

内容中心移动自组网内容路由研究进展

杨鹏^{1,2}, 刘旋^{1,2}, 董永强^{1,2}, 冯程程^{1,2}

(1. 东南大学计算机科学与工程学院 南京 211189; 2. 计算机网络和信息集成教育部重点实验室(东南大学) 南京 211189)

【摘要】内容中心网络(CCN)具有兴趣驱动、异步交互、内置缓存以及多路径转发等特点,是移动自组织网络MANETs进行组网的理想候选者。因此,内容中心移动自组网(CCM)成为了当前的研究热点。该文介绍了CCM内容路由的概念模型,在此基础上详细阐述了先应式、反应式和机会式等类型的代表性内容路由方案,总结了当前CCM内容路由在广播分组、通信范型和缓存等方面亟待解决的问题,深入地展示了CCM内容路由的研究现状。

关键词 内容中心网络; 内容发现; 内容路由; 移动自组网

中图分类号 TP391 **文献标志码** A **doi**:10.3969/j.issn.1001-0548.2017.03.022

Research Progress on Content Routing in Content-Centric Mobile Ad Hoc Networks

YANG Peng^{1,2}, LIU Xuan^{1,2}, DONG Yong-qiang^{1,2}, and FENG Cheng-cheng^{1,2}

(1. School of Computer Science and Engineering, Southeast University Nanjing 211189;

2. Key Laboratory of Computer Network and Information Integration(Southeast University), Ministry of Education Nanjing 211189)

Abstract The distinctive features make content-centric networking (CCN) as a potential networking scheme for mobile ad hoc networks (MANETs), such as asynchronous communication paradigm, in-network caching and multi-path forwarding, and thus, content-centric mobile ad hoc network (CCM) is becoming a hot issue in the area of CCN. Firstly, a content routing model of CCM is introduced, and then the major content routing schemes are elaborated. Furthermore, the existing issues are concluded in terms of broadcasting and routing model. The work shows the current research progress on content routing in CCM.

Key words CCN; content discovery; content routing; MANETs

在无线环境下, MANETs受信号干扰、路径损耗、多径衰落和遮蔽效果等影响,易造成分组的丢失和错误,同时,节点的频繁移动和间歇性连接以及网络拓扑的动态变化,进一步加剧了MANETs的组网挑战。另外,为了确保和IP协议栈的兼容,当前MANETs路由协议采用面向主机节点和端到端的原则,假定在某一时间间隔内任意节点间存在至少一条完整的端到端通信路径,然而,这种假设从本质上与MANETs场景特点不匹配。

CCN/NDN(named data networking)^[1]是一种基于Clean Slate思路的未来互联网体系结构。它采用兴趣驱动的异步交互通信范型,通信双方无需建立和维护端到端的持续连接。同时,位置无关的内容命名容易处理节点的移动性问题,而泛在的内置缓存机制也使得网络节点能够充分利用无线媒介的广播特性来监听和缓存内容,进而减少冗余请求和降低

内容访问时延,因此,CCN不仅适用于未来互联网骨干网组网,而且还是MANETs组网的理想候选者。

近年来涌现了许多基于CCN的MANETs组网相关研究工作,逐渐形成了一个全新研究方向——CCM。然而到目前为止,针对CCM内容路由研究进展的综述文献相对较少,仅有文献[2]综述了内容中心无线组网的研究现状,但在内容路由方面只是粗粒度梳理,以及文献[3]分析了内容中心车联网所面临的挑战。

因此,本文在介绍CCM内容路由的概念模型之后,详细阐述CCM内容路由的研究进展,旨在深入缕析CCN对MANETs组网的可适性,为CCM内容路由进一步研究提供借鉴和参考。

1 CCM内容路由的概念模型

为了准确阐述CCM内容路由,首先介绍CCM内

收稿日期: 2016-01-08; 修回日期: 2016-04-15

基金项目: 国家自然科学基金(61472080, 61672155); 国家863项目(2013AA013503); 江苏省未来网络前瞻性研究项目(BY2013095-2-06)

作者简介: 杨鹏(1975-), 男, 副教授, 主要从事未来互联网体系结构等方面的研究。

容路由的概念模型, 它由CCN的基本通信范型以及缓存、节点和Retrieval子模型构成, 可以用四元组(基本通信范型, 缓存, 节点, Retrieval)表示。本文将使用源节点Consumer和目的节点Provider表示通信双方, 使用Sender和Receiver表示多跳传输中每一跳的发送方和接收方。

