

一种区分服务的DTN概率路由算法*

申健, 夏靖波, 付凯, 孙昱

(空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077)

摘要: 针对DTN网络中不同优先级的数据包需要区分服务的问题,提出了区分服务的概率路由算法SDRP。该算法提出了参考概率这一概念,相遇节点针对不同的数据包优先级定义了不同的参考概率,若相遇节点的参考概率大于发送节点的转发概率则将数据包转发,否则不转发。仿真表明,SDRP算法使不同优先级数据包的递交率呈层次化分布,高中低优先级数据包的递交率由高到低依次排列。该算法使DTN网络在不改变原有网络通信性能的基础上,较好地实现了根据数据包优先级的不同而区分服务的功能。

关键词: DTN网络; 路由算法; 区分服务; 参考概率; SDRP算法

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)06-1772-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.06.044

Service distinguished DTN probabilistic routing algorithm

SHEN Jian, XIA Jing-bo, FU Kai, SUN Yu

(Institute of Information & Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: In allusion to service differently according to the different packets priority for the DTN network, this paper put forward the SDRP algorithm. The algorithm presented the concept of the reference probability, which was defined differently according to the packets priority of meeting hybrids. If the reference probability of meeting hybrid was greater than that of sending node, the packet would be transmitted. Simulation results show that the SDRP algorithm distinguishes different priority packets through hierarchical distributed delivery ratio. The algorithm achieves the function of distinguishing services in DTN network without changing the original network communication performance.

Key words: DTN network; routing algorithm; service distinguished; reference probability; SDRP (service distinguished routing protocol) algorithm

0 引言

Internet体系结构和其中许多协议无法很好地适用于存在高延时路径和频繁分裂的网络,如陆地移动网络、军事无线自组织网络、星际网络及传感器等,这一类的网络被称做受限网络^[1]。然而,受限网络中通信源和目标不存在完整连通路径,并不意味着不能实现通信,由于节点的移动,两个节点可以进入相互通信范围而交换数据^[2]。DTN (delay tolerant network) 网络在2003年由Fall等人^[1,3]首次提出,其基本设计目标是支持具有断续连接、大时延、高误码率等特性的异构网络的互联和互操作。影响DTN网络正常运行的关键技术有很多,路由技术便是其中之一。根据DTN的特点,网络中节点具有快速移动性,链路具有频繁中断特性,所以DTN以随机路由为主。随机路由的经典算法有传染算法(epidemic)^[4]、喷射和等待算法(spray and wait)^[5]、消息摆渡算法(message ferrying)^[6]以及PROPHET算法^[7]。其中PROPHET算法是以节点之间的历史相遇频率作为计算转发概率的依据,并将消息转发给效用较大的节点,以提高消息成功交付的概率,该算法的应用较为广泛。同时,在实际网络中,根据数据的重要程度不同,数据通常具有不同的优先等级,这也在路由中需要考虑的问题。

本文在PROPHET算法的基础上,提出了一种区分服务的概率路由算法SDRP,重新定义路由转发的策略,使网络能够根据数据包优先级的不同进行区分服务。

1 相关工作

1.1 优先级定义

在DTN的体系结构中,BUNDLE层的进程控制标示比特层通过第7、8两个字节定义了数据的优先级,如图1所示。

2	1	0
0 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
status report	class of SVC.	general

图1 BUNDLE层的进程控制标示比特层

其共分为三个等级:00 = 低优先级,01 = 中优先级,10 = 高优先级。DTN所有区分优先级的路由算法都是基于此定义了三种不同优先级,本文的工作也是在定义的三种优先级的基础上展开的,在识别出数据包的优先级后,采取相应的路由策略,实现区分服务的功能。

1.2 基于优先级的路由算法

现有的DTN路由算法中,基于优先级区分服务的有以下几种:文献[8]把消息最大拷贝数表示为消息初始优先级函

收稿日期:2012-11-11; 修回日期:2012-12-22 基金项目:全军军事学研究生课题资助项目

作者简介: 申健(1988-),男(满族),辽宁鞍山人,硕士研究生,主要研究方向为DTN网络(819074565@qq.com);夏靖波(1963-),男,河北秦皇岛人,教授,博导,主要研究方向为通信网络规划与管理等;付凯(1987-),男,山东济宁人,硕士研究生,主要研究方向为容迟/容断网络;孙昱,男,江西吉安人,硕士研究生,主要研究方向为网络流量提取。

