

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.07.009

基于社会活性和副本限制的 DTN 路由算法*

郭稳涛¹ 李 兵^{1,2} 何怡刚²

(1. 湖南机电职业技术学院 长沙 410151; 2. 合肥工业大学 电气与自动化工程学院 合肥 230009)

摘要:容忍延迟网络(DTN)为提高消息传输成功率,往往采用多副本策略,导致网络消息泛洪现象,需要对消息副本进行限制。提出了一种基于社会活性和副本限制的 DTN 路由算法(social activity and copy-limited based DTN routing algorithm, SACRA),该算法基于节点运动历史轨迹和相邻节点特性定义社会活性,根据社会活性和可用缓冲区大小合理分配相遇节点携带消息的份额和交换消息类型,使消息加速扩散,能尽快到达目标节点。仿真结果表明,与典型的多副本 DTN 路由算法相比, SACRA 能够有效降低了消息转发数和负载比率,当时间在 1 000 s 后成功率在 50% 以上,从而降低了网络开销,并获得较高的消息递交成功率。

关键词:社会活性;DTN 路由算法;副本限制;消息递交成功率

中图分类号: TN911.7; TP301.6 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.5025

Social activity and copy-limited based DTN routing algorithm

Guo Wentao¹ Li Bing^{1,2} He Yigang²

(1. Hunan Mechanical & Electrical Polytechnic College, Changsha 410151, China;
2. School of Electrical and Automation Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Delay-tolerant networks (DTN) often use the copies of message to improve the success rate of message transmission. It can deduce the flooding of the messages in the network. So, the copies of message need to be limited. A social activity and copy-limited based DTN routing algorithm (SACRA) is proposed. The algorithm defines the social activity based on the historical track and the movement characteristic of adjacent nodes. According to the social activity and the size of the unused buffer, the number of message copies and the exchange type of its carrying messages are distributed in a reasonable way. The message can be diffused across the network and carried to its destination node quickly. The simulation results show that SACRA can reduce the network load effectively while retain the message delivery ratio well. When the time is 1 000 s, the success rate is above 50%, and thus the network overhead is reduced and the success ratio of the message delivery is increased compared with other typical routing algorithms.

Keywords: social activity; DTN routing algorithm; copy-limited; success ratio of the message delivery

1 引言

容忍延迟网络(delay tolerant networks, DTN)是近年广受关注的一类新兴的网络体系结构,是由 Kevin 在 2003 年 SIGCOMM 国际会议上提出。能够在宽阔恶劣的条件下,实时收集大量翔实可靠的一手数据,被广泛应用

于星际网络、无线车载网络、工业控制、环境监测、交通管理、国防军事等领域^[1-3]。由于节点的随机移动、DTN 的通信节点间几乎不存在端到端完整固定的传输路径,从而导致网络中数据传输成功率低,误码率高等问题,DTN 网络一般采用“存储-携带-转发”的数据传输策略^[4-6]。因此,合理的 DTN 路由算法已成为 DTN 网络研究热点,如何在保证消息递交成功率的前提下减低网络的消息转

收稿日期:2017-01 Received Date: 2017-01

* 基金项目: 国家杰出青年科学基金(50925727)、国防科技计划(C1120110004, 9140A27020211DZ5102)、湖南省科技计划(2010J4, 2011JK2023)、教育部科学技术研究重大项目(313018)、湖南省自然科学基金(2017JJ5028)资助项目

发数和负载比率是衡量一个 DTN 性能的重要指标^[7-8]。

当前,针对 DTN 路由算法优化问题,国内外研究者进行了一系列研究,主要工作概括大致可以分为两类^[9-10]:基于转发的路由算法和基于泛洪的路由算法。基于转发的路由算法主要思想是消息由源节点向目的节点逐跳转发,在整个转发过程中仅有一个消息副本存在,其具有代表性的路由算法有 Message Ferrying、SimBet 等。这类算法消息递交成功率很低,高度依赖网络的其他节点运动规律和状态信息等先验知识;使用和研究最多的 DTN 算法是基于泛洪的路由算法,其基本思想是每个 DTN 节点将消息转发给与其相邻的节点,以便能够希望获得更高的消息递交成功率,典型的路由算法有传染路由算法 Epidemic、消息副本受限的 SAW 算法^[11-12]。

