

面向信息中心容迟网的命名社区路由算法

许昱玮, 刘婷婷, 贾晓薇, 徐敬东

(南开大学计算机与控制工程学院, 天津 300071)

摘要: 提出一种基于命名社区的路由 (named-data-community-based routing, NDCR) 算法。NDCR 算法将网络中的所有节点划分入社区并为社区命名。当用户发出查询数据请求时根据社区名进行路由, 而当返回命名数据时根据节点的历史连接数据选择中继点。研究在模拟器 ONE 上验证了 NDCR 算法的性能, 并与 EPI (epidemic), FC (first contact), DD (direct delivery) 3 种已知路由进行了对比。实验结果显示, NDCR 的发送成功率为 46.5%, 仅次于 EPI, 高于 FC 和 DD, 而 NDCR 的平均开销不足 EPI 的 20%。研究结果表明, NDCR 具有良好的网络性能, 适用于以信息为中心的延迟容忍网络 (information centric delay tolerant network, ICDTN)。

关键词: 计算机网络; 延迟容忍网络; 信息中心网络; 命名社区; 路由算法

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2015)04-0344-06

Routing algorithm by named communities in information centric delay tolerant network

XU Yuwei, LIU Tingting, JIA Xiaowei, XU Jingdong

(College of Computer and Control Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: In this paper, we proposed a novel routing algorithm called named-data-community-based routing (NDCR). NDCR divided all the nodes into named communities. The requests sent by consumers would be routed by the names of communities, and the named data was also forwarded by the intermediate nodes which were selected according to history records. We validated our NDCR algorithm in the simulator ONE, and made performance comparison between NDCR and three well-known routing algorithms which were epidemic (EPI), first contact (FC) and direct delivery (DD). The results indicated that the delivery ratio of NDCR was up to 46.5%, which was slightly lower than EPI but higher than FC and DD, while the overhead of NDCR was only 20% of EPI. In summary, NDCR obtained a good network performance in information centric delay tolerant network (ICDTN).

Key words: computer network; delay tolerant network; information centric network; named community; routing algorithm

0 引言

随着计算机技术的不断进步, 移动设备日益普及。人们希望通过移动设备获取感兴趣的信息, 却并不在意信息存在何处。基于 TCP/IP 体系结构的互联网已不能适应这一新的应用需求, 因此信息中心网络 (information centric network, ICN) [1~2] 应运而生。ICN 以信息为中心, 其设计初衷是满足生产者 and 消费者之间信息的传递。

在现实生活中, 由移动节点组成的无线自组网动态性强, 例如车载网络。在这种网络环境下, 2 个

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金 (20110031110026, 20120031110035)

作者简介: 许昱玮 (1985—), 男, 讲师, 主要研究方向: 车载网络、无线网络与移动计算. E-mail: xuyw@mail.nankai.edu.cn

移动节点之间可能不存在路由通路，传统的互联网体系结构无法满足上述网络的路由需求。针对这一问题，有研究提出延迟容忍网络（delay tolerant network, DTN）^[3]。DTN 是由一些间歇连接的移动节点构成的网络，它采用存储-转发的方法，允许传输的延迟，从而提高传输成功率。

ICN 和 DTN 具有很强的相似性，它们都依赖网络内的存储，都支持后期名字与位置的绑定，都会产生能在网络中存储很长时间的数据包，都能够根据网络的连接情况灵活地进行路由，因此可以将这两个网络融合，形成 ICDTN^[4]。ICDTN 是以数据为中心的 DTN 网络，同时具有 ICN 和 DTN 的优点。DTN 下的路由是端到端的路由，不适应以数据为中心的查询；而 ICN 下的路由需要在拓扑稳定的网络中进行，不适应移动环境。目前，针对 ICDTN 的内容分发和数据查询已经有了一些研究成果。

MOGHADAM 等^[5]提出了 DTN 下的基于兴趣的内容分发算法，该算法的主要思想是为网络中的所有节点发送符合它们兴趣的数据。网络中的每个节点都拥有一些文件，通过潜在语义分析从文件中抽取节点的兴趣以及每个文件的特征。基于兴趣的内容分发算法通过节点间的随机接触能够将符合兴趣的大部分数据都送达该节点。然而，这种方式只根据节点的历史数据分析兴趣，忽略了节点产生的一些与之前兴趣差距较大的查询请求。因此这种内容分发算法不能全面满足节点的需要。

