

基于转发概率的时延容忍网络路由

薄珏¹, 乔林¹, 王丹妮¹, 黄峰², 许小洁³

- (1. 国网辽宁省电力有限公司信息通信分公司, 辽宁 沈阳 110000;
2. 国网信通亿力科技有限责任公司, 福建 厦门 350003;
3. 厦门大学, 福建 厦门 361005)

摘要: 针对延时容忍网络(Delay-tolerant Networks, DTNs)的数据传输问题,提出基于转发概率的时延容忍网络路由(Forwarding-probability DTN Routing, FPDR)。FPDR路由引用机会路由的思想,传递数据。先通过推导一跳邻居节点和二跳邻居节点的转发概率,然后,再依据节点的转发概率选择下一跳转发节点,进而减少数据包被转发的次数,提高数据包传递率。仿真结果表明,提出的FPDR路由有效地提高了数据包传递率,并减少了数据包被转发的次数。

关键词: 延时容忍网络; 路由; 机会路由; 转发概率; 数据包传递率

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1673-5692(2019)08-781-05

Forwarding-probability Based-Routing in Delay Tolerant Networks

BO Jue¹, QIAO Lin¹, WANG Dan-ni¹, HUANG Fen², XU Xiao-jie³

- (1. Information Communication Branch, State Grid Liaoning Electric Power Co., LTD, Liaoning, Shenyang 110000, China;
2. China Netcom Xintong Yili Technology Co., LTD, Fujian Xiamen 350003, China;
3. XIAMEN University Fujian, Xiamen 361005, China)

Abstract: Aiming at the data transmission problem of Delay-tolerant Networks (DTNs), a Forwarding-probability-tolerant network Routing (FPDR) is proposed in this paper. The FPDR routing refers to the idea of opportunistic routing to transmit data packet. Firstly, the forwarding probability of one-hop neighbor node and two-hop neighbor node are deduced, and then the next-hop forwarding node is selected according to the node's forwarding probability, so as to reduce the number of forwarding packets and improve the transmission rate of packets. Simulation results show that the proposed FPDR routing can effectively improve the packet transmission rate and reduce the number of packet forwarding.

Key words: Delay-tolerant Networks; Routing; Opportunistic Routing; Forwarding-Probability; Packet Transmission Rate

0 引言

建立节点间端到端的路由是时延容忍网络(Delay-tolerant Networks, DTNs)的关键^[1-2]。DTNs具有间歇式连通、网络分割严重等特点。这些特点给DTNs的数据传输提出了挑战。为此,路由成为DTNs的研究热点^[3-4]。

存储-转发是DTNs常采用的路由策略。当目前没有连通链路时,数据包携带节点先存储数据,直到遇见合适的转发节点,才将数据传输至该节点。然而,在实际环境下,节点的相遇时间甚短,相遇的时间可能不足于数据的交换。

研究表明^[4-5],DTNs内节点的相遇时间短。短的相遇时间给数据传输提出了挑战。短的相遇时间难以在单一相遇机会内完成数据的传输,需要多

次相遇才能完成数据传输。

由于 DTNs 的链路连通时间短,静态的路由算法无法应用于 DNTs 网络。在基于 DTNs 路由环境下,必须解决两个问题:依据节点的相遇时间择优选择转发节点,尽量选择相遇时间长的节点作为数据转发节点。例如,王鹏^[6]提出基于时间聚合图的 DTN 网络最短时延路由算法,该算法通过链路的连通时间计算最短路径。并利用深度优先算法搜索最短时延路由。

其次,尽可能单次接触完成数据传输。若单次不行,需通过多次接触完成数据的传输,并需解决拥塞问题^[7],例如,钟陈陈提出基于增强型 PROPH-ET 路由的 DTN 拥塞控制算法,该算法通过控制节点的缓存空间,降低算法的拥塞。因此,需要制定有效的数据转发策略。

