算法是从能耗出发。但从 DD 过程平面的角度分析,能量多路径算法的基本思路也是对洪泛的原始过程进行改进。可以将能量多路径的思想应用在 DD 兴

趣洪泛阶段建立节点通信能耗及剩余能量的选择概率,依据此概率作为路径加强时选择的标准,以达到提高能量效率,延长整个网络生存期的目的。

3.1 算法

(1) 为了便于研究,假设路由拓扑是均匀分布,均为静态节点,只有单个汇聚节点且有多个源节点。

(2) 在兴趣扩散广播阶段。在兴趣扩散分组中包含一个代价域,表示某类数据包从源节点到该节点的能量信息。初始值设置为零。

(3) 当节点转发数据包时需要计算新的代价值来替换原来的代价值。当路径建立 C 类数据包从节点 Na 发送到节点 Nb 时,该路径的通信代价值为节点 a 的代价值加上两个节点间的通信能量消耗,即:

$$C_{Na,Nb} = \text{Cost}(Na) + \text{Metric}(Na,Nb)$$

其中 $C_{Na,Nb}$ 表示 C 类数据包从汇聚节点经由节点 Na 发送数据到 Nb 节点的代价, $\text{Metric}(Na,Nb)$ 表示节点 Na 到节点 Nb 的通信能量消耗和节点剩余能量的综合度量标准,是 e, R 的函数, e 是两个节点之间直接通信的能量消耗, R 表示节点的剩余能量。这个度量标准综合考虑了节点的能量消耗以及剩余能量。

(4) 节点为邻居表中每个下一跳节点计算选择概率,此概率用作将来路径加强的选择标准。节点选择概率与能量消耗成反比。节点 Na 使用如下公式计算选择节点 Nb 的概率:

$$P_{Na,Nb} = \frac{1/C_{Na,Nb}}{\sum_{k \in FT} 1/C_{Na,Nk}}$$

(5) 节点根据路由表中每项的能量代价和下一跳节点选择概率计算本身到数据源节点的代价 $\text{Cost}(Na)$ 。 $\text{Cost}(Na)$ 定义为经由汇聚节点到达节点 Na 的代价的平均值,即:

$$\text{Cost}(Na) = \sum_{k \in FT} P_{Na,Nk} C_{Na,Nk}$$

节点 Na 将用 $\text{Cost}(Na)$ 替换消息中原有的代价值,然后向邻居节点广播该路由建立消息。

在兴趣扩散阶段建立了通信能耗和剩余能量的概率标准。梯度加强阶段,汇聚节点根据邻居依据梯度发来的探测数据和邻居概率标准选择一个节点,依此类推。本节提出的能量多路径梯度加强 DD 综合考虑了通信路径上的消耗能量和剩余能量,DD 在兴趣扩散阶段加入代价域并进行概率的计算,对协议改动非常小,但却提供了基于能量效率概率的梯度加强标准,实现整个网络的能量平稳降级,延长了网络的生存期。

3.2 性能分析

借助关键性能指标,这小节对原始 DD 和能量多路径加强 DD 做简单的性能分析。包括发送一个数据分组的平均端到端时延和从所有源节点到汇聚节点一

个完整轮次转发的数据分组的通信能量消耗。文献 [21] 指出在无线传感网中通信代价占主导地位且是计算代价的 3 个数量级,在此忽略计算上的能量消耗。

T_1 和 T_2 分别是 DD 和改进算法的端到端时延。 H 代表所有源和汇聚节点在网络中的平局跳数。 S_{data} 是数据包大小,而 S_h 是首部大小。 V_n 代表 MAC 层数据率。 t_{ctrl} 是控制消息的总时延。DD 中多个数据同时传输可能造成信道的拥塞而增加了额外的数据重传时延,特别是源节点的数量很多的时候。 t_{access} 是 DD 平均传输一个数据包成功的时延。 T_r 是路径加强的平均时延, n_{data} 是任务中传送到汇聚节点数据包的数量。DD 的端到端时延如下:

$$T_1 = \frac{T_r}{n_{\text{data}}} + \left(\frac{S_{\text{data}} + S_h}{V_n} + t_{\text{ctrl}} + t_{\text{access}} \right) * H \approx \left(\frac{S_{\text{data}} + S_h}{V_n} + t_{\text{ctrl}} + t_{\text{access}} \right) * H \quad (\text{if } n_{\text{data}} \geq 1)$$