WANG 等^[6]提出了车载网络下的数据查找算法，在该算法下汽车作为移动节点，同时具有 3 种功能。首先是作为数据的发布者，产生并缓存数据。其次是作为数据的消费者，在网络中发布查询数据。最后，作为数据的中继，周期性的向周围车辆发送查询数据包，查询节点感兴趣的数据进行存储。同时，它还主动监听周围的传播媒介，搜集网络中的应答数据包进行存储。然而，车载网络下的数据查找算法是基于存储容量无限的假设，不适用于由便携移动设备组成的 ICDTN。

CCBR^[7]（a context and content-based routing）算法是应用在移动传感网络中的路由算法。它以内容为中心向感兴趣的节点发送相应的信息。该算法虽然能使接收端接收到感兴趣的信息，但是洪泛的方式会加大网络中的开销。当网络覆盖范围广时，由于移动节点间不能及时联系，会导致接收端的请求不能全部到达网络中的所有节点，从而使得移动节点发送的应答无法满足接收端的需求。

因此针对节点移动性强、兴趣变化频繁的 ICDTN，提出了命名社区路由算法，只依靠节点转发数据包，根据节点的社交信息进行路由，在网络开销小的前提下实现数据查询与应答的功能，具有重要的现实意义。

1 基于命名社区的路由算法

基于命名社区路由协议的主要思想是移动节点在移动过程中根据数据以及移动轨迹的相似度建立移动社区，通过计算移动社区中存在的数据找到最频繁的若干项作为移动社区的名字，将社区名字作为路由中数据转发的判断依据。其中，每个节点都拥有一个本地社区，本地社区中包含该节点和与该节点在同一个社区的其他节点，而当前节点的本地社区中其他节点也都有各自的本地社区，将这些本地社区的名字取交集得到当前节点移动社区的名字。这种方式使移动社区覆盖范围较广，信息较为全面。

1.1 命名社区路由的应用场景

所设定的应用场景是针对人们在不同商店中浏览商品时会分享一些数据，同时也会想要查询一些数据，比如商品信息。应用层的主要功能是生成携带商品数据以及生成查询数据。场景中有 2 类节点，分别是移动节点即人携带的移动设备，固定节点即建筑物。针对这 2 类节点，有 2 种类型的应用层。固定建筑物应用层的主要功能是为不同的商店配置其中的品牌等信息；移动节点应用层的主要功能是处理已

携带的数据,生成携带的数据以及生成请求数据包。此外,一个社区内的节点具有很高的逻辑和物理相似度,对相同兴趣的请求概率高而且将来再次相遇的概率较大,因此,如果社区内其他节点请求的应答数据经过当前节点传输,则当前节点缓存该数据。

1.2 移动社区命名

移动社区的名字必须能够代表这个社区所有节点的共同特征,因此采用出现频率最高的 K 个数据组件作为移动社区的名字。一个移动社区拥有多个本地社区,移动社区的名字由这些本地社区的关键字组成。因此,本地社区关键字的选取是关键。

一个本地社区内某一个数据组件出现的数量大约有 2 种情况:1)少数几个移动节点拥有大量的该数据信息,整体数据量大;2)多个节点都拥有该数据信息,数据在社区内分布广。如果只考虑第 1 种情况作为评判是否作为社区名字的标准,那么当只有少数几个节点拥有该数据时,将查询数据包发送到该社区后,很可能导致查询失败。相反,如果只考虑第 2 种情况,即社区内拥有数据的节点个数,而忽略了少量节点拥有大量相似数据的情况,这时由于该数据拥有的节点数量较少,不会作为移动社区的关键字,但实际上关于该数据的查询更应该发送到这几个节点上。

移动社区的命名在路由中有非常关键的作用,根据以上分析,采用将上述 2 种情况综合的方法,分别计算出数据出现的频率和拥有该数据的节点比例。而数据组建频率的计算公式如式(1)所示,当数据组件的频率大于阈值时,将该数据作为本地社区名字的一部分。命名的移动社区的名字是社区内每个节点本地社区关键字的并集。通过调节阈值的大小可以改变本地社区和移动社区关键字的数目。

$$F = F_{\text{data}} \times F_{\text{node}} \quad (1)$$

其中, F_{data} 和 F_{node} 分别为数据出现频率和拥有该数据的节点比例。

1.3 相似度计算

当 2 个移动节点发生连接时,需要计算 2 节点的逻辑和物理关系。逻辑关系是指 2 个移动节点所携带数据的相似度。物理关系是指 2 个移动节点移动轨迹的相似度,即 2 个移动节点相遇时间的比例。

