

文章编号:1001-9081(2010)12-3180-04

高性能的机会网络数据转发机制—EH-EC

杨波,王雷

(湖南大学软件学院,长沙410082)

(wanglei@hnu.cn)

摘要:针对 H-EC 数据转发机制所存在的系统漏洞问题,提出了一种有效解决系统漏洞的方法,同时提出了一种对数据块进行有效划分的方法。在此基础上,设计并实现了一种新的数据转发机制——增强混合擦除编码机制(EH-EC)。在 OMNET++ 下的仿真结果表明:EH-EC 时延更少,转发成功率更高,但是相对 H-EC 会增加少量的路由信息冗余。

关键词:机会网络;数据转发;混合擦除编码

中图分类号: TP393.17 **文献标志码:** A

EH-EC: High performance data forwarding mechanism for opportunistic networks

YANG Bo, WANG Lei

(Software School, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China)

Abstract: An efficient method was proposed to solve the system black hole problem existed in Hybrid of Erasure Coding (H-EC). And at the same time an original method was proposed to divide messages into small data blocks. Based on these, a new forwarding approach called Enhanced Hybrid Erasure-Coding (EH-EC) was proposed and achieved. Theoretical analysis and simulation results show that messages can be transmitted by EH-EC from source node to destination node with lower delay and higher delivery rate than H-EC by the OMNET++ platform, but only a few router redundancies will be increased.

Key words: opportunistic network; data forwarding; Hybrid of Erasure Coding (H-EC);

0 引言

随着网络的发展,无线通信技术的应用在实际生活中越来越重要,同时由于各种各样的原因使得无线网络的连通性无法得到有效保障,比如说节点的移动、节点稀疏、射频的关闭以及障碍物造成信号的衰减等。于是移动自组织网络(Mobile Ad hoc Network, MANET)朝着两个方向演进:一个是网格网络;另一个是机会网络。机会网络是一种可以允许有较大时延的、能容忍中断的 DTN (Delay and Tolerant Network)。它并不需要在源节点与目的节点之间存在完整的端到端路径,可以依靠节点之间的移动并通过“存储—携带—转发”的模式来完成消息传输。

如图1所示,源节点S与目的节点D之间并不存在任何端到端路径,在a时刻,源节点S产生所需要发送的消息,通过自身的移动在b时刻与中继节点A相遇,将消息通过Wi-Fi接口(或其他具有无线功能的接口)传送给节点A,然后A将消息存储在自己的缓存中,等到遇到下一个节点B的时候将消息再转发出去,依此类推,最终目的节点D会在d时刻接收到源节点S所发送的消息。

机会网络在很多场合都得到了应用,比如说野生动物的追踪、车载网络的组建、偏远地区组网以及手持设备组网等,但是在不同场合都有效的机会网络数据转发机制依然在研究中,因此数据转发机制成了机会网络的主要研究方向。

机会网络的路由机制按照转发策略可以分为四种:基于冗余的转发、基于效用的转发、基于冗余效用的转发以及基于节点主动运动的转发^[1]。其中传染转发机制(Epidemic

Forwarding, EF)是目前最流行的转发机制^[2],它只要求目的节点接收到注入在网络中的多个副本中的一份副本即可表示成功转发,但是它却造成网络中有大量的冗余消息,严重的情况下会导致网络拥塞,甚至有可能导致网络瘫痪。

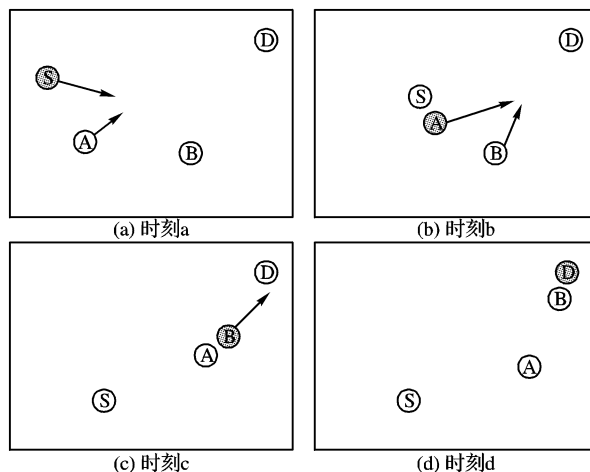


图1 机会网络示意图

为了克服 EF 存在的缺陷,许多研究人员提出了各种其他的数据转发技术,如文献[3]提出了转发机制 PROHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounter and Transitivity),它利用基于历史相遇可能性的效用值来对节点进行选择来转发消息的,减少了信息冗余量,但是信息冗余量还是很大。减少传染转发网络开销的最显著的协议是 Binary Spray and Wait (SW)^[4],但是该协议在节点移动区域比较固

