

一种考虑节点拥塞情况的 DTN 概率路由算法^{*}

宋 鑫, 胡 勇, 王炳庭, 王贵竹

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 合肥 230039)

摘 要: 容迟网络是一种新型网络,其概率路由算法根据历史相遇频率对相遇概率进行计算与更新,通过相遇概率判断是否转发报文。当节点缓存受限时,在网络中采用概率路由算法使得节点很容易发生拥塞,对报文的传送产生影响。为了减小拥塞对概率路由算法的影响,提出了一种考虑节点拥塞情况的概率路由算法,将节点相遇的概率和节点拥塞的情况综合起来,得到一个报文的递交概率,降低了由于拥塞对网络性能的影响,提高了报文的递交率,减小了报文在缓存中排队等候的时间。仿真结果表明,与传统的概率路由算法相比,在改进后的概率路由算法中报文递交率显著提高,平均延迟也在降低。

关键词: 容迟网络; 概率路由; 拥塞程度; 相遇概率; 报文递交概率

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)04-1493-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.081

Probabilistic routing algorithm based on node congestion in DTN

SONG Xin, HU Yong, WANG Bing-ting, WANG Gui-zhu

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing for Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: The delay tolerant network is a new network system structure. The probabilistic routing algorithm calculates and updates encounter probability based on encounter frequency of history, and determines whether to forward messages according to the encounter probability. When the buffer of the node is restricted by the size, the networks that use the probabilistic routing would more easily have node congestion, influence the transmission of the messages. In order to reduce the influence of the congestion on the PROPHET, this paper proposed PROPHET-NC (probabilistic routing algorithm based on node congestion), which combined encounter probability with the node congestion situation to estimate delivery probability of messages, lessened the influence on network performance caused by the congestion, enhanced the delivery probability, reduced the time that messages stay in the buffer. The simulation results show that comparing to the PROPHET, in PROPHET-NC the delivery probability of message is obviously increased higher and the average latency is decreased.

Key words: DTN; PROPHET; congestion situation; encounter probability; message delivery probability

0 引言

随着网络的发展,在一些特定的网络环境下(如军事 Ad hoc 网络^[1]、传感器网络^[2]、车辆 Ad hoc 网络^[3]),经常会出现网络分割(断开)的现象,导致无法在报文传输过程中确保端到端的路径,这类网络被称为容迟网络(delay tolerant network, DTN)^[4,5]。DTN 作为一种新型网络体系结构,它是由 Kevin Fall 等科学家于 2003 年在 ICIR 会议上提出的一种通用的、面向消息的、可靠的覆盖层网络体系结构。其高延迟、间歇性连接、资源受限等特点给传输协议的设计带来了巨大的挑战。DTN 是由若干区域网络组成的网络,它是一种在区域网络(包括因特网)之上的覆盖网络(overlay)。传统的无线网络传输模式要求通信源节点和信宿节点之间至少存在一条完整的路径,而在 DTN 中节点之间的通信范围很短,并且节点的移动会导致网络拓扑结构动态变化,网络中端到端的连接路径不是始终存在的,因而这是一个间歇性连接的网络,传统的路由算法

不再适合这种新型的网络体系结构。

DTN 在传统网络结构的基础上增加了一个新的协议层,称为捆绑层(即 bundle layer^[6,7],位于传输层之上),在该协议层上采用存储—携带—转发模式来执行报文的传输。DTN 中的每个节点都有一个缓存,节点可以携带报文等待转发。但是缓存的大小是有限的,当节点缓存中的报文达到一定的数量,节点就会出现拥塞,导致剩余的缓存空间无法满足接收一个新报文的需要,此时必须按照一定的机制从缓存中选择丢弃一个旧报文,为接收新的报文腾出需要的空间。

在 DTN 的概率路由算法中,报文会产生许多副本,这将大大增加中继节点上存储空间和通信带宽的负担。当多个报文同时在一个单独的 DTN 中传输时,会出现对网络中共享资源的竞争,在网络中产生拥塞的情况,导致报文被丢弃,势必会对报文的成功递交带来影响。如何在路由时选择拥塞情况较好的中继节点,对于提高网络性能具有重要意义。本文在概率路