由于网络中有多个消息副本,可能会导致较大的网络资源开销,从而降低节点的存活期,因此,随着节点的增多,网络的性能一般会急剧下降。王建新等人^[13]针对多副本消息冗余问题和消息局部性扩散存在的问题,提出了一种基于副本限制和社会性的路由算法 RACS,通过消息副本限额来减少消息副本的冗余,在扩散中通过求解节点的中心性,使中心值较高的节点获得较多的消息副本,来完成消息副本的扩散和传递。但是,在传递副本受限的消息和同时面对多个相邻节点时,如何选择综合性能更高的节点来承担传递的任务,使得消息能更快更成功地传递到目标节点,成为这类路由算法的需解决的难点和重点。

本文提出一种基于节点社会性和副本限额的 DTN 路由算法 (social activity and copy-limited based DTN routing algorithm, SACRA)。该算法主要思想是基于多副本限额路由算法,根据节点的历史运动轨迹和相邻节点特性定义社会活性,以此衡量节点投送消息的能力,依据节点的社会活性和可用缓冲区大小合理分配相遇节点携带消息的份额和交换消息类型,使消息迅速扩散至网络各区域,加速送至目标节点。一方面,合理控制网络中消息传递的规模,保证较好的网络负载比率,另一方面,提高消息递送的成功率。本文通过仿真实验,将 SACRA 路由算法与典型的 Epidemic 和基于 SWA 算法的 ESR 算法进行比较,结果表明 SACRA 算法在消息递交成功率、网络负载率等方面具有良好的优势^[14]。

2 基于社会活性和副本限制的 DTN 路由算法

DTN 网络消息副本的限额和分配直接关系到消息递送的成功率和时延,如何根据节点的历史运动轨迹和当前缓冲区饱和程度合理分配消息副本的配额,是基于社

会活性和副本限制的 DTN 路由算法研究需要解决的核心问题。

2.1 节点社会活性

DTN 网络中,节点运动速度越快,相同时间间隔内经历的区域越多,如果相遇的相邻节点比较少,该节点的社会活性不一定很强,因为该节点的消息扩散能力不一定强。因此,节点的社会活性描述了节点在移动网络中的社交活跃度,不仅与当前自身运动属性(例如:位置、速度)有关,还与相邻节点的属性有关。根据节点运动具有一定的持续性和可预测性,使用历史社会活性来代表此刻和将来的节点社会活性。图 1 所示为两个节点 i 和 j 在相同时间内运动轨迹,虽然节点 j 的运动轨迹要比节点 i 的轨迹要长,但是节点 i 所遇节点数要比节点 j 多得多,将消息扩散的能力也要更强。

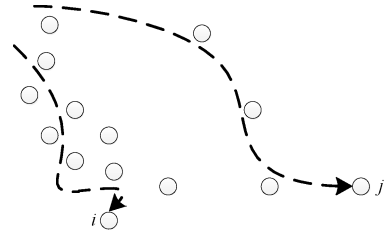


图 1 DTN 网络节点运动轨迹

Fig. 1 Trajectory of DTN node movement

定义 1 社会活性 节点 i 的社会活性 SA 可以表示为:

$$SA_i = w \cdot \frac{|\vec{v}_i|}{|\vec{V}_{\max}|} + (1 - w) \cdot N_i \quad (1)$$