CCN采用兴趣驱动的基本通信范型, 用二元组(Interest分组, Data分组)来表示, 其中, Interest分组和Data分组一一对应, 即Consumer发送包含所请求内容命名的Interest分组, 而Provider根据内容命名响应与其对应的Data分组以满足Consumer的请求。

缓存子模型可表示为(缓存放置, 缓存更新), 负责内容缓存放置和缓存空间更新。CCN采用具备自我标识和自我认证的缓存自治单元Chunk, 并根据内容属性、节点状态以及上层应用需求来调整相应缓存策略以加速内容发现和分发。

节点子模型可表示为(CS, PIT, FIB), 其中, CS(content store)负责短期存储内容副本以就近满足未来相同请求, PIT(pending interest table)负责记录Interest分组转发状态以逆向转发Data分组至Consumer, FIB(forwarding information base)负责具体转发Interest分组。

Retrieval子模型负责在既定缓存和节点子模型下由若干中继节点执行分组协同转发, 可表示为(内容发现, 内容分发), 其中, 内容发现是指利用Interest分组发现网内相匹配内容并在返回Data分组的同时携带内容所在节点标识或位置信息的过程, 而内容分发指的是利用内容发现返回的信息继续获取内容的过程。

2 CCM内容路由分类与方案

综合分析近年来CCM内容路由的相关工作, 根据内容发现策略的差异, 可以将CCM内容路由分为先应式内容路由、反应式内容路由和机会内容路由等3类。

其中, 先应式内容路由需要周期性宣告内容命名前缀或位置信息, 以便全网节点都能维护转发路径, 但由于宣告开销较大, 所以关注度较少, 大多数工作主要围绕反应式内容路由和机会内容路由展开。反应式内容路由无需主动宣告, 而是按需或受控泛洪Interest分组以发现内容。而在间歇性连接的MANETs场景下, 机会内容路由采用“存储-携带-转发”的路由分发模式。根据这3种分类, 下面详细介绍各自具有代表性的内容路由方案。

2.1 先应式内容路由

在先应式内容路由中, 内容源主动向全网宣告内容命名前缀或位置信息, MobileCCN^[4]是最简单的代表方案。和IP路由相类似, 内容源节点宣告内容命名前缀, 节点维护内容路由转发表FIB并周期性的泛洪更新。Consumer发出Interest分组请求, 中间节点根据FIB转发至内容源, Data分组根据PIT表逆向转发。

文献[5]认为泛洪所有内容前缀会造成巨大网络开销, 需要对不同类型的内容应采取相应内容路由, 尤其是在节点密集的VANETs场景下, 所以提出了仅利用布隆姆过滤器BF对流行内容的命名前缀进行压缩泛洪的BFR协议。

在动态网络中, 宣告命名前缀会造成巨大开销, 而数据源的移动也会导致前缀难以汇聚和管理, 这样先应式路由由低时延的优势完全被维护路由信息代价抵消^[6], 所以先应式内容路由仅适用于拓扑相对稳定且规模较小的MANETs。

2.2 反应式内容路由

反应式内容路由通过泛洪Interest分组来发现内容, 并在随后的内容分发阶段实现具体数据传输。

文献[7]直接使用CCN的基本泛洪转发策略实现战术MANETs中热门内容的分发, Consumer直接泛洪Interest分组直至发现内容, 而Data分组根据节点PIT状态信息被逆向转发回Consumer, 这种方案简单易行, 但极易造成冗余分组及相邻节点间的信道竞争。

LFBL^[8-9]引入类似于IP路由表的距离表DT, 主要记录当前节点到其他终端节点的距离信息以驱动分组转发, 如图1所示。Consumer泛洪Interest分组发现内容, 中继节点根据分组头部srcDist信息感知其到Consumer的距离并更新DT, 而逆向转发的Data分组与内容分发阶段的Interest和Data分组都采取距离感知转发策略来判断选择合格转发节点以执行转发, 图1中有阴影节点即为合格转发节点。LFBL是Receiver驱动且与拓扑完全无关的转发协议, 由单跳Receiver节点自主决策分组转发, 无需和邻居节点及Sender节点进行交互, 但内容分发的性能完全依赖于距离尺度的选取。

CHANET^[10-11]引入内容源表CPT来记录Provider及其距离信息, 以便节点感知距Provider的最佳路径执行转发。而E-CHANET^[12]和CCVN^[13-14]分别在CHANET协议基础上针对具体场景进行适应性改善, BREB协议^[15]增添路由恢复功能, 当检测