在改进算法中,仅在首部增加了代价域 $C_{Na,Nb}$,对 S_h 首部大小影响非常小,还需要除以 V_n ,在时延这方面的影响几乎可以忽略。即: $T_1 \approx T_2$ 。

E_1 和 E_2 分别是 DD 和改进算法的能量消耗。 m_{tx} 和 m_{rx} 代表发送和接收一个比特的能量消耗。 b 是传输一个数据包的固定能量开销。 e_{ctrl} 是控制消息成功传输的能量消耗。 e_{retr} 是数据包在拥塞情况下成功传输的能量消耗。DD 的能量消耗如下:

$$E_1 = ((S_{\text{data}} + S_h) * (m_{\text{tx}} + m_{\text{rx}}) + b + e_{\text{ctrl}} + e_{\text{retr}}) * H * N$$

在改进算法中,仅在首部增加了代价域 $C_{Na,Nb}$,对 S_h 首部大小影响很小,即使乘以参数后放大也不会影响能量效率,即: $E_2 \approx E_1$ 。

4 结束语

经过以上论述,文中提供了基于 DD 改进的丰富的实例,而且根据这些已有成果,通过文献对比和分析对 DD 的各项机制进行了深入的研究,提出了 DD 路由结构化的分层模型。第三节依据此模型的研究模式,考虑环境对拓扑的影响,着手于梯度加强策略,从能耗入手以延长网络生存期为目的,提出了能量多路径梯度加强 DD,从理论上给出了此模型的一个有效应用。

在未来的研究中,实际应用或仿真环境将被引入,使 DD 路由的结构化分层模型不断迭代,使其更具有一般性意义以便加快无线传感网路由协议的研究与开发。另外,能量多路径梯度加强 DD 仍处于理论研究阶段,下一步将致力于在仿真环境下实现和完善这一改进算法并对算法的各项性能做出分析和总结。

参考文献:

[1] 孙利民,叶 驰,廖 勇. 传感器网络的路由机制[J]. 计算机科学,2004,31(3):50-54.

[2] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks[C]//Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. [s. l.]:[s. n.],2000:56-67.

[3] 任 彪,柳立峰,马 建. 无线传感器网络中定向扩散协议的改进算法[J]. 电子与信息学报,2006,28(3):563-566.

[4] 李应娣,单志龙. 无线传感器网络定向扩散路由协议研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(9):40-43.

[5] 赵 奇,王汝传,孙力娟. 无线传感器网络定向扩散协议研究及改进[J]. 计算机工程与设计,2007,28(12):2825-2828.

[6] Tang Junhua, Dai Sisi, Li Jianhua, et al. Gossip-based scalable directed diffusion for wireless sensor networks[J]. Int. J. of Communication Systems,2011,24(11):1418-1430.

[7] Chen M, Kwon T, Choi Y. Energy-efficient differentiated directed diffusion (EDDD) in wireless sensor networks[J]. Computer Communications,2006,29(2):231-245.

[8] Di Pietro R, Mancini L V, Law Y W, et al. LKHW: a directed diffusion-based secure multicast scheme for wireless sensor networks[C]//Proc. of 2003 International Conference on Parallel Processing Workshops. [s. l.]:[s. n.],2003:397-406.

[9] Wang E K, Hui L C K, Yiu S M. Authenticated Directed Diffusion[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Cryptology and Network Security. [s. l.]:[s. n.],2008.

[10] Min C, Kwon T, Yong Y, et al. Mobile agent-based directed diffusion in wireless sensor networks[J]. Journal on Applied Signal Processing,2007,2007(1):219-219.

[11] 姜 飞,史浩山,徐志燕,等. WSNs 中基于能量均衡定向扩散的移动 Agent 路由算法[J]. 西北工业大学学报,2010,28(6):898-905.