收稿日期: 2011-08-01; **修回日期:** 2011-09-05 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61071168);安徽大学“211 工程”学术创新团队基金资助项目

作者简介: 宋鑫(1987-),男,山东青岛人,硕士研究生,主要研究方向为容迟网络路由算法(115487208@qq.com);胡勇(1978-),男,安徽庐江人,讲师,硕士,主要研究方向为通信技术;王炳庭(1984-),男,安徽滁州人,硕士研究生,主要研究方向为容迟网络路由算法;王贵竹(1965-),男,安徽郎溪人,副教授,博士,主要研究方向为网络通信安全。

由的基础上综合考虑节点的拥塞情况,估计出一个报文的递交概率,从而有效地避免由于拥塞给报文传输带来的影响。

1 相关工作

1.1 蔓延路由介绍

泛洪的蔓延路由协议(epidemic routing)^[8,9]是一种典型的 DTN 路由协议。在蔓延路由协议中,携带报文的节点在移动过程中与其他节点相遇并发生连接而转发报文。当两个节点相遇时,交换彼此没有的报文。如果节点的缓存空间足够大,蔓延路由有很高的递交率以及很小的递交延迟。但实际上网络中节点的缓存空间是有限的,蔓延路由在泛洪过程中产生了大量的报文副本,易造成网络拥塞^[10],一旦发生网络拥塞,蔓延路由的报文递交率会受到很严重的影响,平均延迟也会变得很大。

1.2 概率路由介绍

概率路由协议(Prophet routing)^[11]也是一种比较有代表性的 DTN 路由协议。该协议运用一个“相遇概率”的统计因子来表征某一节点与另一个节点相遇的可能性。每个节点都各自维护一张能够反映该节点与网络中其他任何节点相遇频率的概率表。与蔓延路由相比,Prophet 路由中两节点相遇时,不仅要确定哪些是对端节点没有的报文,还要通过比较概率的大小关系来决定是否把这些报文转发给相遇的节点,报文不断地从与宿节点相遇概率小的节点转发到与宿节点相遇概率大的节点,直到遇到宿节点。

$P(a,b) \in (0,1]$,表示任何节点 a 与 b 的相遇概率。当两个节点相遇并发生连接时,将交换各自相遇概率表中的信息。若对端节点与宿节点相遇的概率大于自身与宿节点相遇的概率,则将相应的报文转发给此相遇的节点,反之则不转发报文。节点相遇概率的计算和更新公式如下:

$$P(a,b) = P(a,b)_{old} + (1 - P(a,b)_{old}) \times P_{init} \quad (1)$$

$$P(a,b) = P(a,b)_{old} \times \gamma^k \quad (2)$$

$$P(a,b) = P(a,b)_{old} + (1 - P(a,b)_{old}) \times P(a,c) \times P(c,b) \times \beta \quad (3)$$

每当节点 a 和 b 相遇时, $P(a,b)$ 会按照式(1)进行更新,其中 $P_{init} \in (0,1]$ 是一个初始化的常数。当节点 a 和 b 有一段时间没有相遇时, $P(a,b)$ 会按照式(2)进行更新,其中, $\gamma \in (0,1]$ 是一个常数, k 表示从上一次相遇到现在的时间间隔。若节点 a 与另一个节点 c 频繁相遇,节点 c 又与 b 频繁相遇, $P(a,b)$ 将会按照式(3)的传递性更新公式进行更新,其中, $\beta \in (0,1]$ 是一个传递因子,表示传递性对相遇概率的影响大小。从式(1)(2)可以看出,任意两节点 a, b 的相遇概率是随时间动态变化的,两节点相遇的频率越高,则它们的相遇概率越大;当两个节点长时间没有相遇时,两节点的相遇概率会衰减变小。相遇概率具有传递性,式(3)反映了相遇概率的这一特性,并会通过另一个活跃的中节点更新两节点之间的相遇概率。

概率路由算法 Prophet 根据节点的历史相遇信息来估算相遇概率并以此作为路由依据,因此无须任何路由发现过程,在 DTN 这种苛刻的网络环境中,具有比较广的适用范围。但是 Prophet 算法估算传输概率时只考虑相遇频率,因而难以充分刻画传输概率对报文传输性能的影响。当两个节点相遇时,通过比较与宿节点的相遇概率来判断是否将报文转发给对端节点,没有考虑节点拥塞导致报文到达宿节点之前被