到最佳转发路径失效时, 动态调整为次优路径并重新构建转发路径。

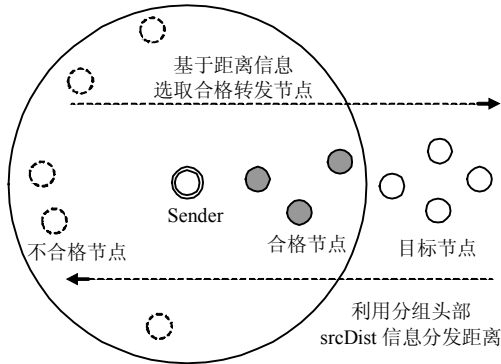


图1 LFBL内容路由^[9]

文献[16]利用节点地理位置信息进行迭代转发, 图2展示了一次完整的迭代转发过程。在每一跳, Sender将空间划分为4个方位象限, 然后向周围邻居一跳广播Interest分组, 若没有请求的内容, Receiver返回包含地理位置信息的ACK分组。Sender根据ACK分组返回的统计信息在每个象限中选取一个中继节点, 并通过CMD分组将该列表再次一跳广播, 图2d中的黑色节点就是所选节点, 这些节点负责第二轮的迭代转发, 直到发现内容为止, Provider根据Interest分组携带的转发路径历史信息逆向转发。该方案能够有效减少冗余的Interest分组, 但同时也降低了发现内容的概率。

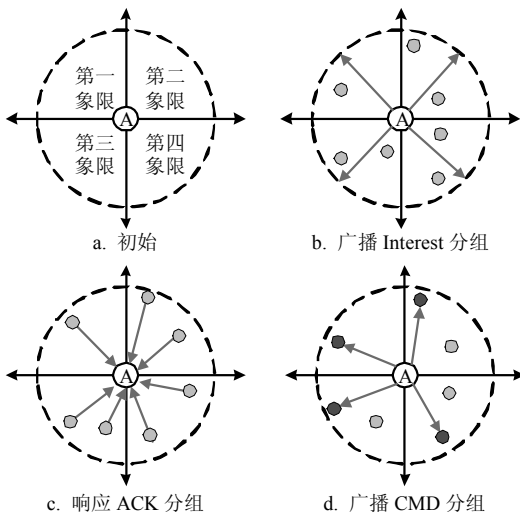


图2 迭代转发过程^[16]

文献[17]在内容命名中嵌入地理位置信息, 策略层感知上层命名语义执行分组转发, 这与当前CCN无感知转发相佐, 而且仅适用于位置相关的应用。而Navigo^[18]支持所有类型应用, 采用MGRS划分地理区域, 每个区域对应唯一标识符geo-area。Data分组携带内容所在geo-area逆向返回时, 沿路节点绑定

命名前缀和geo-area, 从而根据目标区域来计算最短路径并转发Interest分组。由于当前CCN转发模块不能直接支持geo-area, 采用接口GeoFaces作为中介来绑定命名前缀和geo-area, 引入了额外绑定开销。

BLOOGO^[19]利用BF压缩邻居节点信息 $N_b(x)$, 并周期性的与信号覆盖范围内的其他节点交换信标, 使得节点能够感知其邻居信息, 利用邻居节点间的包含关系实现分组转发。MADN^[20]计算效应函数 $D_{ij} = |N_b(i)/N_b(j)|$, 选择覆盖范围邻居节点最多的节点执行转发。由于BF是一种概率型集合压缩工具, 会出现false positive现象, 降低了转发的精确性。RUFs^[21]同样利用信标感知邻居信息, 但节点维护的是最近满足的Interest请求列表RSL(recent satisfied list), 并周期性的与邻居节点交换, 最终每个节点维护最近被邻居节点满足的Interest请求列表NSL(neighbors satisfied list), Receiver统计NSL中的信息利用多标准决策方法进行邻居节点的排序, 选择最高优先级的节点转发分组。节点间的RSL周期性交换会造成极大的分组开销。

反应式内容路由按需泛洪分组以发现内容, 能够在拓扑频繁改变的情形下提高路径准确性, 并且能够快速发现最近的内容缓存副本。另外, 无需网内保存过多命名前缀或内容位置等状态信息, 提高路由可扩展性。但同时也容易发生缓存分割问题, 即on-path缓存容易被部分内容耗尽, 需要频繁泛洪分组发现其他剩余内容^[22]。

