

移动性度量的移动时延容忍网络路由策略

张福全, 吴寅, 杨绪兵

(南京林业大学信息科学技术学院, 江苏南京 210037)

摘要: 对于DTN(delay tolerant networks)网络,节点的移动能力极大影响数据包在节点间的传递.最近的研究发现单单节点移动能力这一因子就会影响网络容量、安全性、连通性、网络覆盖等方面的网络性能,为此提出了一种基于局部节点移动能力,评价节点路由能力的方法.该方法对中继节点的中转能力评价只需要基于局部节点间的速度值进行计算,既不需要考虑节点移动模式,也不需要节点任何的历史或全局信息.这一特点使得该策略适用于计算能力有限的大规模网络应用.仿真结果表明,该方法提高了分组递交率,降低了端到端的平均时延和路由开销,有效地提高了网络的运行效率.

关键词: 时延容忍网络;路由协议;消息;实践应用;投递率

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.0253-2778.2019.02.008

引用格式: 张福全,吴寅,杨绪兵.移动性度量的移动时延容忍网络路由策略[J].中国科学技术大学学报,2019,49(2):132-137.

ZHANG Fuquan, WU Yin, YANG Xubing. A mobility evaluation routing protocol for delay tolerant networks[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2019,49(2):132-137.

A mobility evaluation routing protocol for delay tolerant networks

ZHANG Fuquan, WU Yin, YANG Xubing

(College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: DTN (delay tolerant networks) has the characteristic of communication-connection intermittence. Currently, more and more researchers focus on mobility and show that mobility is important to network connection and coverage in mobile wireless networks. A routing protocol that uses the mobility of nodes for evaluating the possibility of delivery is proposed. The evaluation is based only on the node speed without the requirement of any other information. Simulation results show that the proposed scheme performs better than those in related works.

Key words: delay tolerant networks; routing protocol; message; practical application; delivery rate

0 引言

在DTN(delay tolerant networks)网络中,源到目的节点的路径是时断时续的,因此使用存储转发模型来交付消息.每当遇到节点时,彼此建立链

接,此链接只在节点相互作用的持续时间范围内有效^[1].移动节点通过这种移动过程中出现的间歇性通信机会将消息转发给邻居节点,后者再不断转发,直到消息包送达目的节点为止.

目前DTN协议按照网络中存在的消息副本个

数可以分为单副本、多副本两种。单副本路由由于消息副本单一,具有系统开销低的特点。直接传输(direct transmission)^[2]是一种最简单的单副本路由。由源节点携带消息,一直到其发现目的节点时,才会将该消息转发给目的节点。源节点在首次联系(first contact)^[3]路由时,将消息转给最先遇到的节点携带。通过中继节点的转发完成投递。因为其盲目地只选择最先遇到的节点,并不对节点的中继能力做任何的评价,所以其投递率也不高,端到端的延时相对较大。

多副本路由:由于 DTN 网络具有时断时续的特点,单一消息副本在网络稀疏的情况下,可能会被孤立在某一个区域内,即使基于历史信息评价并选择最优的中继节点,其投递率仍然不高。在完成消息转发后,保留并继续消息的传递,多个消息副本的同时存在提高了投递率,但其需要大的缓存和带宽,并且导致大的网络开销^[4]。改进的感染路由(epidemic routing)^[5]为了提高成功率,将消息复制给所有其碰到的节点,当网络规模较大时,其消息复制带来的网络开销大,从而导致大量消息由于缓存和带宽限制而被迫丢弃。

基于概率的多副本路由(PRoPHET)^[6-7]和 MaxProp^[8]算法为减小泛洪开销,先计算中继节点是否有更高的概率将消息传递到目的节点,从而均衡投递率和网络开销。对于这种情况,当节点数增大时,会增大消息复制的数量。副本配额(spray and wait)^[9]算法可限制消息复本的个数。

由于网络中最多能存在消息副本被限制,消息的复制规模不会随着网络规模的变化而变化,因此可扩展性更好,但是由于收到消息的节点采用了直接传输路由的投递方式,导致其投递率不是很高。

通常路由算法为了提高投递成功率,需要利用一定的先验知识。例如基于节点的社会关系选择合适的中继节点^[10-11]。基于节点的位置和移动方向感知的优先路由(location and direction aware priority routing)等^[12]。这些协议需要获取诸如节点间的联系信息、节点的缓存占用情况等^[13]。由于获取这些先验知识的开销过大,在实际网络中很难实现^[14]。为了实际应用,算法应该尽可能地降低对邻节点信息的获取,尽可能地在消息生命周期内完成节点的投递^[15-16]。