丢弃的情况。一旦在网络中报文副本大量存在,网络产生拥塞的可能性变大,节点中的报文就可能被大量丢弃,降低了 DTN 的网络性能。

针对传统概率路由算法的不足,为了进一步提高报文传输性能,本文提出了一种考虑节点拥塞情况的概率路由算法。该算法对传统的概率路由算法进行了修改,使得节点相遇时不仅考虑相遇概率的问题,同时还要考虑节点的拥塞情况,综合这两方面的条件估计一个报文的递交概率,然后根据递交概率的大小判断报文是否应该转发,减小了报文在传输过程中被丢弃的可能性。

2 考虑节点拥塞的概率路由

2.1 概率路由中节点拥塞的产生

在网络中,节点的缓存空间是有限的,而传统的 DTN 概率路由协议中网络存在着大量的报文副本,随着复制转发的进行,越来越多的报文副本会存储于节点缓存中,当副本数量和大小增加到一定数量并超过缓存有限的空间时,网络中的节点就产生了拥塞。

2.2 节点拥塞程度的衡量

在 DTN 中,节点携带的报文都存储在缓存中,当节点发生拥塞时就需要丢弃报文,为接收新到的报文腾出缓存空间。定义初始时刻为 t_0 ,每次丢弃报文时节点记录一个时刻 $t_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$,每相邻的两个记录时刻 t_i 和 t_{i-1} 作差得到节点没有发生拥塞的时间段 Δt_i ,即 $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ 。经过多次统计和计算,通过求和可以得到当前时刻为止所有的没有发生拥塞的时间段总和 $\Delta t_{total} = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$,当前的时刻距离初始时刻的时间长度为 t ,可以得到一个估计节点 s 拥塞程度如下:

$$P_s = t_{total}/t \quad (4)$$

其中: s 表示进行统计的节点,用 $P_s \in (0,1]$ 来表征节点的拥塞情况。通过式(4)可以发现未发生拥塞的总时间越长, P_s 的值越大,说明该节点发生拥塞的可能性越小;另一方面,未发生拥塞的时间越短, P_s 的值越小,说明该节点发生拥塞的可能性越大,因而称 P_s 为反拥塞概率。 P_s 存储于每个节点中,作为节点的一个属性随着时间根据式(4)进行实时更新。

2.3 报文递交概率的定义

在传统的概率路由 Prophet 中,如果两节点相遇总是会根据与宿节点的相遇概率来判断是否进行报文的转发。

本文提到的报文递交概率,需要在相遇概率的基础上综合考虑节点的拥塞情况来估计一个报文的递交概率。报文递交概率是指报文通过此节点携带能被成功递交到宿节点的概率。根据这个新的概率来判断是否转发报文,这样报文会递交给发生拥塞可能性比较低的节点。报文递交概率用 $P_{tran}(r,d)$ 表示,即报文从节点 r 成功递交到宿节点 d 的概率大小。

2.4 报文递交概率的计算和更新

报文递交概率是根据节点相遇的历史记录信息和节点的拥塞情况这两个因素得到的。在每个节点中维护一张概率表,存储着该节点与网络中其余各节点的相遇概率,并且根据式(1)~(3)进行更新。每个节点还存储着表征本身拥塞程度的属性参数 P_s ,这个数值是根据式(4)进行更新的。当两个节点相遇时,要判断一个报文是否被转发,就需要计算出一个报文递交概率,报文递交概率的计算公式如下:

$$P_{\text{tran}}(r, d) = \xi \times P(r, d) + (1 - \xi) \times P_{s=r} \quad (5)$$

其中: r 为当前节点, d 为宿节点, $\xi \in (0.5, 1]$ 是一个权重参数。式(5)说明决定报文递交概率主要是由相遇概率 $P(r, d)$ 决定, 节点 r 的反拥塞概率 P_r 是一个需要综合考虑的因素。 ξ 的值越大, 节点反拥塞概率对报文转发的影响越小, 即节点拥塞这一因素对递交概率的影响越小; ξ 的值越小, 节点反拥塞概率对报文转发的影响越大, 即节点拥塞这一因素对递交概率的影响越大。