2.3 机会式内容路由

先应式和反应式内容路由都存在主动的内容发现过程, 但为了避免内容发现泛洪所造成的开销以及拓扑高度变化导致的路由失效, 需要采用被动内容发现和分发机制, 即机会内容路由。与反应式和先应式内容路由最大区别在于其采用单跳通信机制且不需要泛洪, 适用于间歇性连接的MANETs。

LER^[23]利用节点间的相遇广播Interest分组以交换各自内容和位置信息, 记录最近相遇列表信息LET, 然后根据LET辅助执行贪婪地路由。

如果节点不能直接与内容源节点相遇, 则可以通过与内容源节点相遇概率更高的代理节点来执行分组转发, 文献[24]提出一种委托一跳邻居节点agent节点取回完整内容的方案, 利用节点移动的时空周期性规律选择agent节点, 扩大Consumer的内容发现范围, 同时提高内容取回率。

文献[25]利用Data mule节点周期性地发送

Interest请求以提前缓存其他车辆未来有可能需要的内容,一方面充当临时Provider,另一方面作为中继转发节点扩大内容传播范围。显然,该方案的效率取决于对Data mule的预取内容准确度及具体的应用分发需求。

STCR^[26]利用节点间的社交关系来辅助机会内容路由,通过节点间的相遇频率和新鲜度计算节点的社会关系,在节点相遇时交换本地社交关系表并更新,中心度^[27]低的节点利用BF压缩命名前缀向中心度高的节点进行宣告。在内容发现阶段,根据中心度的分布特性使用K-mean聚类算法将节点划分为若干簇,以形成不同中心度的社交层次,Interest分组由低层次向高层次的相遇节点转发。在内容分发阶段,直接利用节点的社交关系转发分组,由节点的社交关系表和K-mean聚类算法构建社交关系层次,并向更高层次的相遇节点转发Interest分组,Data分组按同样方式转发。

通常随机游走的节点与中心度较高的节点的相遇概率要高于其他节点, SACR^[28]利用一组移动节点周期性地分发随机游走分组,并统计节点的中心度值。STCR和SACR都只考虑单个社区^[29]的内容路由,而STCRC^[30]则考虑社区间内容路由。

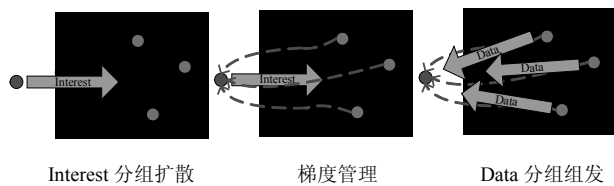


图3 STIR转发过程^[31]

受蚁群觅食寻找最佳路径的启发, STIR^[31]利用梯度场的概念进行机会内容路由,根据节点间的时空相关性构建Provider到Consumer的梯度场,形成延迟最小的虚拟传输路径,图3展示了STIR的Interest分组扩散、梯度管理和Data分组转发的3个阶段。使用标量值 $U(c, n)$ 定义每个节点 n 对于内容 c 的效用,反映了Consumer对该节点在时空维度上的关系。而SIR^[32]采用时空演化图对动态路径的延迟和跳数尺度进行定义,扩展 $U(c, n)$ 为二维效用。STIR和SIR都面临收敛速度慢的缺陷,导致起始路径的准确性较低。

机会内容路由利用节点携带Interest和Data分组,并在与其他节点相遇时转发分组,虽然这种“存储-携带-转发”路由模式能够显著减少反应式泛洪请求和先应式前缀宣告造成的开销,但同时也会导致极大的传输时延,所以这类路由方案仅适合于时

间不敏感的应用场景。

3 存在的问题与挑战

总的来说,当前针对CCM的内容路由正处于方案设计及协议原型验证阶段,一方面,缺乏理论研究和性能分析,亟需对内容路由问题本身的数学建模、协议的形式化描述以及协议原型的性能分析等方面进行深入研究。另一方面,多数内容路由方案并未考虑如何在动态拓扑场景下取得QoS保障,而仅通过如Matlab和NS等仿真平台进行可行性验证和分析,缺乏相应的试验床来验证其在真实环境下的性能。除此之外,CCM内容路由面临如下技术挑战,亟需进一步研究。