收稿日期:2010-05-19;修回日期:2010-07-23。 基金项目:湖南大学“中央高校基本科研业务费”资助项目。

作者简介:杨波(1984-),男,湖南衡阳人,硕士研究生,主要研究方向:机会网络;王雷(1973-),男,湖南长沙人,副教授,博士,主要研究方向:无线传感器网络、机器学习、生物计算。

定的环境下并无良好表现。于是在此基础上结合基于历史可能性路由转发机制 (PROPHET) 的优点改进了 SW 的 wait 阶段,提出了 Spray and Focus (SF)^[5] 协议,从而进一步降低了转发时延,并且能更好地适应多种环境,只是相对增加了路由信息冗余量。为了在提高转发成功率和减少时延的同时又不过多增加信息冗余量,文献[6]提出了一种基于擦除编码 (Erasure-Coding, EC) 的转发机制。由于 EC 存在无法充分利用连接持续时间从而降低了传输效率的问题,于是文献[7]提出了一种基于 EC 和复制的混合式路由机制——H-EC (Hybrid of Erasure Coding),使得消息无论是在传输性能比较好的情况下还是在传输性能比较差的情况下都能有良好的表现。但是 H-EC 依然存在缺陷,它会在节点容易出现故障的网络中出现系统漏洞,从而降低传输的效率。针对 H-EC 中存在的系统漏洞的问题,本文提出一种通过控制数据块发送数量的方法。

1 H-EC 的思想以及存在的问题

1.1 基于擦除编码的转发机制

基于编码的转发机制是指将需要转发的数据编码成相互冗余的消息,目标节点无需接收到所有编码后的消息而仅需接收到部分编码后的消息就可解码并还原出原始数据。EC 转发机制的主要思想是^[6]: 源节点先将大小为 M 的消息首先复制 r 份并将这些消息进行编码,然后将这 r 份消息按照 b 字节大小分成 Mr/b 个数据块,目的节点只要接收到 Mr/b 中任意 $M(1 + \varepsilon)/b$ 个数据块就可重建原始数据, ε 是由具体编码算法确定的小常数^[8]。该机制中源节点将编码后的数据块平均分配给 n 个相遇的中继节点,每个中继节点携带部分数据块直到遇到目标节点。由于每一次的源节点与中继节点相遇的时候只发送 Mr/b 个数据块中的 $1/n$ 则消息,因此保证了网络连接最差情况下的传输性能,但是在节点连接时间足够长的情况无法充分利用连接时间而降低了传输性能,如图 2 所示,EC 浪费了大量可以用来转发数据的连接时间。

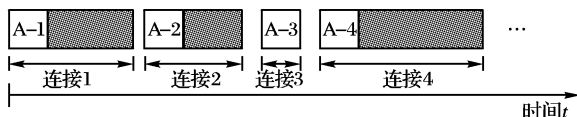


图2 EC示意图

1.2 混合擦除编码转发机制

从文献[7]的结论可知在连接状况比较好的情况下,EC 表现平平,于是 Ling-Jyh 等人提出了一种基于 EC 和复制的混合式路由机制 H-EC,如图 3 所示。它的主要思想是源节点生成消息编码后的两个副本,当遇到中继节点时,首先将第一份副本的数据块按照 EC 的传输策略传输给相遇节点,并且在该连接持续时间内,将第二份副本的数据块尽可能多地转发给该相遇节点,通过充分利用每次连接机会取得更好的传输性能。

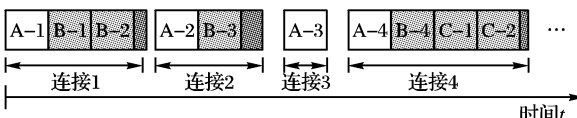


图3 H-EC示意图

1.3 H-EC 中所存在的问题

研究中发现尽管 H-EC 能在连接情况或好或坏的时候都有良好表现,但是还是存在以下三个问题: 1) H-EC 在分发源节点产生的 kr 个数据块的时候并没有进行选择转发,源节点只是将分割后的 kr 个数据块分发给与它最先相遇的 kr 个节