在许多实际情况下,移动能力本身是预期消息传递的关键因素^[17]。直观地说,如果网络不太稀疏,

那么通过移动较大的区域,移动速度更快的节点可能有更高的机会到达目的地。最近的研究发现,移动性有助于增加网络的容量、提高网络连接与覆盖^[18-19],但如何有效利用节点的移动能力设计 DTN 路由协议还有待研究^[20]。

由于多副本路由的实质是增加消息传递的路径,从而提高遭遇目标节点的概率。在分配副本时,具有高投递概率的节点应优先获得消息副本。为了使协议得到实际应用,又要求其尽可能少的获取网络信息。本文提出了一种基于局部节点移动能力评价节点路由能力的方法,并设计了路由协议。协议在节点完成多副本分发后,对中继节点的中转能力进行评价。该评价只基于局部节点间的速度值进行计算,不依赖任何历史信息。这一特点使该策略具有较小的网络开销,从而适用于计算能力有限的大规模网络应用^[21]。仿真结果表明,该方法提高了投递率,降低了端到端的平均时延和路由开销。

1 Faster 协议

本文提出的 Faster 协议由消息分发与消息中继 2 个主要过程构成。

消息分发:类似副本配额算法^[9]提出的 Faster 协议限定网络中存在的消息副本数量为配额“ L ”。当节点 A 有一个 L 大于 1 的消息时,该节点就处于消息分发过程。当节点 A 携带消息遇到未携带该消息的节点 B 时,节点 A 像感染路由一样^[5],给 B 一个该消息和该消息的 $L/2$ 个配额。如果 $L/2$ 的配额值大于 1,那么当该节 A 和 B 遇到新的节点时,它们就会重复上述步骤,直到该消息的配额值等于 1 时,切换到消息中继过程,见算法 1.1。

算法 1.1 消息分发过程:当节点 A 遇到节点 B

```

For every message  $m$  with quota  $L$ 
For node  $A$ :
if (TTL=0)
drop( $m$ )
else if(  $B$  without  $m$ )
if ( $L>1$ )
forward ( $m$ ,  $L/2$ )
elseif ( $B$  is faster)
forward( $m$ )
drop( $m$ )
end if
end if

```

```

For node B:
receive( m, L/2)
if (L=1)
in-relay-process
else in-distribution-process
end if

```

消息中继:当节点携带的消息只剩下一个副本配额时,该节点工作在消息中继过程.在这个阶段,该消息只转发到所遇到的移动速度更快的节点,即由移动更快的节点负担起该消息传递的责任.

2 理论分析

中继阶段,Faster 将消息转发给具有更高移动速度的中继节点,可在一定程度上提高协议性能.考虑一个随机移动模型,节点根据某种概率密度函数按 $f_{\theta}^m(\theta)$ 在 $\theta \in [0, 2\pi)$ 的范围随机选择移动方向.根据分布密度函数 $f_v^m(v)$,随机在 $[0, v_{\max}]$ 范围内以速度 v 移动.

2.1 搜索区域

假设,在 $t=0$ 时,节点的位置是均匀独立分布在网络中,在这种假设下,节点位置可以用泊松过程建模.以 λ 表示其密度, r 表示节点的通信距离.在任意时刻,搜索面积部分表示为^[18,22]

$$f_a(t) = 1 - e^{-\lambda \pi r^2}, \forall t \geq 0 \quad (1)$$

在时间 $[0, t)$ 期间,移动节点预期的搜索跑道形状为

$$a = \pi r^2 + 2rE[v_m t] \quad (2)$$

式中,期望的节点速度为

$$E[v_m] = \int_0^{v_m^{\max}} f_v^m(v) dv \quad (3)$$

文献[18-19]指出,在时间 $[0, t)$ 中,至少被搜索过一次的区域面积为

$$f_i(t) = 1 - e^{-\lambda a} = 1 - e^{-\lambda (\pi r^2 + 2rE[v_m] t)} \quad (4)$$

式(4)表明,在固定时间段内,节点搜索的区域和节点运动方向的分布无关.节点移动得越快,所搜索的区域越多.依赖节点的移动性,其搜索过的区域比例随着时间的推移而增加,并最终接近于 1,因此在消息的 TTL 过期之前,可以利用节点移动性本身来搜索更多的目标区域,其仿真结果如图 1 所示.对于固定的 TTL 值,想要搜索更多的区域去发现目标节点,就需要更快的节点移动速度.如果节点速度不变,更长的 TTL 值,增大了节点搜索区域的面积,从而大概率地将消息传送给目标节点,其仿真结果如图 2 所示.