广播分组方面:无线信道的广播特性能够充分发挥CCN多路径转发^[17]的优势,所以目前大多数CCM路由方案利用广播传输,然而,由于MAC层不支持RTS/CTS控制分组,所以链路层广播是不可靠传输,不能解决隐藏终端问题。因为没有应答机制,需要高层提供额外的处理机制,必然导致额外的网络资源和能源消耗,甚至可能造成网络拥塞,进一步恶化网络性能,特别是在节点密集的网络环境下。广播传输需要所有邻居节点解码各自接收的分组,增加了能耗,该问题在能源受限的手持终端中显得尤为突出。多个内容源同时响应请求会进一步引发信道争用和分组碰撞,严重影响高密度MANETs的网络性能^[33]。无线广播信道中频繁的信道争用和分组碰撞容易造成冗余和开销,甚至形成广播风暴,亟需相应的冲突避免机制。

通信范型方面:Interest分组必须和Data分组一一对应,使得Interest分组转发过程中很有可能与上次请求的Data分组争用无线广播信道并发生信号干扰,所以需进一步研究Interest和Data分组的管理策略,以减轻这种通信范型造成的转发干扰现象。节点接收的每一个Interest和Data分组都需要经过PIT和FIB的处理,所以还需要提高PIT和FIB表项管理、维护和搜索策略的效率。

缓存方面:内置缓存虽然能够加快满足相同内容的请求,但鉴于移动场景下资源(如能源、存储和链路等)的受限性,冗余的缓存副本也会造成资源浪费,需要进一步研究在资源受限条件下如何权衡内容路由和内置缓存的协同关系。节点的CS用来缓存内容,需要进一步研究高效缓存管理策略来利用节点有限内存空间,例如如何根据内容优先级、达到时间以及大小等因素设计CS中的内容存储时间。

4 结束语

本文介绍了内容路由概念模型,包括用户驱动的通信范型以及缓存、节点和Retrieval子模型,然后对当前CCM内容路由方案进行了汇总归类,从内容发现策略的角度划分为先应式、反应式和机会式3种内容路由类型,详细介绍了各自具有代表性的内容路由方案,最后从多个方面总结了当前CCM内容路由亟待解决的问题,为CCM内容路由的进一步研究提供了参考。

参 考 文 献

- [1] JACOBSON V, SMETTERS D K, THORNTON J D, et al. Networking named content[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies. New York, USA: ACM, 2009: 1-12.
- [2] AMADEO M, CAMPOLO C, MOLINARO A, et al. Content-centric wireless networking: a survey[J]. Computer Networks, 2014, 72: 1-13.
- [3] BOUK S H, AHMED S H, KIM D. Vehicular content centric network (VCCN): a survey and research challenges[C]//Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing. New York, USA: ACM, 2015: 695-700.
- [4] YAO Si-yu, ZHANG Xing-gong, LAO Feng, et al. MobileCCN wireless Ad-hoc content-centric networks over smartphone[C]//The 8th International Conference on Future Internet Technologies. New York, USA: ACM, 2013.
- [5] YU Y T, PUNIHAOLE T, GERLA M, et al. Content routing in the vehicle cloud[C]//Military Communications Conference, 2012-Milcom 2012. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2012: 1-6.
- [6] VARVELLO M, RIMAC I, LEE U, et al. On the design of content-centric MANETs[C]//2011 Eighth International Conference on Wireless on-Demand Network Systems and Services (WONS). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 1-8.
- [7] OH S Y, LAU D, GERLA M. Content centric networking in tactical and emergency manets[C]//Wireless Days (WD), 2010 IFIP. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 1-5.
- [8] MEISEL M, PAPPAS V, Zhang L. Ad hoc networking via named data[C]//Proceedings of the Fifth ACM International Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture. New York, USA: ACM, 2010: 3-8.
- [9] MEISEL M, PAPPAS V, ZHANG L. Listen first, broadcast later: Topology-agnostic forwarding under high dynamics [R]. Los Angeles, USA: UCLA Computer Science Department, 2010.
- [10] AMADEO M, MOLINARO A. CHANET: a content-centric architecture for IEEE 802.11 MANETs[C]//2011 International Conference on Network of the Future (NOF). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 122-127.
- [11] AMADEO M, CAMPOLO C, MOLINARO A. CRoWN: Content-centric networking in vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Communications Letters, 2012, 16(9): 1380-1383.
- [12] AMADEO M, MOLINARO A, RUGGERI G. E-CHANET: Routing, forwarding and transport in Information-Centric multihop wireless networks[J]. Computer Communications, 2013, 36(7): 792-803.
- [13] AMADEO M, CAMPOLO C, MOLINARO A. Content-centric networking: is that a solution for upcoming vehicular networks[C]//Proceedings of the Ninth ACM International Workshop on Vehicular Inter-Networking, Systems, and Applications. New York, USA: ACM, 2012: 99-102.
- [14] AMADEO M, CAMPOLO C, MOLINARO A. Enhancing content-centric networking for vehicular environments[J]. Computer Networks, 2013, 57(16): 3222-3234.
- [15] HAN H, WU M, HU Q, et al. Best route, error broadcast: a content-centric forwarding protocol for MANETs[C]//2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC Fall). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2014: 1-5.
- [16] LU Y, ZHOU B, TUNG L C, et al. Energy-efficient content retrieval in mobile cloud[C]//Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Mobile Cloud Computing. New York, USA: ACM, 2013: 21-26.
- [17] WANG L, AFANASYEV A, KUNTZ R, et al. Rapid traffic information dissemination using named data[C]//Proceedings of the 1st ACM Workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design-Architecture, Algorithms, and Applications. New York, USA: ACM, 2012: 7-12.
- [18] GRASSI G, PESAVENTO D, PAU G, et al. Navigo: Interest forwarding by geolocations in vehicular named data networking[C]//2015 IEEE 16th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM). Boston, MA: IEEE, 2015: 1-10.
- [19] ANGIUS F, GERLA M, PAU G. Bloogo: Bloom filter based gossip algorithm for wireless ndn[C]//Proceedings of the 1st ACM Workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design-Architecture, Algorithms, and Applications. New York, USA: ACM, 2012: 25-30.
- [20] ANGIUS F, BHIDAY A, GERLA M, et al. MADN-multipath Ad-hoc data network prototype and experiments[C]//2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2013: 686-693.
- [21] AHMED S H, BOUK S H, KIM D. RUFs: RobUst forwarder selection in vehicular content-centric networks [J]. IEEE Communications Letters, 2015, 19(9): 1616-1619.
- [22] YU Y T, PUNIHAOLE T, GERLA M, et al. Content routing in the vehicle cloud[C]//2012 IEEE Military Communications Conference. Orlando, FL: IEEE, 2012: 1-6.
- [23] YU Y T, LI Y, MA X, et al. Scalable opportunistic vanet content routing with encounter information[C]//2013 21st IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2013: 1-6.
- [24] ANASTASIADES C, ALAMI E W E M, BRAUN T. Agent-based content retrieval for opportunistic content-