移动节点在每一段时间的兴趣点可能不尽相同,因此在计算逻辑相似度时只使用最近一段时间内的数据。首先,获得 2 节点在最近一段时间内的数据,将一个数据分解成多个数据组件,分别用 2 个集合记录在 2 个节点中出现的的数据组件。比较 2 个集合的大小,如果都为 0,则 2 个节点的逻辑相似度为 0;否则,用 2 个集合的交集中元素个数除以 2 个集合并集中总元素的个数,即为这 2 个移动节点的逻辑相似度。

物理关系的计算过程如下:首先,找到当前节点与相连节点一段时间内相遇的历史记录,顺序遍历连接信息,通过累加得到 2 节点相遇的总时长,用相遇总时长除以时间段长度即为这 2 个移动节点的物理相似度。

逻辑相似度表示 2 节点在过去一段时间内数据的相似情况。物理相似度表示 2 节点在过去一段时间内的接触情况。总相似度是将逻辑相似度和物理相似度结合起来,作为是否划分为同一社区的标准。计算方法如式(2)所示。

$$U = \alpha U_{\text{log}} + (1 - \alpha) U_{\text{phy}}, \quad \alpha \in [0, 1], \quad (2)$$

其中, α 为调节 2 个相似度比例参数; U_{log} 和 U_{phy} 分别为逻辑相似度和物理相似度。

1.4 划分社区

每个移动节点都记录了社区内自身与其他节点的数据总和，通过分析这些数据得到出现频率最高的若干数据作为当前移动节点的名字即关键字。该关键字表明当前节点拥有的相关数据或者当前节点在未来很可能与拥有相关数据的节点发生接触，将对这些信息的查询转发到当前节点则会提高数据的查询成功率。当然，移动社区内节点存在一定时效，当经过很长时间，移动节点与其社区内某个节点没有再次发生联系，则将该节点删除。

当一个移动节点（即当前节点）与另一移动节点（即对端节点）发生连接后，需要进行社区划分。首先，判断对端节点是否已在当前节点的移动社区内，如果在，计算这 2 个节点的总相似度，如果该相似度小于阈值，则从社区中删除该节点以及该节点的相关数据，如果大于等于阈值，则更新该节点的相关数据包括相似度；如果不在，则用这 2 个节点一段时间内的总相似度判断，当总相似度大于阈值时，将对端节点加入当前节点的社区中，并更新当前节点的关键字等相关信息。对端节点也会进行相同的操作。当前节点对于移动社区内的节点也会进行周期性的衰减，从而保证移动社区的有效性。

1.5 转发策略

查询数据包与应答数据包的转发策略基本相似，以查询数据包为例说明。

为更清楚地描述转发策略，提出局部中心度和全局中心度这 2 个概念。查询数据的局部中心度是指请求数据的多个组件存在数量的最小值，即这些组件同时存在的数据数量的最大值。局部中心度更大即拥有该请求数据的数量多，因此请求的成功率更大。对过去一段时间内接触的节点拥有数据分析，可以得到查询数据的全局中心度，计算过程主要分为 3 步：第 1 步，通过查找历史连接记录，得到一段时间内有过连接的移动节点；第 2 步，查找这些节点社区内的信息，统计数据组件以及数据组件出现的总次数；第 3 步，分解查找数据，得到各数据组件，在第 2 步统计结果中找到各组件出现的次数，取最小值作为查询数据的全局中心度。

查询数据包转发策略的中心思想是向更有可能与拥有查询信息节点接触的节点转发数据包。首先，确定比较节点，如果查询数据包还没有确定转发连接，则由当前节点（旧节点）与当前连接的对端节点（新节点）进行比较；如果查询数据包已有转发连接，则由该转发连接的对端节点（旧节点）与当前连接的对端节点（新节点）进行比较。然后，分别判断旧节点和新节点的关键字集合是否包含该查询数据包的查询关键字，如果旧节点包含而新节点不包含，则不向对端节点转发该数据包；如果旧节点不包含而新节点包含，则向对端节点转发该数据包；如果旧节点和新节点都包含，则比较两者的局部中心度，向局部中心度更大的节点转发该数据包；如果旧节点和新节点都不包含，则比较两者的全局中心度，向全局中心度更大的节点转发该数据包。