数,根据优先级的不同,在转发时,高优先级数据将多转发固定数量的副本给相遇节点,以提高递交率,该算法没有根据各节点的转发特性不同而进行转发策略区分。文献[9]通过为后续高优先级业务预留缓存资源的方法,减小DTN中由于保管传输协议造成节点缓存资源的耗尽而引起的网络拥塞,从而改善服务质量,该算法在节点缓存较低时或高优先级数据频繁到来时,会造成低优先级数据极大的延迟及丢包率,严重影响了低优先级数据的传输。文献[10]只考虑了在网络出现拥塞时,优先丢弃低优先级数据包以保证高优先级数据包的顺利转发,并没有考虑网络未发生拥塞时服务的区分问题。文献[11]在传染路由算法的基础上,根据信息的优先级,分队列存储管理并采用不同的转发策略,整体上提高了网络的利用率并降低了时延,但数据并没有根据优先级的不同而进行服务区分。

2 算法设计

DTN路由的一个主要目标是最大可能地传递消息^[12],即递交率是DTN路由中最重要的评价指标。DTN网络中数据包的优先级即为数据包的重要程度,不同优先级的数据包应该拥有不同的递交率以区分其重要程度。本文SDRP算法根据各节点的转发概率特性,在保证各优先级数据均能以各自概率实现递交的基础上,实现按优先级的服务区分。

2.1 转发概率计算

本文提出的SDRP算法在转发概率计算阶段采用PROPHET算法的计算与更新方法,不同节点相遇时计算相互间的转发概率,主要包含以下三种情况:

a) 当两节点相遇,彼此在对方的通信范围之内,转发节点将更新自身的转发概率,转发概率更新公式为

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

其中: P_{init} 为设定的初始常量。由式(1)可以看出,若转发节点与其他节点相遇较为频繁,那么其转发概率也相对较高。

b) 经一段时间,若两节点没有相遇,或彼此并没有在对方的通信范围内,那么转发节点的转发概率相应降低,其更新概率公式为

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

其中: $\gamma \in [0,1]$ 为衰减常数, k 为上次概率更新后经过的时间单元个数。由此可见,当转发节点一定时间没有与其他节点相遇,那么其转发概率将下降。

c) 若 a, b 两节点经常相遇, b, c 两节点经常相遇,那么 c 是 a 的良好中继节点, a, c 间的概率更新公式为

$$P_{(a,c)} = P_{(a,c)\text{old}} + (1 - P_{(a,c)\text{old}}) \times P_{(a,b)} \times P_{(b,c)} \quad (3)$$

即节点间的转发概率具有传递属性。

2.2 消息转发过程

2.2.1 转发条件

为区分不同优先级的服务,本文提出了参考概率这一概念。当高优先级数据包转发时,需要增加其转发概率,提高其可达性。若节点 a 向节点 d 发出消息,当节点 a 与另一节点 b 相遇时,将 b 的转发概率 $P_{(b,d)}$ 与节点 a 的参考概率 P_r 相比较。若 $P_{(b,d)} > P_r$,则转发此信息,否则不转发。参考概率定义为

$$P_r = C \cdot P_{(a,d)} \quad (4)$$

当优先级为高时, $C < 1$;当优先级为中时, $C = 1$;当优先级为低时, $C > 1$ 。由式(4)可见,当优先级不同时,参考概率相应不同。当数据包为高优先级时,参考概率较小,即相遇节点转发概率的参考阈值较低,更多的数据包将满足转发条件实现转发,以此提高递交率。当数据包为中优先级时,参考概率等于节点 a 的转发概率。当数据包为低优先级时,参考阈值较高,较少的数据包副本在网络中传输,降低了递交率。

2.2.2 参数选取

网络转发中的参考概率同链路的带宽与消息的大小相关。数据包的优先级由高到低依次定义为3、2、1级,用字母 x_h, x_m, x_l 表示, x 为任意一个数据包的优先级。 C 的取值定义为

$$C = 1 + 0.1(x_m - x) \frac{x_m^2}{x+1} \left(\frac{B}{L}\right)^{x-x_m} \quad (C > 0) \quad (5)$$