式中: \vec{v} 表示节点的当前速度值, \vec{V}_{\max} 表示传感网设定的最大速度。权值 $w \in [0, 1]$, w 取不同值,表示当前运动属性和历史相遇节点在社会活性的比重,一般取 0.7。 N_i 为历史相遇可计数因子,描述了时间间隔内相遇节点的多少程度,可以表示为:

$$N_i = \sum_{j=0}^{-\tau} \frac{N_{ij}}{Num} \quad (2)$$

式(2)表示从当前时刻向前推算时刻内,相遇所有相邻可计数节点总和,一般 $\tau = 0$ 。参数 Num 表示 DTN 传感网中移动节点总和。可计数节点描述了与当前运动节点相比,在运动方向和速度上与当前节点具有比较大的差异,能够将副本扩展不同的区域,设置差异因子 δ ,可以描述如下:

$$N_{ij} = MetN'_{ij}, \forall n \in MetN'_{ij}, |\vec{v}_{nj} - \vec{v}_{ij}| \geq \delta \quad (3)$$

式(3)表示 j 时刻那些与节点 i 速度差异大于 δ 的相邻节点,速度总差异为水平 x 轴和垂直 y 轴方向几何平均数值,可表示如下:

$$|\vec{v}_{nj} - \vec{v}_{ij}| = \sqrt{|x_{ij} - x_{nj}|^2 + |y_{ij} - y_{nj}|^2} \quad (4)$$

2.2 副本限额分配策略

节点用来存储消息的缓冲区大小是一定的,使用 L 表示,使用 l 表示当前节点携带的消息个数,公式 $\lambda = \frac{l}{L}$ 表示缓冲区占用率, $\lambda \in [0, 1]$, 描述了节点携带消息的多少,还能接受消息的程度,需要将参数约束在一定的值范围内,根据参数 λ 不同值需要采用不同的副本限额分配策略如下。

1) 当时 $\lambda \in [0.7, 1]$ 时, 节点承担消息转发任务很重,一旦有邻居节点就需要将所携带的时间戳最长的消

息副本转发出去,以维持 λ 合理区间值;

2) 当时 $\lambda \in [0.4, 0.7]$ 时, 节点承担转发任务适中,可以与相邻节点合理交换分配消息副本;