考虑到 DNTs 节点相遇的机会性,本文引用统计理论计算邻居节点的接触概率。通过网络拓扑信息、相遇频率、数据包尺寸,估计节点相遇概率。传统的路由算法只计算一跳邻居节点的概率,并没有考虑两跳邻居节点的相遇概率。

计算两跳邻居节点的概率目的在于维护路由。当一跳邻居节点范围内没有合适的转发节点,就从二跳邻居节点范围内选择转发节点。避免重新计算路由,减少成本,有利于数据的传输。

为此,面向 DTNs 网络,提出一种基于转发概率的 DTNs 路由(Forwarding - probability DTN Routing, FPDR)。FPDR 路由扩大选择转发节点的范围,从一跳和两跳的邻居节点范围内择优节点,提高数据包传递率。仿真结果表明,提出的 FPDR 路由有效地提高了数据包传递率。

1 网络模型

由于 DTNs 网络的链路时间短,每个节点采用存储-转发策略。因此,假定每个节点具有缓存区。当节点暂找不到转发节点,就缓存数据,直到遇到合适的节点,才转发数据。

考虑到网络开销,FPDR 路由引用单复本数据模型。即只允许网络内只有一个数据复本。若节点的相遇时间不小于数据尺寸与可获取带宽的比值,就认为在此次相遇机会内完成数据的传输。若不能完成数据传输,则另寻其他机会完成数据传输。

同时,每个网络内传输的数据都具有时效性。当数据的时效过期,此数据就无效。此外,令节点相

遇时间和相遇周期服从指数分布,且相应的参数为 β 和 t 。为了表述简单,增强可读性,引用如表 1 所示的标识号。

表 1 标识符

标识符	物理意义
ρ_{ij}^k	节点 s_i 与节点 s_j 在第 k 次相遇的接触时间
χ_{ij}^k	节点 s_i 与节点 s_j 在第 k 次相遇的间隔时间
$P_i(m)$	节点 s_i 携带数据 $Data$ 经 m 次相遇后成功传输的概率
L_i	节点 s_i 携带数据 $Data$ 的大小
H_{Data}	成功传输数据 $Data$ 所需的接触时间
$\gamma_m^{a,b}$	节点 a 与节点 b 间的第 m 次接触时间
$\theta_{a,b}$	节点 a 与节点 b 间的接触频率

2 FPDR 路由

FPDR 路由先计算节点相遇概率,然后再计算节点相遇概率转发数据包。为此,先推导相遇概率,然后再执行数据路由策略。

2.1 一跳邻居节点传递概率

令 ρ_{ij}^k 表示节点 s_i 与节点 s_j 在第 k 次相遇的接触时间的随机变量。令 T_{Data}^i 表示节点 s_i 向节点 s_j 传输数据 $Data$ 所需的时间。令 L_i 表示数据 $Data$ 的大小。令 B 表示节点 s_i 与节点 s_j 间通信链路带宽。且 $T_{Data}^i = L_i/B$ 。若满足 $\rho_{ij}^k \geq T_{Data}^i$,则表明数据可以传输成功。

令 χ_{ij}^k 表示节点 s_i 与节点 s_j 相遇间隔的时间。FPDR 路由假定满足 $\chi_{ij}^k \gg \rho_{ij}^k$ 条件。当 $\chi_{ij}^k \gg \rho_{ij}^k$ 满足,说明节点 s_i 与节点 s_j 相遇间隔(χ_{ij}^k)远大于这次相遇的时长。

假定节点 s_i 携带了当前数据 $Data$ 。 $Data$ 的目的节点是 s_d 。假定数据 $Data$ 经过 m 次相遇接触才能成功转发至目的节点 s_d :

$$P_i(m) = P(0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} < T_i, (0 < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i \dots \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i) \rho_m^{i,d} \geq T_{Data}^i) \tag{1}$$

其中 $\chi_k^{i,d}$ 表示节点 s_i 与节点 s_j 间的第 k 个相遇间隔时间的随机变量。而 $\rho_k^{i,d}$ 表示节点 s_i 与节点 s_j 间的第 k 个的相遇时长。其中 T_i 表示节点 s_i 所携带的数据 $Data$ 的有效时长。