其中: B 为链路带宽, L 为消息大小。当 $x = x_h$,即高优先级时, $C < 1$;当 $x = x_m$,即中优先级时, $C = 1$;当 $x = x_l$,即低优先级时, $C > 1$ 。由式(5)分析,当数据包传输时,若带宽较高,或消息较小,则说明网络冗余相对较大,链路相对空闲,可以降低对参考阈值的要求,降低 C 的取值,以此传输更多的数据包副本,以提高数据的递交率及网络的利用率,反之亦然。

2.3 算法可行性分析

2.3.1 基于优先级的递交率分析

以两跳转发为例进行优先级递交率分析。假设节点 a 向节点 d 转发过程中,中继节点中的 m 个节点,它们的转发概率分别为 $P_{(1,d)}, P_{(2,d)}, \dots, P_{(m,d)}$ 。节点 a 的转发概率 $P_{(a,d)}$,即 $P_{(1,d)}, P_{(2,d)}, \dots, P_{(m,d)} > P_{(a,d)}$ 。中继节点中有 n 个节点,它们的转发概率表示为 $P_{(m+1,d)}, P_{(m+2,d)}, \dots, P_{(m+n,d)}$,均小于节点 a 的转发概率 $P_{(a,d)}$ 且大于参考概率 P_r ,即 $P_r < P_{(m+1,d)}, P_{(m+2,d)}, \dots, P_{(m+n,d)} < P_{(a,d)}$ 。现节点 a 中有一高优先级数据包。若按照PROPHET算法,则转发副本给概率为 $P_{(1,d)}, P_{(2,d)}, \dots, P_{(m,d)}$ 的 m 个节点,可得数据的递交率:

$$P = 1 - (1 - P_{(1,d)}) (1 - P_{(2,d)}) \dots (1 - P_{(m,d)})$$

若按SDRP算法,则转发副本给概率为 $P_{(1,d)}, P_{(2,d)}, \dots, P_{(m,d)}, P_{(m+1,d)}, P_{(m+2,d)}, \dots, P_{(m+n,d)}$ 的 $m+n$ 个节点,可得数据递交率:

$$P' = 1 - (1 - P_{(1,d)}) (1 - P_{(2,d)}) \dots (1 - P_{(m,d)}) \dots (1 - P_{(m+n,d)})$$

由于 $0 < 1 - P_x < 1$ ($1 \leq x \leq m+n$),所以 $P' > P$,即实现了高优先级数据包在DTN网络中的高递交率及高可达性。

2.3.2 链路拥塞状态分析

假设网络中各节点的转发概率在 $[0,1]$ 间均匀分布。在PROPHET算法中,网络的一条链路负载为 $S = M \cdot [1 - P_{(a,b)}]$, S 表示网络负载, M 为节点转发过程中相遇的节点数。在SDRP算法中,当高优先级数据包在网络中传输时,单位时间内会产生更多数据包副本,负载为

$$S = M \cdot [1 - C \cdot P_{(a,d)}] \quad (C < 1)$$

会增加网络开销,加重网络负担,甚至造成网络拥塞。中优先级数据包产生的网络负载与PROPHET算法相同($C = 1$)。而低优先级数据包传输时会减少网络中的副本数,传递节点只对那些传递概率大于参考概率的节点发送副本:

$$S = M \cdot [1 - C \cdot P_{(a,d)}] \quad (C > 1)$$

因此会减小网络负载,缓解网络拥塞,即低优先级数据包以牺牲自身的递交率降低SDRP算法的网络负载。在高低优先级数据

包出现概率相近时,SDRP 算法并不会加重网络的拥塞程度。

3 仿真实验与分析

3.1 指标参数

评价 DTN 路由算法的指标通常为递交率、负载比率。网络负载和文献[13]中提出的投递效用指标也从不同方面对网络性能进行了评价。本文通过以上四个指标分析算法的性能,分别定义如下:

a) 递交率。递交成功的数据包数量与总的投递数据包数量的比值。

b) 负载比率。定义为

$$R = \frac{\text{成功传输包的次数} - \text{传到目的地包的个数}}{\text{传到目的地包的个数}}$$

用来描述数据传递的重复率。负载比率越高说明网络的效能越低,若负载比率为 0,即成功传输包的次数等于传到目的包的个数,则说明传输效率为百分之百。

c) 网络负载。网络内部的数据传输率,可用网络中的数据包数量表示。

d) 投递效用。定义 η 为递交率与网络负载的比值,用来描述相同网络负载下的递交率,通过投递效用能很好地比较网络性能。

3.2 仿真场景设置

ONE 仿真平台是基于 Java 的离散事件仿真器,是专门针对 DTN 协议框架而设计的,可以实现移动模型、路由算法及应用协议的仿真。本文采用 ONE 仿真平台进行实验,在该平台中应用 SDRP 算法实现不同优先级的服务区分,并与 PROPHET 算法进行比较。

仿真模拟场景采用 ONE 中默认场景,模拟区域大小为 $4500 \text{ m} \times 3400 \text{ m}$,由 126 个节点组成。节点共分为三组,根据三组节点的特点不同分别进行设置。第一组为行人步行节点,速度为 $0.5 \sim 1.5 \text{ m/s}$,节点缓存 50 MB ,节点 80 个。第二组为汽车行驶节点,速度为 $2.7 \sim 13.9 \text{ m/s}$,节点缓存 50 MB ,节点 40 个。第三组为有轨电车行驶节点,速度为 $7 \sim 10 \text{ m/s}$,节点缓存 50 MB ,节点 6 个。默认仿真参数如表 1 所示。

表 1 默认仿真参数

参数	默认值
仿真场景	$4500 \text{ m} \times 3400 \text{ m}$
仿真时间	$10\,000 \text{ s}$
事件更新间隔	0.1 s
消息产生间隔	$25 \sim 35 \text{ s}$
消息大小	1 M
链路带宽	2 Mbps

3.3 仿真结果

用 ONE 仿真平台对以上场景进行仿真,将 SDRP 算法同 PROPHET 方法进行比较分析,并将不同优先级的数据包根据不同指标进行比较。

1) 对递交率的影响

由图 2、3 可见,SDRP 算法中,不同 TTL 的情况下,三种数据包按照优先级低中高的不同,递交率呈层次化分布。而 PROPHET 算法对数据包的优先级不敏感,没有针对不同优先级对数据包进行区分服务,不同优先级数据包的递交率基本一致。另外,当 TTL 下降时,部分在缓存中的数据包由于 TTL 不

足,无法在高延迟的 DTN 网络中实现数据的递交,因此,在 TTL 下降的过程中,递交率总体呈下降趋势。

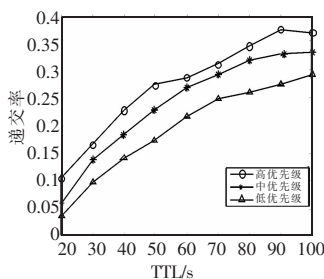


图 2 SDRP 算法递交率对比

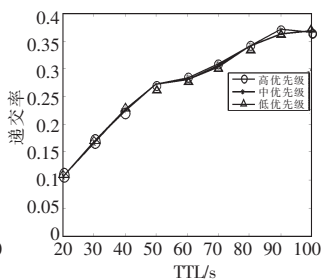


图 3 PROPHET 算法递交率对比

2) 对负载比率的影响

负载比率描述的是传递到目的节点数据的重复性。在网络传输质量评价中,传输效率同负载比率呈负相关的关系。由图 4 可见,在 SDRP 算法中,低优先级数据包拥有更低的负载比率,即传输效率更高。高优先级数据包拥有更高的负载比率,传输效率更低。

由以上实验分析可知,SDRP 算法中不同优先级数据在网络传输中拥有不同的递交率,优先级越高转发的概率越大,实现了按优先级区分服务的功能。从性能上分析,高优先级数据包递交率提高,但会造成网络负载的加重,传输效用有所下降,负载比率即到达的数据重复率增加。低优先级数据包递交率下降,却减轻了网络的负担,传输效用大幅上升,数据到达的重复率也有所降低,平衡了整个网络的综合性能。