3) 当时 $\lambda \in [0, 0.4]$ 时, 节点承担转发任务很少,可以承接转发任务繁重相邻节点的消息和交互相邻节点转发的消息副本。

根据节点缓冲区占用情况和相邻节点信息,对比社会活性,合理接受还是交换携带消息副本限额,一个时间周期节点消息副本限额分配策略如图 2 所示。

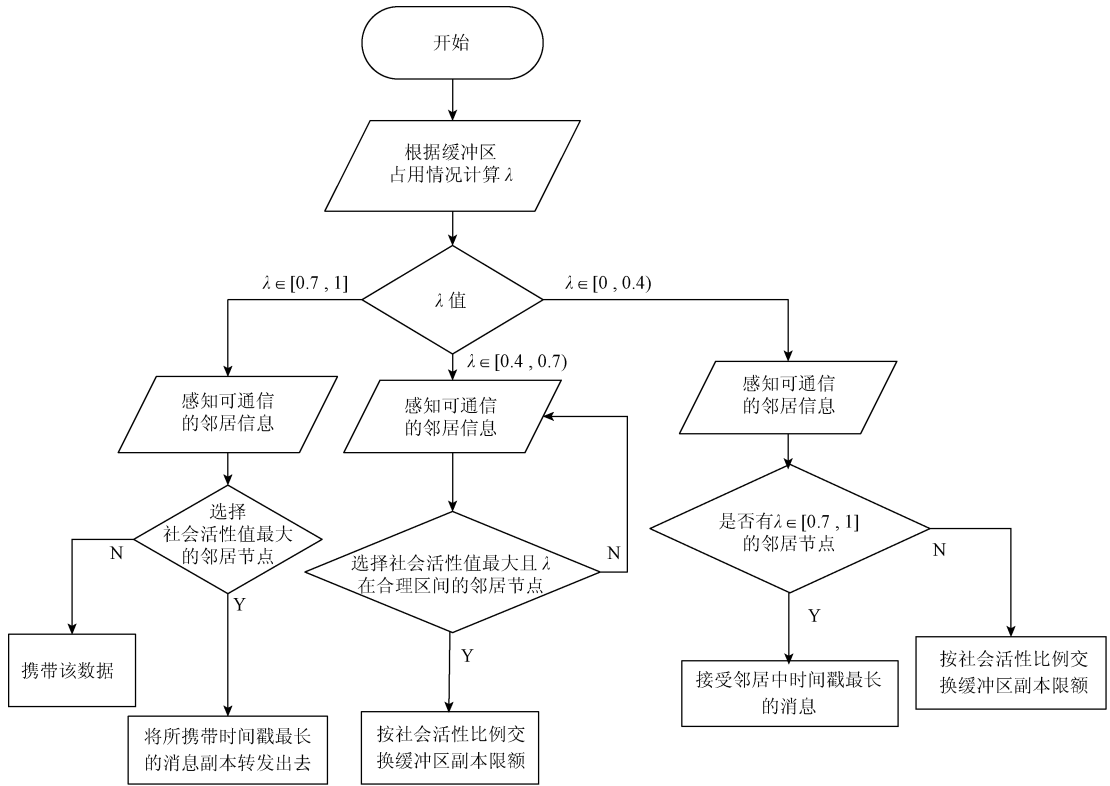


图 2 副本限额分配流程
Fig. 2 Flow chart of the copy quota distribution

2.3 算法描述

综上所述,本文提出的 SACRA 路由算法具体描述如下。

1) 每个时间周期开始时,节点收集相邻节点的位置、速度、缓冲区占用率,根据存储的历史时刻内收集的相邻节点和当前满足条件节点数计算当前节点的社会活性,并广播位置、运动速度和社会活性,同时,收集相邻节点的当前社会活性和缓冲区占用率。

2) 对照缓冲区存储消息的目的地址,如果能够相邻节点匹配成功,则将该消息发送到该节点,同时广播删除该消息的;否则进入 3)。

3) 根据自身和相邻节点的缓冲区占用率,采用如图

2 所示的副本限额分配策略,该算法伪代码描述如下。

```

SACRA (node s, Buffer bf) {
  //广播收集相邻节点信息,并求解社会活性
  float λ = 1/L; //缓冲区占用率
  BroadcastInformation();
  NS = CollectNeighbours();
  NS0' = ;
  NS' = ∅;
  for each (node j in NS) {
    if (|vs - vj| ≥ δ)
      NS0' . push(j);
  }
}

```

```

}
for(int i=0;i<τ;i++)
NS' ∪ = NSi' ;
Ns =  $\frac{N'}{\text{Num}}$ ;
SAs = w *  $\frac{|\vec{v}_s|}{|\vec{V}_{\max}|}$  + (1-w) * Ns;
BroadcastSA(SAs);
CollectSA(SA);
//遍历缓冲区消息,发送并删除匹配成功的消息;
for(int i=0;i<l;i++)
if(NS.contains(bf[i].dest))
//匹配成功
transmit(bf[i], bf[i].dest);
Broadcast(delete, bf[i]);
}
if(λ ≥ 0.7 && ! NS.empty()) {
N' = sort(NS, SA);
j = N'.gethead();
Message ms = bf.push();
s.Send(ms, j);
Return;
}
if(0.4 ≤ λ & λ < 0.7 && ! NS.empty()) {
N' = sort(NS, SA);
j = N'.gethead();
Exchange(s.bf, j.bf, SA);
Return;
}
if(0 ≤ λ & λ < 0.4 && ! NS.empty()) {
for each (node i in NS) {
if(i.λ > 0.7)
s.receive(i.buff.push());
}
N' = sort(NS, SA);
j = N'.gethead();
Exchange(s.bf, j.bf, SA);
if(j.A > s.A > 0) {
s.transmit(ms, j);
Return;
}
}