由于 $\chi_k^{i,d}$ 与 $\rho_k^{i,d}$ 彼此独立,将式(1)进行转换:

$$P_i(m) = P(0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} < T_i) \times$$

$$P(0 < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i, \dots, 0 < \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i) \times P(\rho_m^{i,d} \geq T_{Data}^i) \quad (2)$$

注意到式(2), 其由三项组成: $0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} < T_i < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i, \dots, 0 < \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i$ 和 $\rho_m^{i,d} \geq T_{Data}^i$ 。

首先, 第一项 $0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} < T_i$ 表明节点 s_i 在 $m-1$ 次相遇节点 s_j 时, 数据 $Data$ 没有失效。将 $0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} < T_i$ 进行转换:

$$0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} + \sum_{k=1}^{m-1} \rho_k^{i,d} < T_i \quad (3)$$

注意到式(3): 依据假定的条件: $\chi_k^{i,d} \gg \rho_k^{i,d}$, 可将式(3)中的 $\rho_k^{i,d}$ 忽略。

这 m 个变量 $\chi_k^{i,d}$ 彼此独立。这些变量之和

$S_m = \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d}$ 服从伽马分布。因此, 式(2)的第一项

$P(0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} < T_i)$ 进行转换:

$$P(0 < \sum_{k=1}^m \chi_k^{i,d} < T_i) = 1 - \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda_{i,d} T_i)^k}{k!} \exp(-\lambda_{i,d} T_i) \quad (4)$$

接下来, 分析式(2)中第二项 $0 < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i, \dots, 0 < \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i$ 。依据 $0 < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i, \dots, 0 < \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i$ 可看出 $0 < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i, \dots, 0 < \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i$ 限制了在前 $m-1$ 次相遇的相遇时间小于传输数据 $Data$ 所需的时间。这也说明, 数据 $Data$ 在前 $m-1$ 次相遇均未能成功将数据传输至目的节点 s_d 。

T_{Data}^i 大于 0, 且 $\rho_1^{i,d}, \dots, \rho_{m-1}^{i,d}$ 这 m 个变量彼此独立, 且服从指数分布。假定其参数为 β 。其中 $\beta_{i,j}$ 表示节点 s_i 与节点 s_j 相遇概率。

$$P(0 < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i, \dots, 0 < \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i) = P(0 < \rho_1^{i,d} < T_{Data}^i) \cdots P(0 < \rho_{m-1}^{i,d} < T_{Data}^i) = (1 - \exp(-\beta_{i,d} T_{Data}^i)) \cdots (1 - \exp(-\beta_{s,d} T_{Data}^i)) = (1 - \exp(-\beta_{i,d} T_{Data}^i))^{m-1} \quad (5)$$

最后, 分析式(2)的最后一项 $\rho_m^{i,d} \geq T_{Data}^i$ 。此项保证传感节点 s_i 能通过第 m 次相遇, 将数据 $Data$ 传输至目的节点 s_d 。因此, 可计算 $\rho_m^{i,d}$ 的互补累积分布函数:

$$P(\rho_m^{i,d} \geq T_{Data}^i) = 1 - P(\rho_m^{i,d} < T_{Data}^i) = 1 - (1 - \exp(-\beta_{i,d} T_{Data}^i)) = \exp(-\beta_{i,d} T_{Data}^i) \quad (6)$$

最终, 可通过将式(4-6)代入式(1)可得一跳邻居的数据转发概率:

$$P_i(m) = (1 - \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda_{i,d} T_i)^k}{k!} \exp(-\lambda_{i,d} T_i)) \times (1 - \exp(-\beta_{i,d} T_{Data}^i))^{m-1} \times \exp(-\beta_{i,d} T_{Data}^i) \quad (7)$$