由式(5)可看出, $P_{\text{tran}}(r, d)$ 会随着 $P(r, d)$ 和 P_r 的变化同步更新, 报文递交概率 $P_{\text{tran}}(r, d)$ 会根据节点中的相遇概率表和反拥塞概率的实时变化进行自身的更新。这样还需要在节点中维护一张关于报文递交概率的概率信息表, 存储该节点与网络中其余各节点之间的报文递交概率。当两个节点相遇时, 不再比较原先的相遇概率, 而是通过比较报文递交概率, 将报文转发给递交概率大的节点。

2.5 排队策略和丢弃策略

改进的概率路由算法需要考虑节点拥塞的情况来判断是否转发报文。为了配合这种通过递交概率决定的转发策略, 需要对网络中节点缓存的排队策略和丢弃策略进行相应的调整。在传统的概率路由协议中, 当拥塞发生时, 会丢弃那些从接收时刻到当前时刻在缓存中存储时间较长的报文; 同时, 宿节点与当前节点相遇概率最大的报文将会优先发送。在新的路由算法中, 当缓存区剩余空间不足时, 将选择丢弃剩余 TTL 最小的报文^[12], 缓存中报文的排队则需要综合地考虑剩余 TTL 和相遇概率两个因素。根据以下的公式对缓存中的报文进行排队管理:

$$Q = P(u, v) \times \varepsilon^{(T - \text{ttl})/T} \quad (6)$$

其中: ε 是一个趋近 1 的小数, 这样可以确保 TTL 对排队的影响较小; T 表示报文总的 TTL 长度; ttl 则表示报文 TTL 剩余的时间长度; u 为当前节点; v 为报文宿节点。

选择将 Q 较大的报文排在缓存的最前面, 优先发送。随着 ttl 的不断减小, $(T - \text{ttl})/T$ 在不断增大, 所以 $\varepsilon^{(T - \text{ttl})/T}$ 在不断减小。由式(6)可以看出, 当 ε 趋近于 1 时, 相遇概率 $P(u, v)$ 依然是影响排队顺序的主要因素, 但是当相遇概率 $P(u, v)$ 相近时, 则需要考虑剩余 TTL 的影响。

在这种路由算法中, $P(u, v)$ 可以部分反映出报文递交到宿节点的可能性大小。根据式(6), 当 $P(u, v)$ 相差不大甚至相等时, 说明两个报文直接到达宿节点的可能性相差很小, 剩余 TTL 较大的报文会排在剩余 TTL 较小的报文之前。根据丢弃剩余 TTL 最小报文的丢弃策略, 在整个网络中这个剩余 TTL 较大的报文被丢弃的可能性会比较小, 也更容易成功递交; 当 $P(u, v)$ 相差很大时, 会忽略 TTL 的影响, 直接把 $P(u, v)$ 较大的排在前面, 这样可以保证到达宿节点可能性大的报文会优先发送。

这种排队和丢弃的方式与新的转发策略相结合, 大大提高了网络中报文的递交率, 同时削减了不必要的排队等待时间, 降低了网络中的平均延迟。

3 仿真结果与分析

3.1 仿真参数设置

本文使用 THE ONE (opportunistic network environment simu-

lator)^[13] 仿真器对所提出的方案进行评估。仿真场景大小为 $4500 \text{ m} \times 3400 \text{ m}$, 在其中放置了 126 个节点, 这些节点被分成了六组。仿真中设定行人节点和出租车节点的缓存大小为 5 MB, 有轨电车的缓存大小为 50 MB, 报文大小设为 100 KB ~ 200 KB 之间, 报文的 TTL 为 300 min, 在递交概率计算式(5)中取 $\xi = 0.8$, 排队管理式(6)中取 $\varepsilon = 0.98$, 相遇概率更新式(1)(3)中, 初始化常数 $P_{\text{init}} = 0.75$, 常数 $\gamma = 0.25$, 传递因子 $\beta = 0.98$, 其他具体参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数的设置

节点种类	节点个数	节点移动速度/m/s	等待时间范围/s
行人	80	[0.5, 1.5]	[0, 120]
出租车	40	[2.7, 13.9]	[0, 120]
有轨电车	2	[7, 10]	[10, 30]