```

算法中, NS 表示节点 s 的邻居节点集合; bf 表示缓冲区; SA 表示节点当前社会活性值; 函数 $Broadcast$ 表示节点向 DTN 网络广播消息; $sort(NS, SA)$ 表示邻居节点 NS 中节点按照社会活性 SA 进行递减排序; $transmit(ms, j)$

表示为发送消息 ms 给邻居节点 j , 并将消息从本节点缓冲区中删除, 函数 $receive$ 表示接受消息; 函数 $Exchange(s.bf, j.bf, SA)$ 表示节点 s 和 j 按照社会活性 SA 比值交互缓冲区中消息副本限额。

3 性能分析

3.1 参数设置

本文采用基于 Java 语言编写的 DTN 仿真工具 ONE (opportunistic network environment) 进行算法仿真实验对比。采用与文献[15]相同的能耗消耗衰减模型, 根据发送距离的远近一般大致可以分为多路衰减模型和自由空间模型; 当距离在一定阈值 d_0 (d_0 为常量) 内, 发送数据的功耗与距离的平方成正比; 当距离大于 d_0 时, 功耗与距离的 4 次方成正比。因此, 当节点向距离 d 以外的节点发送 k 个字节的数据时, 能量消耗由式(5)计算。

$$E_{tr}(k, d) = E_{elec}(k) + E_{amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k \epsilon_{fr} \times d^2, & d \leq d_0 \\ kE_{elec} + k \epsilon_{mp} \times d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, E_{elec} 表示收发电路所消耗的能量, E_{amp} 表示信号放大器消耗的能量, ϵ_{fr} 和 ϵ_{mp} 分别表示自由空间模型和多路衰减模型的能耗。

节点接受数据所消耗的能量由式(6)计算得到。

$$E_{rx}(k) = kE_{elec} \quad (6)$$

为了验证本文算法的有效性, 分别对 Epidemic、ESR 和 SACRA 3 种算法分别从消息递交成功率 (成功到达目的节点的消息数量与产生消息数量的比值) 和负载比率 (网络中消息转发次数与成功到达目的节点消息数的差值比上成功到达目的节点消息数) 进行对比。实验中参数设置如表 1 所示。节点是否产生消息包是随机的, 消息产生间隔为 25/s ~ 35/s, 节点的运动速度是随机的, 速度大小范围为 [0.5 m/s, 8 m/s], 副本配额 $L=8$, 缓冲区大小 $L=20$ 。模拟真实传感网环境的消息传递。

表 1 实验参数列表

Table 1 List of experimental parameters

参数	值	参数	值
网络区域	1 000 m × 1 000 m	$Threshold_E$	0.256 J
节点数	200	E_{elec}	50 nJ/bit
消息大小	512 KB	节点初始能量	7 J
广播包	32 B	d_0	70 m
E_{amp}	0.001 2 pJ/B/m ⁴	收发电路功耗	50 nJ/B
E_{fr}	12 pJ/B/m ²	执行数据融合消耗	5 nJ/B

3.2 实验结果及分析

3 种算法的消息递交成功率随着仿真时间推移变化

情况如图3所示。可以看出,3种算法消息递交成功率随着时间的推移,消息逐渐扩散到DTN网络各区域,消息递交的成功率逐渐提高,本文提出的SACRA算法在消息成功率明显要优于Epidemic和ESR算法(energy-aware multi-replica routing in delay tolerant mobile sensor network),当时间在1000s后成功率在50%以上,因为SACRA算法能够将消息副本份额传递给社会活性更强的节点,保证消息扩散的速度,使得消息副本的分布尽快充斥到更加广泛的无线传感网,这样更快地到达目标节点^[16]。