点,这样就存在大量无效转发的问题,有可能造成数据块缺失严重最终无法重构原始消息;2) 无论是 EC 还是 H-EC 转发机制都只是提及将数据分成 b 字节大小的数据块,没有提及如何确定 b 值的大小;3) H-EC 存在由于节点掉电和节点故障等问题会导致 H-EC 的性能降低等问题,称之为系统传输漏洞,如图 4 所示。

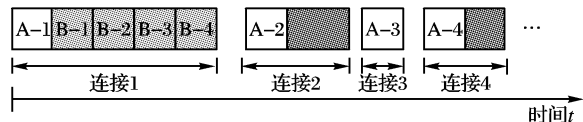


图4 传输漏洞示意图

根据 H-EC 的转发机制可知,它将要传输的数据经过冗余编码后分块成 $A-1 \dots A-4$ 并且复制 $A-1 \dots A-4$ 为 $B-1 \dots B-4$,此时若是源节点在与某一个相遇的可传输数据的中继节点连接时间足够长,使得 $B-1 \dots B-4$ 过多甚至完全传送到该可传输节点上,此时若该节点断电或损坏,势必会降低 H-EC 的性能。因此需要一种更为有效的转发方式来减少时延和提高转发的成功率,并且能在容易出现故障的网络中也有良好的表现。

2 EH-EC 相关定义

定义 1 数据块大小 b 划分问题。根据研究表明, b 的大小跟连接时间长度和传输速率 λ 有关,根据香农定理可知 λ 的值与带宽有关,带宽越宽传输速率也越快,实验中给定固定的带宽,那么 λ 也是定值。定义节点间最小连接时长为 $\min\{t_{ik_end} - t_{ik_begin}\}$,那么可定义计算 b 的公式如下:

$$b = \lambda \cdot \min\{t_{ik_end} - t_{ik_begin}\} \quad (1)$$

其中 t_{ik_end} 和 t_{ik_begin} 分别表示节点 i 与 k 的最近一次连接的结束时间和最近一次连接的开始时间,那么 $t_{ik_end} - t_{ik_begin}$ 的值为 i 与 k 的最近连接时长。从式(1)可知,由于 λ 是定值,那么 b 与节点间最小连接时间长度成正比。之所以选择式(1)来划分数据块的大小,目的是为了保证在任何一个时间间隔至少有一则消息能顺利发送到中继节点而不错过转发机会。

定义 2 设置传输数据个数阈值 k 。根据 EC 理论可知目的节点只要接收到 k 个数据块就能还原出数据,因此节点无需给与其相遇的节点发送过多数据块以防止出现某节点出现故障所造成的系统漏洞。即是说,在节点连接时间内尽可能多地发送 $B-1 \dots B-4$ 的数据块,但是上限只是 k 个数据块。据文献[6]可知 $k = n/r$,其中 n 为将原数据化为成数据块的个数, r 表示源节点中原始数据拷贝的份数。

如图 5 所示,当 $n = 4, r = 2$ 时,如果在连接 1 所相遇的节点 1 出现故障,目的节点依然能在从中继节点 2 所接收到的 B-3 和 B-4 直接重构数据,从而防止了系统漏洞的出现。

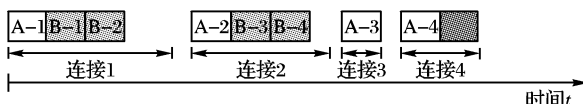


图5 解决传输漏洞示意图

定义 3 设置传输可能性阈值 P_{th} 。为了提高节点之间数据转发的有效性,设置某个相遇可能值为传输可能性阈值 P_{th} 。

首先根据源节点 S 的路由表中的 nextHopId 可以知道源节点与哪些中继节点 M 有连接并从路由表获得相应的 $P_s(M)$ 的值,假设源节点要将数据发送给 n 个与其相遇的节点,那么选定 $P_s(M)$ 的值排在第 $5n/4$ 的 $P_s(M)$ 最小值作为阈值 P_{th} ,之所以多选择 25% 的节点作为源节点的可能中继节点,主要是为了防止数据更新不够及时而错过一些转发

机会。

3 EH-EC 路由表设计及其算法

3.1 路由表的设计

3.1.1 路由表的格式

路由表的设计在 EH-EC 转发机制中占据着举足轻重的地位,在交换要传输的数据之前先要交换路由表中的信息,一方面为了查询各个节点所需要的信息和自己所拥有的信息,另一方面也为让各个节点知道通过什么路径能成功转发到相应的目的节点上去。每个节点的路由表所包含的信息如下面所示的结构:

(targetId, nexthopId, deliveryProb, minConTime, conTime, TTL)

路由表中各个元素所表示的含义如下:targetId 为该节点所能相遇的所有节点 ID, nexthopId 是指与该节点在某一时刻相连接的所有节点 ID 号,并且同时给出该节点能与 targetId 相遇的可能性值 deliveryProb, deliveryProb 所采用的值将是根据文献[3]中式(1)~(3)计算所得出来的值, conTime 表示节点间的连接时间值,而 minConTime 表示整个网络中所有节点间连接时间的最小值,路由表中的 TTL 类似于计算机网络中的 TTL(Time-To-Live),使用它的目的是为了防止网络中出现大量冗余,与其他网络不同的是,在机会网络中当 TTL 为 1 且接收到消息的不是目的节点而是中继节点时,该中继节点仅仅是缓存该消息直到遇到目的节点。

路由表中的这些数据要作及时更新,以保持数据的有效性,以便计算出更精确更有效的数据。

3.1.2 路由表的获得

节点在移动过程中记录下所有能够相遇的节点 ID 作为 targetId,并获得相遇可能性值 deliveryProb,同时记录在信号范围内的所有相邻节点 nexthopId 以及 conTime,每个节点将自身所记录的连接时间的最小值在传输间隙内周期性在网络中广播,节点收到后与路由表中的 minConTime 进行比较,若值小于 minConTime 则更新,否则不更新。当源节点要发送消息的时候,设置 TTL 值,消息每经过一跳,则 TTL 减 1,由此各个节点都获得了相关节点的信息。

3.1.3 路由表的更新

在 3.1.1 节已经提过路由表要经常更新以保证数据的及时性和有效性,这样才能保证消息传送的时延最小和消息传输的成功率最高。本文采取的是在给定的传输间隙内周期性地更新。当一个节点收到一个路由表,它就将接收到的路由表与存储在自己本身的路由表进行对比。若是接收到的路由表与本身路由表目标节点 ID(targetId)相同,就相互交换路由表的信息,以保证路由表信息的最新。值得注意的是,哪怕接收到的路由表与存储在自己本身的路由表中的 deliveryProb 或者 minConTime 或者 conTime 的值相等也对数据进行更新,这是为了保证数据及时得到更新,而不会因为固定更新次数中没有得到更新而将该节点的路由表删掉。但是 TTL 只在数据进行一次传输后才减 1,数据才会更新。

由于路由表的大小总是有限的,当路由表满了后,节点就应该将路由表中那些不再与该节点相联系或者与该节点相连接但是效用值较低的节点删除掉,替换为那些相遇可能性较高的节点的值,从而也提高转发的有效性。

3.2 EH-EC 路由转发机制算法

步骤 1 源节点 S 首先将大小为 M 字节的消息复制 r 份,然后将消息按照式(1)所计算出的 b 大小进行数据块分块,那

么可以分成 Mr/b 个数据块,令 $Mr/b = kr = n$,接着将这 n 个数据块复制一份,分别定义第一份 n 个数据块编号为 $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1n}$,第二份 n 个数据块为 $B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1n}$ 。

步骤 2 根据定义 4 合理选择传输可能性阈值 P_{th} ,由此源节点 S 将 $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1n}$ 分发给与所选择的 $5n/4$ 个节点中最先相遇的 n 个节点,如果源节点与中继节点连接时间足够长的话,尽可能多地发送 $B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1n}$ 中数据块,但是最多达 k 个,由此将源节点的消息发送给最有可能相遇的 n 个节点。

步骤 3 源节点 S 将 $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1n}$ 及 $B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1n}$ 分发给 n 个节点后,中继节点 M 采取主动方式将其所接收到的消息按照 $P_M(\text{targetId})$ 的值的大小由 $P_M(\text{targetId})$ 值小的节点发送到 $P_M(\text{targetId})$ 值大的节点。

步骤 4 为了减少冗余,源节点在路由表中设置了 TTL 值,每转发一次数据 TTL 值减 1,当中继节点路由表中的 TTL = 1 时,就等待与目的节点相遇进行直接转发。