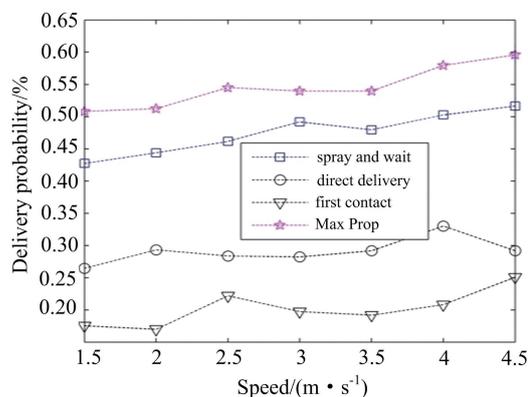


图 1 投递率与移动速度

Fig. 1 Delivery probability vs. mobile speed

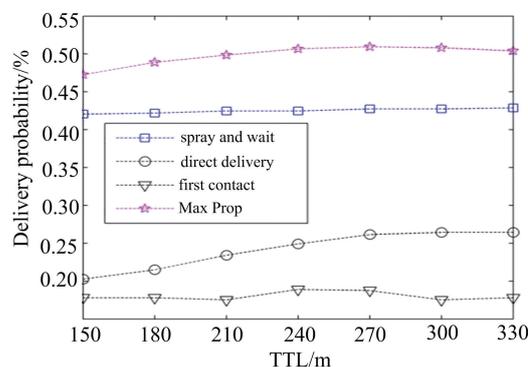


图 2 投递率与 TTL 关系

Fig. 2 Delivery probability vs. TTL

利用节点移动性,我们可以在搜索更大区域时提高搜索到潜在目标节点的概率.另外,对于一些特殊的移动模型,例如基于地图的移动模型、最短路径模型等,节点会沿着特定的路径移动,高速移动的节点可以遇到更多的节点,从而提高遇到目的节点的概率.

3 仿真设置

本文采用 ONE 模拟器^[23]仿真分析提出的 DTN 路由协议和相关协议性能,仿真参数如表 1 所示.

表 1 仿真参数值

Tab. 1 Simulation parameters

参数	值
时间/s	43 200
移动模型	最短路径图、RWP
缓冲大小	5 M-50 M
等待时间	0-120
接口	蓝牙
群组数	6
最大节点数	480

续表 1

参数	值
最大速度	20 m/s
TTL/s	18 000
传输速率	2 Mbps, 10 Mbps
传输范围	10m
时间生成	1 s—35 s
消息尺寸	500 KB—1 MB

4 分析与比较

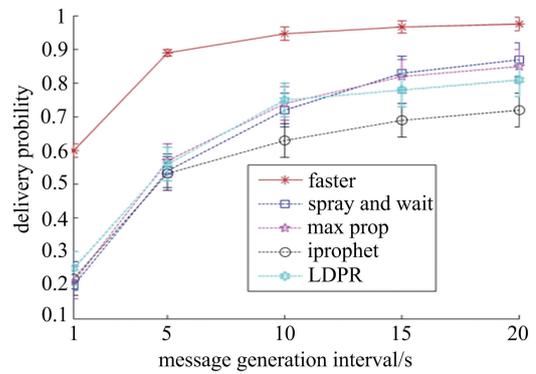
4.1 改变负载

图 3 显示了各种消息生成间隔从 1 到 20 秒时的协议性能. 随着负载的增加(即消息生成间隔减少),所有协议的性能会降低. 在相对长的消息生成间隔时,所有协议性能差别不大. 随着间隔时间变短, Faster 的性能表现相对较好,也就是说我们提出的协议能更好地处理消息传递的压力;而高的投递率又会缩短端到端的延迟. 在网络负载最低的时候,提出的协议在投递率指标上,相对于表现出色的 MaxProp 协议和 Spray and Wait 协议,依然提高了 10%左右.