3) 对网络负载的影响

图 5 为不同优先级数据包在网络中传输所产生的数据副本数。由于在 PROPHET 算法中不同优先级对副本转发数量没有影响,中优先级数据在 SDRP 算法同 PROPHET 算法中的数据副本数相同。由图可见,高优先级数据在 SDRP 算法中产生较多副本,为网络带来了高负载,而低优先级数据在 SDRP 算法中却减少了网络中的副本数,减小了网络负载。

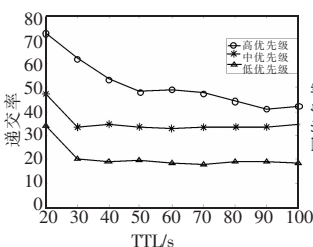


图 4 SDRP 算法负载比率对比

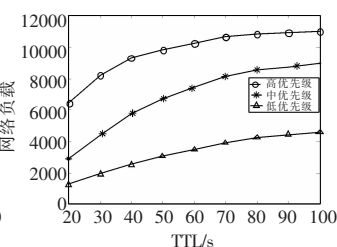


图 5 SDRP 算法网络负载比较

4) 对传递效用的影响

传统的评价参数无法完全评价算法的优劣,例如传染算法和 PROPHET 算法的递交率较高,但是网络开销很大;喷射和等待路由的递交率较低,但它的网络开销很小。故采用传递效用这一参考指标,即比较相同开销下的递交率,来比较算法带来的网络性能。

由图 2、6 可见,高优先级数据在 SDRP 算法中递交率上升了 13.9% ,传递效用下降了 19.3% 。低优先级数据在 SDRP 算法中递交率下降 18.8% ,但是其传递效用却大幅度增加了 67.6% 。低优先级数据虽然部分牺牲了自身的递交率,却极大地提升了网络的传递效率。

4 结束语

本文在传统 PROPHET 算法的基础上, (下转第 1782 页)

4.2 算法收敛性和稳定性分析

由 LMS 算法可知,迭代步长值的选取是影响算法稳定性和收敛性的主要参数,下面就在 $\mu = 0.03$, $\alpha_1 = 0.8$, $\alpha_2 = 0.1$, $\alpha_3 = 0.1$ 时对 LMS 和 MC-LMS 抗干扰算法进行性能分析。

图 7 横轴是数据快拍数,纵轴是误差信号的相对幅值。灰色标记为误差信号 $e(n)$,黑色标记为期望信号 $d(n)$ 。可以看出(b)的误差信号 $e(n)$ 收敛速度较快,并有较小的稳态失调误差,克服了 LMS 算法收敛速度和稳态误差难以兼顾的问题。

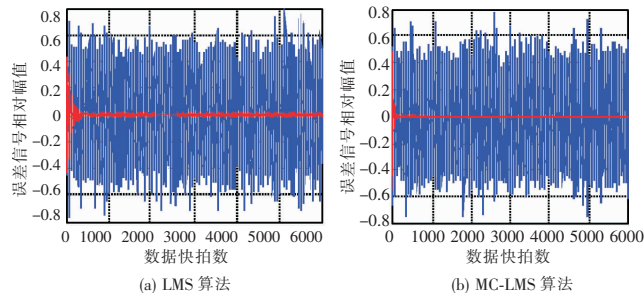


图 7 算法收敛性和稳定性分析结果

综合以上仿真结果可以得出:在干扰信号相干环境下,该抗干扰算法不必区分期望信号和干扰信号,避免常规的干扰抑制方法由于自相关矩阵不满秩时存在的零点指向误差问题,通过频谱分析图可以得到抑制干扰的效果,且算法收敛速度快、稳定性高,应用于导航接收机系统时,可以保证其正常工作实时不被干扰。

5 结束语

本文提出了一种基于均匀圆阵的相干干扰抑制方法。该方法不需要任何先验信息,在相干干扰无法形成具有固定零陷

方向波束图的情况下,仍能使干扰信号的频谱能量仍被抑制到了噪声限,达到抗干扰的目的。仿真结果验证了算法的有效性。该方法简单可行、效果好,在雷达、卫星扩频通信等强干扰环境中应用广泛。特别是在自适应抗干扰天线工程设计的关键技术—MC-LMS 算法的 FPGA 实现中,MC-LMS 算法运算简单,易于硬件实现,在不损耗大量资源的情况下满足硬件系统的需求。