[12] Intanagonwiwat C, Estrin D, Govindan R, et al. Impact of network density on data aggregation in wireless sensor networks[C]//Proc. of 22nd International Conference on Distributed Computing Systems. [s. l.]:[s. n.],2002:457-458.

[13] Marcucci A, Nati M, Petrioli C, et al. Directed diffusion light: low overhead data dissemination in wireless sensor networks[C]//Proc. of 2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference. [s. l.]:[s. n.],2005:2538-2545.

[14] Handziski V, Köpke A, Karl H, et al. Improving the Energy Efficiency of Directed Diffusion Using Passive Clustering[J]. Lecture Notes in Computer Science,2004,2920/2004:172-187.

[15] NS 中文手册[M]. 出版地不详: NS 手册翻译小组,2007.

[16] He Yu, Berson S, Braden B. A programmable routing framework for autonomic sensor networks[C]//Proc. of Autonomic Computing Workshop. [s. l.]:[s. n.],2003:60-68.

[17] Ma Zhanshan, Krings A W. Spatial Distribution Patterns, Power Law, and the Agent-based Directed Diffusion Sensor Networks[C]//Proc. of Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. [s. l.]:[s. n.],2008.

[18] Silva F, Heidemann J, Govindan R, et al. Directed Diffusion[R]. [s. l.]: USC/Information Sciences Institute,2004.

[19] Sayyad A, Shojafar M, Delkhah Z, et al. Improving Directed Diffusion in sensor network using learning automata: DDLA new approach in Directed Diffusion[C]//Proc. of 2010 2nd International Conference on Computer Technology and Development. [s. l.]:[s. n.],2010:189-194.

[20] Shah R C, Rabaey J M. Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks[C]//Proc. of Wireless Communications and Networking Conference. [s. l.]:[s. n.],2002.

[21] Carman D W, Kruus P S, Matt B J. Constraints and approaches for distributed sensor network security[R]. [s. l.]: NAI Labs,2000.

(上接第 94 页)

munications[J]. IEEE JSAC,2005,23(2):201-220.

[3] Peng C, Zheng H, Zhao B. Utilization and fairness in spectrum assignment for opportunistic spectrum access[J]. Mobile Networks and Applications,2006,11(4):555-576.

[4] 贾 杰,王 闯,张朝阳,等. 认知无线网络中基于图着色的动态频谱分配[J]. 东北大学学报(自然科学版),2012,33(3):336-339.

[5] 徐昌彪,刘雪亮,鲜永菊. 基于博弈论的动态频谱分配技术研究[J]. 电子技术应用,2012,38(4):102-105.

[6] 张新春,何世彪,葛利嘉,等. 基于频谱差异的动态频谱分配博弈算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2012,24(1):20-23.

[7] 刘振坤,鲜永菊,徐昌彪. 认知网络中基于竞价模型的频谱分配研究[J]. 计算机应用研究,2010,27(3):1006-1008.

[8] 张文柱,王凌云. 基于单频段多赢家拍卖的动态频谱分配[J]. 通信学报,2012,33(2):1-6.

[9] Wang W, Liu X. List-coloring based channel allocation for open-spectrum wireless networks[C]//Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference. Dallas, USA:[s. n.],2005:690-694.

[10] Mustafa Y, Nainay E. Island Genetic Algorithm-based Cognitive Networks[D]. Blacksburg, USA: Virginia Polytechnic Institute and State University,2009.

[11] 仲向远,金 敏,仲向前,等. 基于自适应遗传算法的蜂窝网络信道分配[J]. 计算机工程,2010,36(17):189-191.

[12] 朱冰莲,裴光术,张 磊,等. 认知无线网络中系统效益最大化的频谱分配[J]. 计算机工程,2012,38(3):107-109.

基于定向扩散路由的结构化分层模型

作者：[汤斯鹏](#)，[章韵](#)，[TANG Si-peng](#)，[ZHANG Yun](#)
作者单位：[南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

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

ISTIC

年，卷(期)：2013(8)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201308024.aspx