2.2 两跳邻居节点传递概率

上一节推导了一跳邻居节点的数据传递概率。FPDR 路由欲从两跳邻居节点中选择数据转发节点。因此, 本节推导两跳邻居节点的数据转发概率。

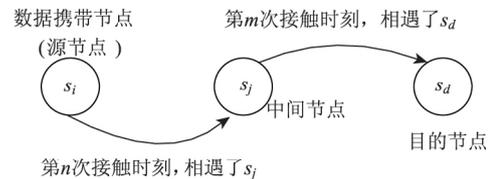


图1 两跳传递模型

为了能正确地推导两跳邻居节点的相遇概率, 每个节点保存与邻居节点相遇的概率。为此, 每个节点保存四元组信息 $\langle s_i, s_x, \eta_{ix}, T_{ix} \rangle$ 。其中 s_x 表示节点 s_i 的邻居节点。 η_{ix} 表示节点 s_i 与节点 s_x 相遇概率。而 T_{ix} 表示时间戳。

节点 s_i 先计算与中间节点 s_x 相遇所消耗时间, 进而计算相遇概率。据此, 对式(1)进行修改。使其包含节点 s_i 与节点 s_x 相遇概率、中间节点 s_x 与目的节点 s_d 的相遇概率。假定节点 s_i 通过第 n 次接触才将数据 $Data$ 传输至中间节点 s_x 。中间节点再经过 m 次接触才能将数据传输至目的节点 s_d 。

首先, 先计算数据 $Data$ 在到达目的节点 s_d 前, 数据 $Data$ 未过期的概率:

$$P_i(m) = P(0 < \sum_{k=1}^n \chi_k^{i,x} + \sum_{j=1}^m \chi_j^{x,d} < T_i) \quad (8)$$

再利用逐项积分, 对式(8)进行处理:

$$P_i(n) = P(0 < \sum_{k=1}^n \chi_k^{i,x} + \sum_{j=1}^m \chi_j^{x,d} < T_i) = \int_0^{R_i} \left[\prod_{q=1}^N \left(\frac{\beta}{\beta_q} \right)^{\alpha_q} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\delta_k \cdot z^{\sum_{q=1}^N \alpha_q + k - 1} \cdot \exp(-z/\beta)}{\beta \sum_{q=1}^N \alpha_q + k \cdot \Gamma(\sum_{q=1}^N \alpha_q + k)} \right] dz \quad (9)$$

其中 $N=2$, $\beta_1 = \lambda_{s,d}, \beta = \lambda_{\theta,d}, a_1 = n$ 和 $a_2 = m$ 。令 A 表示式(9)中的积分项。再推导节点 s_i 在 $n-1$ 前未能将数据 $Data$ 传输至中间节点 s_x 的概率和中间节点 s_x 在 $m-1$ 次接触未能将数据 $Data$ 传输至目的节点 s_d 的概率:

$$P(0 < \rho_1^{i,x} < T_{Data}^i, \dots, 0 < \rho_{n-1}^{i,x} < T_{Data}^i) =$$

$$P(0 < \rho_{1^x}^i < T_{Data}^i) \cdots P(0 < \rho_{n-1}^x < T_{Data}^i) = (1 - \exp(-\beta_{i,x} T_{Data}^i))^{n-1} \cdot (1 - \exp(-\beta_{x,d} T_{Data}^i))^{m-1} \quad (10)$$

最后,数据 $Data$ 在节点 s 与中间节点 ϑ 的 n 次相遇以及中间节点 ϑ 与目的节点 d 的 m 次相遇时,被成功传输的概率:

$$P(Y_n^{s,\vartheta} \geq H_{Data}, Y_m^{\vartheta,d} \geq H_{Data}) = \exp(-\theta_{s,\vartheta} H_{Data}) \exp(-\theta_{\vartheta,d} H_{Data}) = \exp(-\theta_{s,\vartheta} H_{Data} - \theta_{\vartheta,d} H_{Data}) \quad (11)$$

最后,推导节点 s_i 将数据 $Data$ 传输至目的节点 s_d 的概率:

$$P(\rho_n^{i,x} \geq T_{Data}^i, \rho_m^{x,d} \geq T_{Data}^i) = \exp(-\beta_{i,x} T_{Data}^i) \exp(-\beta_{\vartheta,d} T_{Data}^i) = \exp(-\beta_{i,x} T_{Data}^i - \beta_{x,d} T_{Data}^i) \quad (12)$$