在此仿真环境下, 比较蔓延路由 (epidemic)、概率路由 (PROPHET) 及本文提出的考虑节点拥塞情况的概率路由 (PROPHET-NC) 在报文递交率、平均延迟及网络开销率上随时间的变化情况。

a) 递交率。递交成功的报文数量与总的投递报文数量的比值。

b) 平均延迟。递交成功的所有报文从源节点到宿节点的时间之和与总的报文个数之比。DTN 是一个稀疏的 Ad hoc 网络, 它的延迟很大, 一般为分钟、小时量级 (ks 量级)。

c) 开销率。网络中被中继的报文与成功递交的报文之差再与成功递交的报文之比。它体现了成功递交一个报文所消耗代价的大小。对于 DTN 网络来说, 开销率越小网络性能越好。

3.2 仿真结果分析

从图 1 可以看出, 蔓延路由协议的递交率在 8 ks 前逐渐上升, 之后由于网络中多副本传输导致网络拥塞的出现, 使得整个网络中的报文递交率下降; 随着时间的加长, 在 18 ks 后会有一部分报文由于剩余 TTL = 0 被丢弃, 使网络中的拥塞情况得到缓解, 报文递交率小幅度提高, 之后逐渐趋于平稳。从图 1 还可以看出, 本文提出的考虑节点拥塞情况的概率路由协议比传统概率路由协议的递交率有了明显的提高。这是因为网络中的节点在相遇时会综合考虑各自的拥塞情况以及 with 宿节点的相遇概率这两个因素来判断是否转发报文, 减小了报文由于拥塞被丢弃的可能性, 显著提高了报文的递交率。

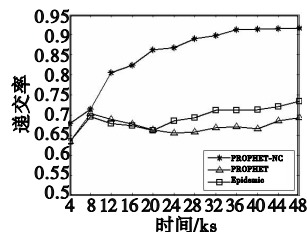


图1 报文递交率随时间的变化

从图 2 可以看出, 开始时蔓延路由协议的平均延迟比较小, 但是经过一段时间网络中出现拥塞的情况, 导致蔓延路由协议的延迟逐渐增大。这是由于拥塞的出现使得许多报文无法递交出去, 导致延迟迅速增大。从图 2 中还可以看出, 与传统的概率路由协议相比, 在本文提出的考虑节点拥塞情况的概率路由协议中, 平均延迟开始时略高于传统的概率路由协议, 经过一段时间后慢慢地趋于平缓并且低于传统的概率路由协

议。这是由于报文递交概率中考虑了节点的拥塞状况,不会完全随着相遇频率更新而变化,报文会转发给拥塞可能性比较小的节点,能够使得报文在缓存区的排队时间变短,同时根据 Q 值进行排队并且在拥塞时丢弃剩余 TTL 最小的报文,这样就减小了那些递交可能性最大的报文在缓存中的排队等待时间,进一步减小了延迟。

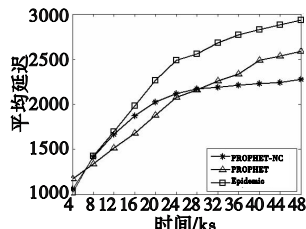


图2 平均延迟随时间的变化

从图3可以看出,前期蔓延路由协议开销率在增大,这是由于蔓延路由协议中报文一直在复制转发造成的。经过一段时间由于网络中出现拥塞,节点携带的报文增多,两节点相遇交换概要向量后,发现需要复制转发的报文数目变小,所以开销率会逐渐趋于平稳。从图3中还可以看出,考虑节点拥塞情况的概率路由协议在开始阶段与传统的概率路由协议相比相差很小。经过一段时间后改进的概率路由协议开销率明显高于传统的概率路由协议,这是由于新的概率路由算法中转发策略和丢弃策略的影响。假设传统概率路由算法中继转发报文数目为 x ,成功递交的报文数目为 z_1 ,开销率为 overhead_1 ;新的概率路由算法中继转发报文数目为 y ,成功递交的报文数目为 z_2 ,开销率为 overhead_2 。