2 仿真实验与结果分析

为证明 NDCR 算法的性能，采用针对 DTN 网络的仿真模拟器 ONE^[8]作为仿真软件，使用 3 个路由算法作对比，分别是：

- 1) EPI 采用多副本洪泛的方式，建立连接的双方交换对方不存在的数据包^[9]；
- 2) FC 采用单副本洪泛的方式，向第一个接触的节点发送所有的数据包^[10]；
- 3) DD 采用直接投递的方式，只有当遇到目的节点时才会发送数据包。

2.1 发送成功率的比较

指发送的请求数据包得到回应数据的比例。图 1 为在其他参数均相同的条件下，NDCR，DD，EPI

和 FC 的发送成功率的比较。有图 1 可以看出，数据包发送成功率最高的是 EPI 算法，其次是 NDCR 算法，再次是 DD 算法，最后是 FC 算法。出现上述结果的原因是 EPI 算法采用多副本洪泛的方式，它没有方向上的倾向性，在整个网络中发送查询数据包，理论上整个网络中的节点最终都会拥有相同的数据包，这种方式必定能得到很好的发送成功率。NDCR 算法在进行路由选择时根据社区的信息，向更有可能到达目的地的方向进行路由，通过明确的方向可提高路由的成功率。NDCR 算法成功率虽然不及 EPI 算法，但相差不多，因此 NDCR 算法在网络中的发送成功率比较好。

2.2 平均延迟的比较

网络平均延迟是指发送端接收应答包所花费时间的平均值。图 2 为 4 种算法的平均发送延迟。由图 2 可以看出，发送延迟最低的是 EPI 算法，其次是 NDCR 算法。EPI 算法的平均延迟是 NDCR 算法的一半左右，这是因为由于兴趣包的查询与应答包的转发都采用洪泛方式，而 NDCR 算法兴趣包的查询需要借助节点社区的名字评测是否要转发，当前节点遇到不合适的节点时继续携带数据。但是有些移动也具有随机性，因此路由算法判断为不适合转发的节点也有可能与目的节点相遇，在应答数据包的转发过程中也会遇到上述问题，这种情况的发生会导致 NDCR 算法携带数据包的时间较长，从而使平均延迟较大。

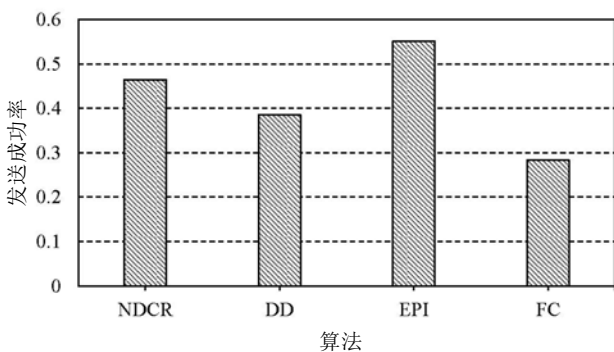


图 1 数据包发送成功率

Fig. 1 Success rate of sending packet

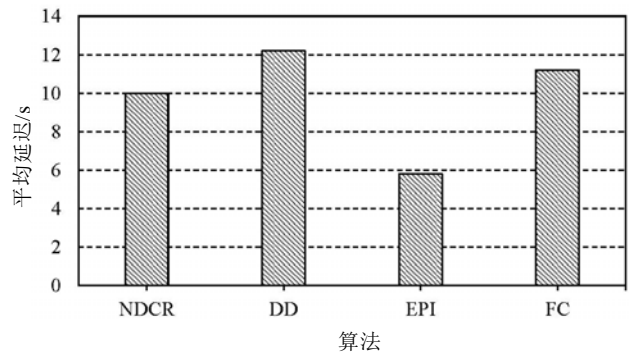


图 2 数据包的平均发送延迟

Fig. 2 Average sending delay of packet

2.3 平均开销的比较

图 3 为 4 种算法的平均开销。由图 3 可知，各路由算法的平均开销从小到大依次是：DD 算法、NDCR 算法、FC 算法、EPI 算法。DD 算法由于是单副本算法，在整个网络中没有副本存在，因此开销为 0。EPI 算法由于一旦接触节点就会转发数据包，导致一个数据包存在于大部分甚至整个网络的节点中，虽然数据包的成功传送率最大，但却远远难以弥补巨大的开销。FC 算法由于一次接触只将数据包发送到一个节点上，因此虽然开销也很大，但远远小于 EPI 算法。