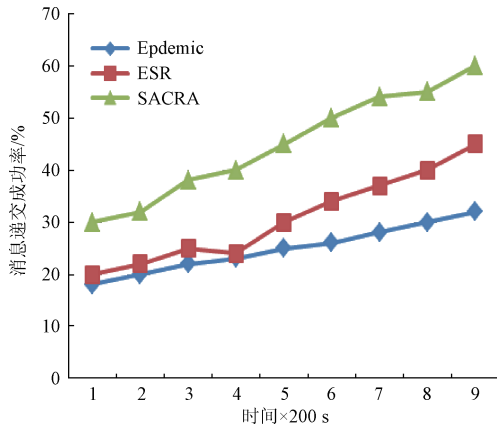


图3 消息递交成功率对比

Fig. 3 Comparison of message delivery success rate

3种算法负载比率实验结果如图4所示。SACRA算法的负载比率比其他两种算法都长。主要是由于SACRA采用副本限额机制和缓冲区占用率机制,一旦出现负载过重的节点,能够转移负载副本,保证节点携带消息的平衡,同时,社会活性机制保证了消息能够迅速扩散到DTN网络各个区域,提高了消息递交目的地址的成功率,有效地降低了系统的负载比率。

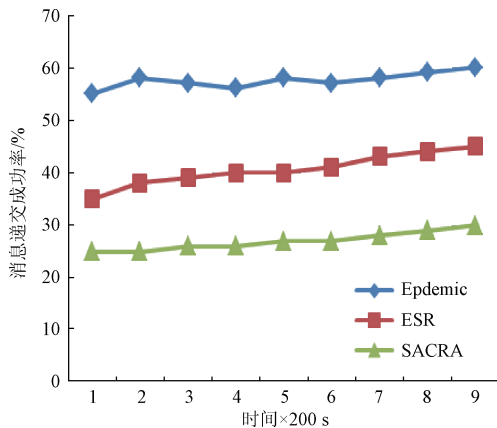


图4 负载比率对比

Fig. 4 Comparison of load ratio

4 结 论

为了解决DTN网络多副本路由策略导致的消息泛洪和提高DTN网络消息递交成功率,本文提出了一种基于社会活性和副本限制的DTN路由算法SACRA。该算法通过设置节点的社会活性和副本限制策略,合理分配相遇节点的消息副本限额,从而控制网络消息的规模和加速消息的扩散,仿真实验结果验证了该路由算法能够在消息递交成功率和负载比率方面取得比较好的均衡效果。消息副本配额的设置关系到消息复制和转发的次数,如何设计更加合理的信息副本配额,使其在消息递交延迟和负载比率方面同时具有较优的性能是下一步研究的方向。

参考文献

- [1] 周雷,苏红,唐昊,等. 基于位置信息的无线网络协作路由算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 708-716.
ZHOU L, SU H, TANG H, et al. Wireless network cooperative routing algorithm based on location information [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(5): 708-716.
- [2] 向敏,唐亮,王平. 基于Dijkstra能量均衡的无线HART图路由算法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(11): 2628-2636.
XIANG M, TANG L, WANG P. Energy balance graph routing algorithm based on Dijkstra for wireless HART networks [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(11): 2628-2636.
- [3] 肖欣招,魏峰. 无线传感器网络能量改进路由算法研究[J]. 电子测量技术, 2016, 39(10): 183-187.
XIAO X ZH, WEI F. Energy efficient routing protocol for wireless sensor network [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(10): 183-187.
- [4] 曹名宇,李世强,李宁. 多基线InSAR最大后验高程反演算法的改进[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(7): 55-61.
CAO M Y, LI SH Q, LI N. Improvement for the hyperparameters estimation in MAP-based multi-baseline InSAR DEM reconstruction [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2015, 34(7): 55-61.
- [5] VIDYASAGAR P, ATIF S, ELIZABETH C. Wireless sensor networks: A survey [C]. International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2009: 636-641.
- [6] 张振京,金志刚,舒炎泰. 基于节点运动预测的社会性