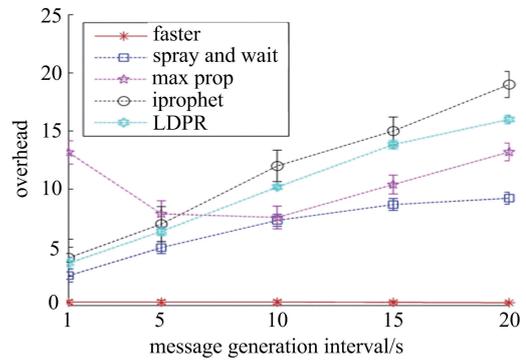
当更多的消息生成并注入网络时,会出现消息副本,中继节点需要消除无用的消息副本以减少其对缓冲区占用. 当缓冲区变满时,中继节点将从缓冲中删除该类消息. 此外,为了搜索目的节点,即使这些副本在整个 TTL 有效期内被多次转发,可是低的投递率意味着许多副本无法最终交付,多次转发后最终还是会被丢弃. 这种无效的副本在高的消息负载时会比低负载时丢弃的早,其结果就是 Spray and Wait、Iprophet 和 LDPR 等协议在高负载时的网络开销低. 如图 3 所示, Spray and Wait、Iprophet、Maxprop 和 LDPR 协议的时延随着网络负载的增加,在 3000 s 到 8000 s 之间变动. 提出的协议时延最高只有 1000 s.

4.2 改变移动速度

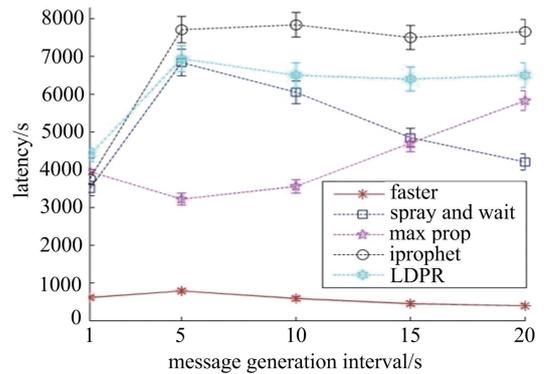
利用节点移动性本身可以在消息的 TTL 过期之前搜索更大的区域. 节点移动得越快,在固定 TTL 内,所搜索的区域就越大,即搜索区域在固定 TTL 时间段内的增长速度取决于节点的预期速度,因此利用节点移动性,在搜索更大的区域时,节点可以在某种程度上提高区域内遇到潜在目的节点的概率. 如图 2 所示, Spray and Wait 和 First Contact 的投递率并没有受到 TTL 的影响,然而图 4 的结果确实表明了该协议在更高的节点移动下,会提高投递



(a) delivery probability



(b) overhead



(c) latency

图 3 不同负载时的性能

Fig. 3 The performance of various traffic loads

率. 这说明了增加节点的移动速度并不完全等同于更长的 TTL 值带来的影响. 这从侧面反映出在固定 TTL 内,随着搜索的进行,提高了相遇更多的潜在目标节点,从而提高了投递率.

位置更新取决于节点的速度,对于高速移动的节点来说,节点位置更新更频繁. 此外,随着速度的增加,更多的历史知识失效,新的请求更频繁,这使得大多数依赖先验知识的协议性能降低. 不同的是, Faster 反而利用了移动性,表现出如图 4 所示的更低的延迟、开销和高的投递率. 本文提出的协议平稳保持 95%左右的高投递率,而表现相对较好的 MaxProp 协议、Spray and Wait 协议和 LDPR 协议