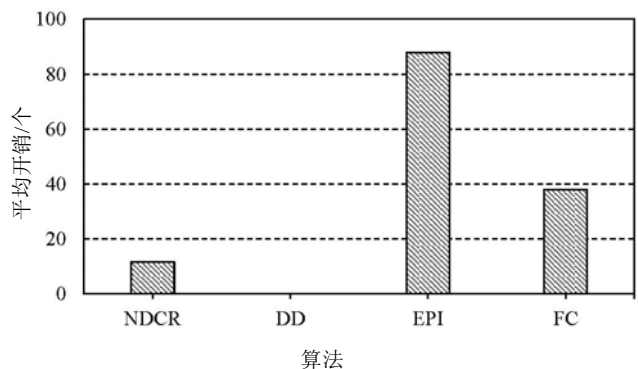


图 3 数据包的平均开销

Fig. 3 Average overhead of packet

NDCR 算法的平均开销远远优于 EPI 算法和 FC 算法。这是因为在选择节点作为中继节点时，NDCR 算法会根据社区的名称以及其他信息进行选择，不是盲目地转发副本而是有一定的方向性。由图 3 结果

可知，NDCR 算法在平均开销方面具有很好的表现。

3 结论

由于 ICDTN 更加灵活，能够实现依靠信息的查找，具有很好的发展方向，研究提出了在 ICDTN 下的路由算法，根据实际应用提出了商店应用场景，设计了报文的转发策略。最后，在 ONE 模拟器下与 EPI, FC, DD 算法进行对比，详细分析评测结果，根据主要的评测指标指出 NDCR 算法的优点。但该算法仍存在不足之处，因此，继续优化 NDCR 算法使得社区的划分能够合理快速，并且能够使请求节点很快查找到请求的数据，是未来的研究方向。

[参考文献] (References)

- [1] AHLGREN B, DANNEWITZ C, IMBRENDA C, et al. A survey of information-centric networking[J]. *Omnnaon. Magazn.*, 2012, 50(7): 26-36.
- [2] GHODSI A, SHENKER S, KOPONEN T, et al. Information-centric networking: seeing the forest for the trees[C]//*Proceedings of the 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks*. Cambridge, MA, United States: ACM, 2011: 1-6.
- [3] FALL K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[C]//*Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures and Protocols for Computer Communications*. Karlsruhe, Germany: ACM, 2003: 27-34.
- [4] TYSON G, BIGHAM J, BODANESE E. Towards an information-centric delay-tolerant network[C]//*Proceedings of the IEEE INFOCOM Workshop on Emerging Design Choices in Name-Oriented Networking*. Turin, Italy: IEEE, 2013: 387-392.
- [5] MOGHADAM A, SCHULZRINNE H. Interest-aware content distribution protocol for mobile disruption-tolerant networks[C]//*Proceeding of IEEE International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops*. Kos, Greece: IEEE, 2009: 1-7.
- [6] WANG L, WAKIKAWA R, KUNTZ R, et al. Data naming in vehicle-to-vehicle communications[C]//*Proceeding of IEEE Conference on Computer Communications Workshops (Infocom Workshops)*. Orlando, FL, United states: IEEE, 2012: 328-333.
- [7] CUGOLA G, MIGLIAVACCA M. A context and content-based routing protocol for mobile sensor networks[J]. *Wireless Sensor Networks*, 2009, 5432: 69-85.
- [8] 王朕, 王新华, 隋敬麒. 机会网络模拟器 ONE 及其扩展研究[J]. *计算机应用研究*, 2012, 29 (1): 272-277.
WANG Z, WANG X H, SUI J Q. Extending research for ONE simulator of opportunistic network[J]. *Application Research of Computers*, 2012, 29(1): 272-277. (in Chinese)
- [9] ZHANG X L, NEGLIA G, KUROSE J, et al. Performance modeling of epidemic routing[J]. *Computer Networks*, 2007, 51(10): 2867-2891.
- [10] JAIN S, FALL K, PATRA R. Routing in a delay tolerant network[J]. *Computer Communication Review*, 2004, 34(4): 145-158.