参考文献:

- [1] 杨莘元,温萍萍,杨雷. 空间平滑自适应阵的性能研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2000, 21(6): 39-46.
- [2] 赵永波,张守宏. 存在相干信号时的最优波束形成[J]. 通信学报, 2002, 23(2): 113-121.
- [3] 张杨,邹洲,吕泽均,等. 基于均匀圆阵的相干信号波束形成方法[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(1): 20-23.
- [4] 冯起,吕波,朱畅,等. GPS 接收机抗干扰自适应阵性能仿真研究[J]. 计算机仿真, 2010, 27(1): 94-97.
- [5] 龚耀寰. 自适应滤波—时域自适应滤波和智能天线[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 37-38.
- [6] 戴凌燕,王永良,李荣锋. 一种相干环境下的稳健自适应波束形成算法[J]. 现代雷达, 2009, 31(11): 59-63.
- [7] 桑怀胜,李峥嵘,王飞雪,等. 采用 RLS 算法的功率倒置阵列的性能[J]. 国防科技大学学报, 2003, 25(3): 36-40.
- [8] GECAN A, ZOLTOWSKI M. Power minimization techniques for GPS null steering antenna [C]//Proc of Institute of Navigation (ICN) Conference. 1995: 861-868.
- [9] ALI R L, KHAN S A, ALI A, et al. A robust least mean square algorithm for adaptive array signal processing[J]. Wireless Personal Communications, 2012, 68(4): 1449-1461.

(上接第 1774 页)提出了 SDRP 算法,重新定义了节点的转发策略,解决了在 DTN 网络中根据数据包优先级不同而区分服务的问题。高优先级数据包以牺牲低优先级数据包的递交率为代价提高了自身的递交率,达到了区分服务要求。实验证明,高优先级数据所牺牲的网络性能,低优先级数据均能给予弥补,若高低优先级数据量相差不大,则整个 DTN 网络在实现服务区分的同时,性能将保持稳定。下一步的工作将继续围绕本文提出的 SDRP 算法展开,将网络传输性能进一步优化。

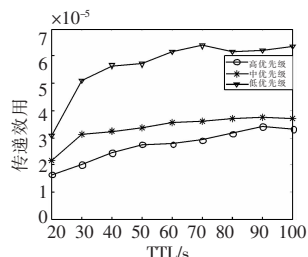


图 6 SDRP 算法传输效用对比

参考文献:

- [1] FALL K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets [C]//Proc of ACM SIGCOMM. 2003: 25-29.
- [2] 熊永平,孙利民,牛建伟,等. 机会网络[J]. Journal of Software, 2009, 20(1): 124-137.
- [3] BURLEIGH S, HOOKE A, TORGERSON L, et al. Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary Internet[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(6): 128-136.

- [4] NAIN D, PETIGARA N, BALAKRISHNAN H, et al. Integrated routing and storage for messaging applications in mobile Ad hoc networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2004, 9(6): 595-604.
- [5] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]//Proc of ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking. New York: ACM Press, 2005: 252-259.
- [6] ZHAO W, AMMAR M, ZEGURA E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile Ad hoc networks [C]//Proc of ACM Mobihoc. New York: ACM Press, 2004: 187-198.
- [7] LINDGREN A, DORIA A, SCHELEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.
- [8] 苏会卫,孙琳,欧瑜枫. DTN 中服务感知的自适应消息转发路由算法[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(17): 3816-3819.
- [9] 徐昌彪,王宇,祁彦. DTN 中基于服务等级的 Push-Pull 拥塞控制研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(10): 3929-3931.
- [10] 王贵竹,徐正欢,李晓峰. DTN 中依据报文质量的拥塞控制策略[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(9): 74-77.
- [11] 郭航,王兴伟,黄敏,等. 基于多队列自适应的 DTN 传染路由算法[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(4): 829-832.
- [12] 樊秀梅,单志广,张宝贤,等. 容迟网络体系结构及其关键技术研究[J]. 电子学报, 2008, 36(1): 161-170.
- [13] 张迪,王贵竹. DTN 中概率选择的散发等待路由[J]. 通信技术, 2010, 43(5): 145-147.