- DTN 高效路由[J]. 计算机学报, 2013(3):626-635.
- ZHANG ZH J, JIN ZH G, SHU Y T. Efficient routing in social DTN based on nodes' movement prediction[J]. Chinese Journal of Computers, 2013(3):626-635.
- [7] 王威, 郑骏. 基于用户相似度的协同过滤算法改进[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2016(3): 60-66.
- WANG W, ZHENG J. Improved collaborative filtering algorithm based on user-similarity[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2016(3):60-66.
- [8] 邓广宏, 曹万华, 张剑, 等. DTN 网络环境下基于蚁群算法的数据编码分发[J]. 电子学报, 2014(8): 1636-1641.
- DENG G H, CAO W H, ZHANG J. et al. Data dissemination mechanism with network coding based on ant colony algorithm in DTN environment [J]. ACTA Electronica Sinica, 2014(8):1636-1641.
- [9] 于振, 徐敬东, 张建忠, 等. 基础设施增强的 DTN 路由协议[J]. 通信学报, 2013(8):44-52.
- YU ZH, XU J D, ZHANG J ZH. et al. IEDR: an infrastructure enhanced DTN routing protocol [J]. Journal on Communications, 2013(8):44-52.
- [10] 张滔, 徐建波. 基于位置预测的社会性 DTN 路由算法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(18):94-98.
- ZHANG T, XU J B. Routing algorithm based on location prediction in social DTN[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(18):94-98.
- [11] LIU M J, YANG Y, QIN ZH G. A survey of routing protocols and simulations in delay-tolerant networks[C]. Proceedings of the 6th International Conference on Wireless Algorithms, Systems, and Applications (WASA 2011). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011: 243-253.
- [12] DALY E, HAAHR M. Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs[C]. Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and computing. New York: ACM, 2007: 32-40.
- [13] 王建新, 朱敬, 刘耀. 基于副本限制和社会性的延迟容忍网络路由算法[J]. 华南理工大学自然学报: 自然科学版, 2009, 37(5):84-89.
- WANG J X, ZHU J, LIU Y. Copy-limited and sociality based routing algorithm for delay-tolerant networks[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 37(5):84-89.
- [14] ZHANG L J, GAO SH. Energy-aware multi-replica routing in delay tolerant mobile sensor network [J]. China Communications, 2011(12):87-97.
- [15] KERANEN A, OTT J, KARKKAINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation[C]. SIMUTools' 09: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, 2009.
- [16] 朱永红, 丁恩杰, 胡延军. PSO 优化的能耗均衡 WSNs 路由算法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 35(1):78-86.
- ZHU Y H, DING EN J, HU Y J. Energy balance routing algorithm for WSNs optimized with PSO [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 35(1): 78-86.

作者简介



郭稳涛, 2003 年于中国地质大学获得学士学位, 2010 年于湖南大学获得硕士学位, 现为湖南机电职业技术学院副教授, 研究方向为无线传感网络、射频识别技术等。
E-mail: hnjsjgwt@163.com

Guo Wentao received B. Sc. from China University of Geosciences in 2003 and M. Sc. from Hunan University in 2010, respectively. Now he is associate professor in Hunan Mechanical and Electrical Polytechnic College. His main research interest includes WSN, and RFID.



李兵, 分别在 2006 年、2011 年于湖南大学获得硕士学位和博士学位, 现为合肥工业大学副教授, 研究方向为无线传感网络、射频识别技术等。E-mail: 20440390@qq.com

Li Bing received M. Sc. and Ph. D. from Hunan University in 2006 and 2010, respectively. Now he is associate professor in Hefei University of Technology. His main research interest includes WSN, and RFID.



何怡刚, 1966 年出生, 1992 年于湖南大学获得硕士学位, 1996 年于西安交通大学并获得博士学位, 现为合肥工业大学电气与自动化工程学院院长, 教授、博士生导师, 主要研究方向为模拟电路故障诊断、复杂电磁信号分析与处理等。

E-mail: 18655136887@163.com

He Yigang was born in 1966, received M. Sc. from Hunan University in 1992 and Ph. D. from Xi'an Jiaotong University in 1996, respectively. Now he is professor, Ph. D. supervisor, and the dean of School of Electrical and Automation Engineering, Hefei University of Technology. His research interests are in the areas of testing and fault diagnosis of analog and mixed-signal circuits, and signal processing.