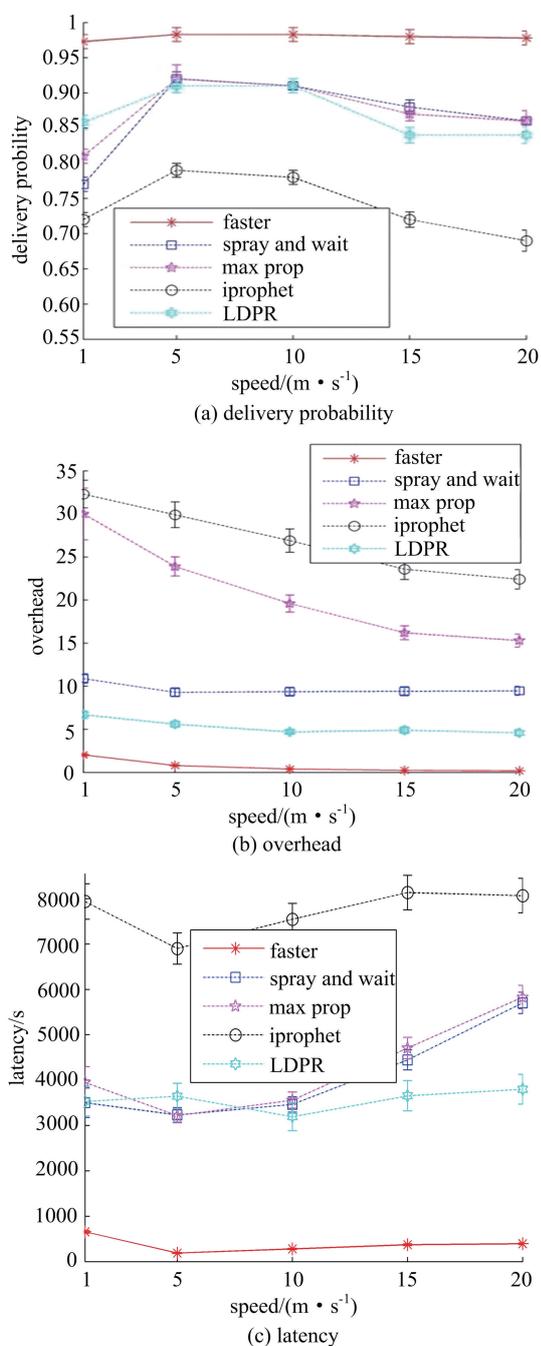


图 4 不同负载时的性能

Fig. 4 The performance of various speed

也只获得 80%—90%左右的投递率。

4.3 改变节点数

如图 5 所示,在大多数协议中,随着节点密度的增加,投递率会提高,特别是在网络中有大量负载存在的情况下,因为节点之间有更多的数据通信链路可用,从而增加投递的消息数量.端到端的延迟也随着链路的连通性增加而降低.当网络中有更多的节点时,会生成更多无效的复制消息,并沿着特定路径发送,这导致 IProphet 和 LDPR 开销变大.由于消

息副本的数量是有限的,消息保存在 Faster 的快速移动节点中,因此它具有低的开销和延迟.在增加节点个数时,本文提出的协议在投递率方面依旧保持稳定.用网络开销指标观察时,可以看到由于 Spray and Wait 协议限制了网络内副本个数,其网络开销保持在 10 左右.随着节点数增加而产生的无效消息,使得 Iprophet 协议、LDPR 协议和 Maxprop 协议的网络开销最大分别达到了 70、40 和 35.

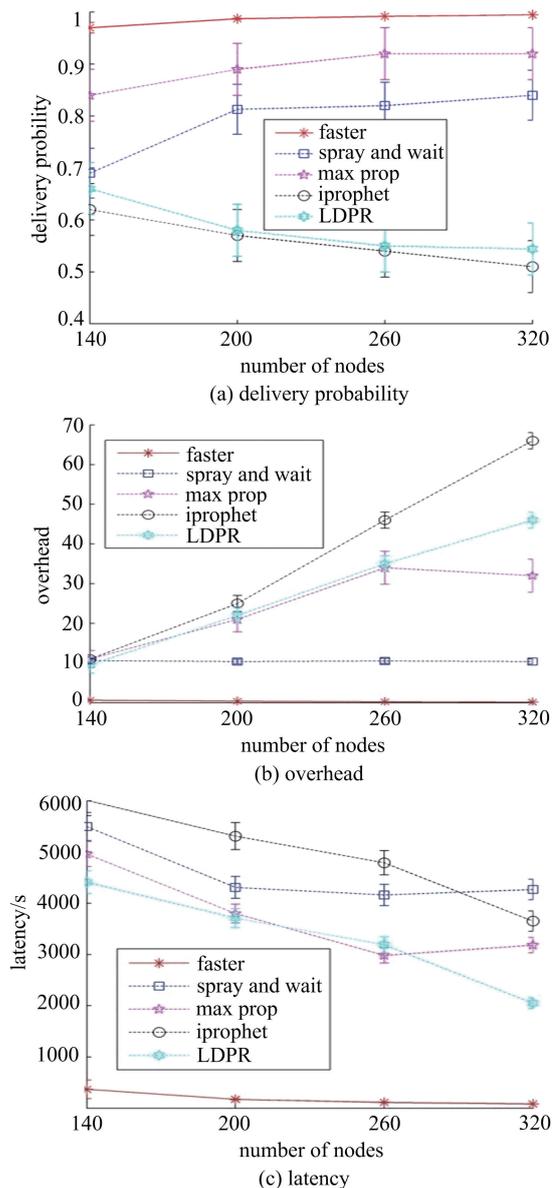


图 5 不同负载时的性能

Fig. 5 The performance of various nodes

5 结论

本文模拟和观察了移动性如何影响节点的区域搜索行为.移动性会增加节点在 TTL 时间内搜索的面积,从而遇到更多的不同节点,提高遇到潜在目

的节点的概率. 在此基础上, 本文设计了一种利用节点移动性传送消息的路由策略. 该策略只使用节点速度信息选取中继节点, 不依赖于任何其他信息. 仿真结果表明, 该策略性能良好.