4 仿真实验与理论分析

4.1 实验平台的搭建

本实验在 Windows XP 下进行,开发环境使用 OMNET++ 4.0 集成 IDE 环境进行仿真实验。实验所采用的方法是将 EH-EC 在以下三个方面的性能指标与 Epidemic Forwarding、PROPHET、H-EC 相比较,最后得出结论。

数据传输成功率 在固定时间 T 内,发送成功的消息数与总消息数的比率。

数据传输时延 某则消息从源节点产生的时刻到数据被目的节点所接收时刻中间所经历的时间。在延时容忍网络中,总希望以最少的传输时延完成数据的传输,它说明了某个数据转发机制的性能。

路由冗余量 传输过程中所有节点所传输的数据总量与所需要发送消息的数据总量的比例,该值通常大于等于 1。这个指标给出了在整个传输过程中所产生额外数据总量的信息,同时它也给出了在传输过程中需要浪费能量的总量。

实验场景描述如下:其大小为 $1200\text{ m} \times 800\text{ m}$,由 1 个源节点、1 个目的节点和 32 个中继节点共 34 个节点组成,并且假设所有节点的缓存都是无穷大的,所有节点在该大小的场景中随机均匀分布,节点传输距离为 320 m,所采用的移动模型是随机移动模型,即节点在仿真场景中以任意角度、移动速度在 $20 \sim 50\text{ m/s}$ 随机移动,每则消息的大小也固定为 8 KB。对于 EC 和 H-EC,所有的小数据块统一分成 1 Kb,仿真都设置 $r = 2, n = 16$,即是说目的节点只需要接收到 $k = 8$ 个数据块即可还原出原始数据,实验结果如下所述。

4.2 互补累积分布函数曲线

图 6 给出了互补累积分布函数(Complementary Cumulative Distribution Function, CCDF)曲线图,该曲线图隐含地给出了数据传输成功率的分布,可以看出 H-EC 以及 EH-EC 在传输成功率为 50% 左右的时候相对 EF 和 PROPHET 时延较大,而传输成功率在 85% 以上的时候时延相对 PROPHET 时延较小,但是相对 EF 要大,而且 EF 能在很短的时间内迅速将消息发送到目的节点。出现上述情况的原因在于:一方面仿真实验采用的是使用具有无穷大的缓存的节点,从而 EF 能在最短的时间内将消息发送到目的节点,但是这并不能说明 EF 就是最好的数据转发方式,因为资源是有限的,实际中缓存也是有限的;另一方面 H-EC、EH-EC 需要足够多的时间接收到足够多的中继节点所提供的小数据块,从而造成在传输成功率低的时候时延相对较大,但是当 H-EC、EH-EC 接收到一定数目的小数据块的时候,它们仅仅需要

再接收到很少的数据块即可还原出原始消息,而且不会像 EF 和 PROPHET 因为节点连接的时间不够长而错过接收数据块的机会,因此在传输成功率较高的时候反而时延较小。从图 6 可以看出在相同传输成功率的时候,EH-EC 相对 H-EC 所需的时延略少,这是由于一方面在数据分块的时候保证了在任何连接时间内都能顺利发送一则以上的消息,从而会更多地错过数据块的传输机会,另一方面由于 EH-EC 控制了副本数据块在连接时间内传输的个数,这也意味着在连接时间内它可以让节点更多地携带其他的数据块,从而减少了其他数据包的传输延时,进一步保证了节点在更短的时间内能传输更多的数据包以达到减少整个网络中数据包的累积传输时延。