- centric networks[C]//Wired/Wireless Internet Communications. Cham, Germany: Springer International Publishing, 2014: 175-188.
- [25] WANG L, WAKIKAWA R, KUNTZ R, et al. Data naming in vehicle-to-vehicle communications[C]//2012 IEEE Conference Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2012: 328-333.
- [26] LU Y, LI X, YU Y T, et al. Information-centric delay-tolerant mobile ad-hoc networks[C]//2014 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2014: 428-433.
- [27] 李静茹, 喻莉, 赵佳. 加权社交网络节点中心性计算模型[J]. 电子科技大学学报, 2014, 43(3): 322-328.
LI Jing-ru, YU Li, ZHAO Jia. A node centrality evaluation model for weighted social networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2014, 43(3): 322-328.
- [28] LE T, KALANTARIAN H, GERLA M. Socially-aware content retrieval using random walks in Disruption Tolerant Networks[C]//2015 IEEE 16th International Symposium World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM). Boston, MA: IEEE, 2015: 1-6.
- [29] 毕娟, 秦志光. 基于概率主题模型的社交网络层次化社区发现算法[J]. 电子科技大学学报, 2014, 43(6): 898-903.
BI Juan, QIN Zhi-guang. Hierarchical community discovery for social networks based on probabilistic topic model[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2014, 43(6): 898-903.
- [30] LU Y, GERLA M, LE T, et al. Community aware content retrieval in disruption-tolerant networks[C]//2014 13th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2014: 172-179.
- [31] NGUYEN A D, SÉNAC P, DIAZ M. STIgmergy routing (STIR) for content-centric delay-tolerant networks[C]//LAWDN-Latin-American Workshop on Dynamic Networks. Buenos Aires, Argentina: HAL, 2010.
- [32] NGUYEN A D, SÉNAC P, RAMIRO V, et al. Pervasive intelligent routing in content centric delay tolerant networks[C]//2011 IEEE Ninth International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 178-185.
- [33] KIM D, KIM J, MOON C, et al. Efficient content delivery in mobile Ad-hoc networks using CCN[J]. Ad Hoc Networks, 2016, 36: 81-99.

编辑 税红