根据开销率的定义:

$$\text{overhead}_1 = (x - z_1) / z_1 \quad (7)$$

$$\text{overhead}_2 = (y - z_2) / z_2 \quad (8)$$

由式(7)(8)可以看出,比较 overhead_1 和 overhead_2 的大小是可以通过比较 y/x 和 z_2/z_1 来判断的。在改进的概率路由算法中丢弃剩余 TTL 最小的报文,所以在一段时间后会有一些报文因为 TTL 变得很小而被丢弃,网络中的拥塞情况得到缓解,使得中继转发的报文数目 y 与传统概率路由的中继转发报文数目 x 相比有了显著的上漲,并且增长速度更快。此时中继转发报文数目 y 与 x 的比值 y/x 会明显高于 z_2/z_1 。所以如图3所示,经过 20 ks 后新的概率路由算法与传统的概率路由算法相比开销变得更大。

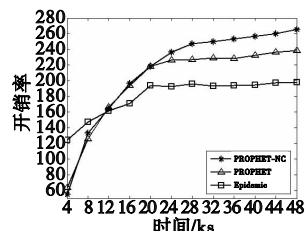


图3 开销率随时间的变化

4 结束语

本文把没有发生拥塞的时间长度与总计时间长度的比值作为衡量节点拥塞情况的标准,在这个基础上,提出了一种新的概率路由算法,把相遇概率和节点本身的拥塞情况结合在一起,估计出一个报文的递交概率。当两个节点相遇时,通过比较报文的递交概率来判断是否要将报文转发给遇到的对端节

点,这样报文总是会转发到与宿节点相遇概率比较大且本身不易出现拥塞的节点,被丢弃的可能性减小,报文的递交率提高。这种路由算法考虑了节点的拥塞情况,在拥塞发生的情况下节点的丢弃策略和排队策略都会影响网络的性能,因而在这种概率路由算法中对原来的丢弃策略和排队策略作了调整。仿真结果表明,这种路由算法的报文递交率显著提高,平均延迟也明显变小。

本文把节点的拥塞情况作为一个因素加入到了概率路由算法中,提出了一种考虑节点拥塞情况的概率路由算法。未来的研究工作将进一步研究各路由协议的算法和拥塞控制策略,进一步发展和完善 DTN 的路由协议。

参考文献:

- [1] NICHOLS R A, HAMMONS A R. DTN-based free-space optical and directional RF networks [C]//Proc of IEEE Military Communications Conference. 2008:1-6.
- [2] CHAN C Y M, MOTANI M. An integrated energy efficient data retrieval protocol for underwater delay tolerant networks [C]//Proc of IEEE OCEANS. 2007:1-6.
- [3] LITTLE T C, AGARWAL A. An information propagation scheme for VANETs [C]//Proc of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 2005:155-160.
- [4] KEVIN F. A delay-tolerant network architecture for challenged internets [C]//Proc of ACM Conference on Applications Technologies Architectures and Protocols for Computer Communications. New York: ACM, 2003:27-34.
- [5] HAYKIN S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2):201-220.
- [6] WOOD L, MCKIM J, EDDY W, et al. Using Saratoga with a bundle agent as a convergence layer for delay-tolerant networking [R]. 2010.
- [7] CAINI C, FIRRINCIELI R, LIVINI M. DTN bundle layer over TCP: retransmission algorithms in the presence of channel disruptions [J]. Journal of Communications, 2010, 5(2):106-116.
- [8] YANG Li-li, XIE Xian-zhong, ZHENG Yi. A historical-information-based algorithm in dynamic spectrum allocation [C]//Proc of International Conference on Communication Software and Networks. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009:731-736.
- [9] RAMANATHAN R, HANSEN R, BASU P, et al. Prioritized epidemic routing for opportunistic networks [C]//Proc of the 1st International MobiSys Workshop on Mobile Opportunistic Networking. New York: ACM, 2007:62-66.
- [10] LI Yun, CHEN Xin-jian, LIU Qi-lie, et al. A novel congestion control strategy in delay tolerant networks [C]//Proc of the 2nd International Conference on Future Networks. 2010:233-237.
- [11] LINDGREN Y A, DORIA A, SCHELEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3):19-20.
- [12] AKYILDIZ I F, AKAN B, CHEN C, et al. Inter-PlaNetary Internet: state-of-the-art and research challenges [J]. Computer Networks, 2003, 43(2):75-112.
- [13] KERANEN A, OTT J, KARKKAINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C]//Proc of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. Brussels: ICST, 2009:1-10.