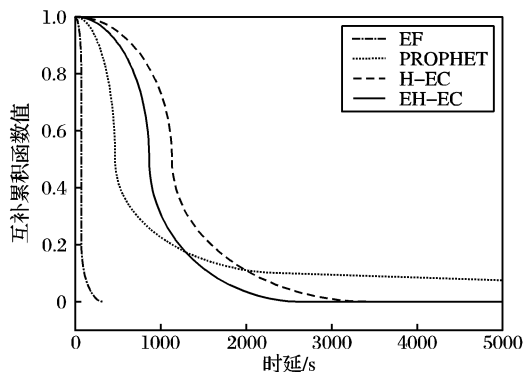


图 6 CCDF

4.3 漏洞实验

如图 7 所示,由于节点掉电、节点故障等问题会产生系统传输漏洞,该实验假设在连接时间内某节点接收到多于 $(n/r + 1)$ 个数据块,节点自动断电成为故障节点。从实验结果可知 H-EC 转发技术的性能下降,与 EC 的性能接近且略低于 EC 的性能,因为节点故障造成能够转发数据的节点数目减少和副本数据块的丢失,从而影响了 H-EC 的性能。而 EH-EC 由于采用了控制副本数据块的发送数目,即使某些节点故障造成副本数据块丢失,但是还有足够多的副本数据块在网络中进行传输,目的节点依然能在网络中接收到所需数目的副本数据块,从而达到还原出原始数据的目的。同时由于 EH-EC 采用了基于可能性的转发机制,使得网络中有更多副本数据块的副本,目的节点也有更多的机会接收到足够多的副本来还原出原始数据。因此,EH-EC 能有效解决节点容易出现故障的网络,在故障网络中也能较好的表现。

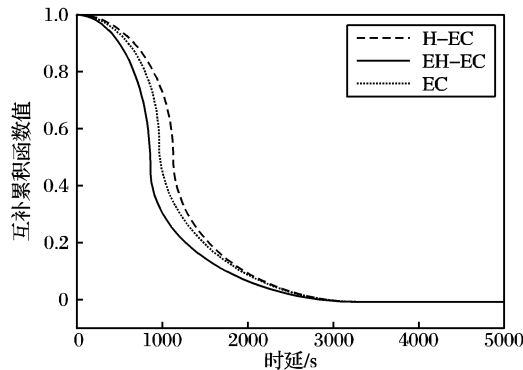


图 7 漏洞实验结果

4.4 信息冗余量

从表 1 可以看出,EF 转发机制由于在转发过程中采用只要相遇节点没有相应的数据块则进行转发,导致整个网络中存在大量相同信息,造成网络负载过重,因而信息冗余量的值最大。而 PROPHET 采用了根据效用值进行转发,对中继节点进行了选择,从而大大降低了网络中的负载,但是信息冗余

量还是很大,这是由于 PROPHET 在根本上采用的还是一种基于冗余的转发机制,只是它结合了基于历史可能性值对节点进行了选择。EC 和 H-EC 则由于采用的是将消息采用两步转发,只有部分中继节点包含所要转发的消息,所以 EC 网络负载值相当小并且其负载值最小,而 H-EC 对分块后的数据块进行了复制,造成它的负载值是 EC 的两倍。EH-EC 却因为在 H-EC 的基础上基于效用值进行了多重转发从而增加了网络的信息冗余量,由于在实验中节点数目比较少,所以设置了 TTL 的值仅设置为 2,实验所得到的信息冗余量相对而言在比较适中的范围。

表 1 各种数据转发机制冗余量

算法	负载值
EF	68.00
PROPHET	40.18
EC	3.96
H-EC	7.92
EH-EC	14.85

5 结语

对于机会网络而言,有效的转发机制是非常必要的,如何以最少的时延、最高的传输成功率以及最小的冗余将消息从源节点发送到目的节点是一个值得研究的热点问题。本文主要阐述了 EH-EC 转发机制,它是综合了 H-EC 和基于效用转发两者优点的产物。尽管它的性能优于很多其他的数据转发机制,但是还有很多需要改进的地方,如是否有更有效的判断机制来定义 $P_i(k)$,是否有更有效的方法来将源节点分割的数据块以更快的速度转发到 kr 个节点上去,是否有更好的策略在保证性能的情况下减少冗余等,这些都是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 熊永平,孙利民,牛建伟,等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 124 - 137.
- [2] VAHDAT A, BECKER D. Epidemic routing for partially connected Ad Hoc networks[R]. Durham, NC: Duke University, 2000.
- [3] LINDGREN A, DORIA A, SCHELÉN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19 - 20.
- [4] 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: ACM Press, 2005: 252 - 259.
- [5] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Spray and focus: Efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility [C]// Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. Washington, D C: IEEE Computer Society, 2007: 79 - 85.
- [6] WANG Y, JAIN S, MARTONOSI M, et al. Erasure-coding based routing for opportunistic networks [C]// Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking. Philadelphia: ACM Press, 2005: 229 - 236.
- [7] CHEN L-J, Y C-H, SUN T, et al. A hybrid routing approach for opportunistic networks [C]// Proceedings of the 2006 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking. New York: ACM Press, 2006: 213 - 220.
- [8] MITZENMACHER M. Digital fountains: A survey and look forward [C]// 2004 IEEE Information Theory Workshop. San Antonio: [s. n.], 2004: 271 - 276.