参考文献(References)

- [1] ZHANG F, JOE I, GAO D, et al. Evaluating the impact of network conditions on routing performance in delay tolerant networks[J]. *International Journal of Control & Automation*, 2016, 9(5): 231-242.
- [2] JAIN S, FALL K, PATRA R. Routing in a delay tolerant network[C]// *Proceedings of SIGCOMM*. New York: ACM, 2004:145-158.
- [3] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Single-copy routing in intermittently connected mobile networks [C]// *Proceedings of First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*. Santa Clara: IEEE, 2004: 235-244.
- [4] KOSKIMIES O, RAPOLA J, SAVILAHTI E, et al. Routing Protocols in delay tolerant networks: Application-oriented survey [M]// *Wireless Communications, Networking and Applications*. Springer, 2016: 357-363.
- [5] VAHDAT A, BECKER D. Epidemic routing for partially connected Ad Hoc networks[R]. Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.
- [6] ZHANG Fuquan, JOE Inwheel, GAO Demin, et al. An efficient multiple-copy routing in intermittently connected mobile networks[J]. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 2016, 9(5): 207-218.
- [7] LINDGREN A, DORIA A, SCHELEŃ O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2003, 7(3): 19-20.
- [8] BURGESS J, GALLAGHER B, JENSEN D, et al. MaxProp: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks [C]// *Proceedings of IEEE INFOCOM*. Barcelona, Spain: IEEE, 2006: 1-11.
- [9] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Spray and Wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks [C]// *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*. Philadelphia, USA: ACM, 2005: 252-259.
- [10] 彭敏. 延迟容忍网络中移动模型与路由技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [11] WEI K, LIANG X, XU K. A Survey of Social-Aware Routing Protocols in Delay Tolerant Networks: Applications, Taxonomy and Design-Related Issues [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014, 16(1): 556-578.
- [12] HOM J, GOOD L, YANG S. A survey of social-based routing protocols in delay tolerant networks [C]// *International Conference on Computing, NETWORKING and Communications*. IEEE, 2017:788-792.
- [13] SHEN J, MOH S, CHUNG I. A priority routing protocol based on location and moving direction in delay tolerant networks[J]. *IEICE Transactions on information & System*, 2010, 93(10): 2763-2775.
- [14] WANG T, CAO Y, ZHOU Y Z, et al. A survey on geographic routing protocols in delay/disruption tolerant networks [J]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016, 12: 1-12.
- [15] BINDRA H S. Performance improvement of epidemic routing protocol of delay tolerant networks using improved buffer management[C]// *Proceedings of the International Conference on Recent Cognizance in Wireless Communication & Image Processing*. Springer, 2016: 773-781.
- [16] 林海峰, 高德民, 蒋安娜, 等. 基于流量控制的无线传感器网络生命期算法[J]. *计算机仿真*, 2016, 33(2): 340-344.
- [17] DSOUZA R J, JOSE J. Routing approaches in delay tolerant networks: A survey[J]. *International Journal of Computer Applications*, 2010, 1(17): 9-15.
- [18] SHAHZAMAL M, PERVEZ M F, ZAMAN M A U, et al. Mobility models for delay tolerant network: A survey[J]. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 2014, 6(4): 121-134.
- [19] WANG Q, WANG X, LIN X. Mobility increases the connectivity of K -hop clustered wireless networks [C]// *International Conference on Mobile Computing and Networking*. Beijing: ACM, 2009:121-132.
- [20] LIU B, BRASS P, DOUSSE O, et al. Mobility improves coverage of sensor networks[C]// *International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*. Urbana-Champaign, USA: ACM, 2005: 300-308.
- [21] JAIN S, CHAWLA M. Survey of buffer management policies for delay tolerant networks [J]. *The Journal of Engineering*, 2014, (3): 117-123.
- [22] BINGHAM N H. *An Introduction to the Theory of Coverage Processes* [M]. Wiley, 1988.
- [23] KERÄNEN A, OTT J, KÄRKKÄINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C]// *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*. Rome, Italy: ICST, 2009: No. 55.