最终,依据式(10-12)计算节点 s_i 将数据 $Data$ 成功传输至目的节点 s_d 的概率:

$$P_i(n, m) = A \cdot (1 - \exp(-\beta_{i,x} T_{Data}^i))^{n-1} \cdot (1 - \exp(-\beta_{x,d} T_{Data}^i))^{m-1} \cdot \exp(-\beta_{i,x} T_{Data}^i - \beta_{x,d} T_{Data}^i) \quad (13)$$

2.3 数据传输策略

数据传输的整个流程如图2所示。首先,每个节点先向邻居节点传输自己的邻居节点集。然后,

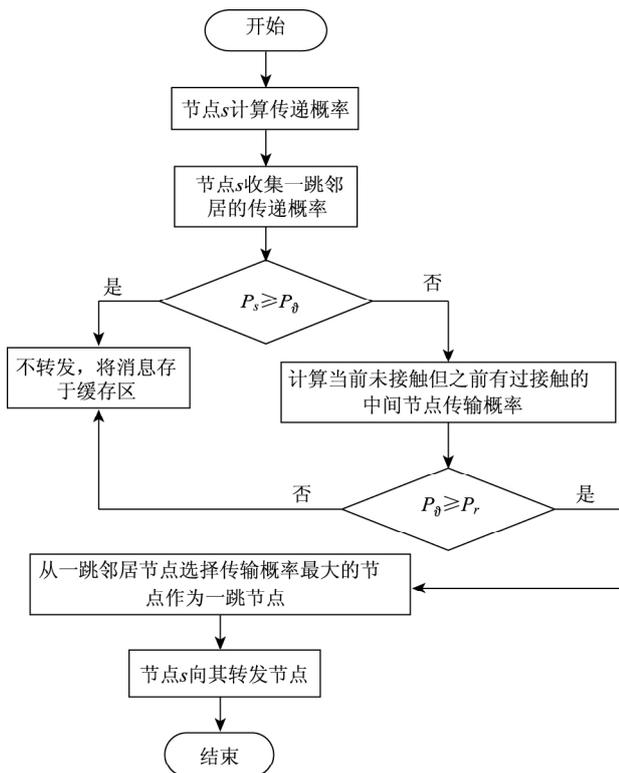


图2 消息转发流程

数据携带节点 s_i 先依式(7)计算一跳邻居节点的数据传输概率,邻居节点再向邻居节点传输自己的一跳邻居概率,且令 P_s 和 P_ϑ 分别表示这两个概率。

然后,再从邻居节点中选择具有最大转发概率 P_ϑ 的节点,同时,判断 P_s 与 P_ϑ 的大小。若满足 $P_s > P_\vartheta$,则数据携带节点 s_i 就不转发数据 $Data$ 。反之,若不满足,数据携带节点 s_i 就从二跳邻居节点寻找最优节点,并计算式(13)计算概率。若未能寻找到合适的转发节点,数据携带节点 s_i 就存储该数据。

3 性能分析

3.1 仿真环境

为了更发地分析 FPDR 路由性能,通过 ONE 1.5.1 软件^[9]建立仿真平台。引用沈阳出租车的行迹文件,由交通部提供出租车的移动数据。将出租车作为节点。每个节点最多能缓存 5 个数据,每个数据尺寸为 1 MB。

同时,选用文献的[8]提出的染路由(Epidemic Routing, EPR)、文献[9]提出的概率路由(Probabilistic Routing, PBR)、文献[10]提出的基于社会网络转发的路由(Social-based Forwarding Routing, SFR)作为参照。并对比分析它们的数据包传递率、数据端到端传输时延以及数据被传输的次数这三个性能。

3.2 数据分析

3.2.1 实验一

本次实验分析数据包传递率。图3显示了数据包传递率随数据的有效时期的变化情况。

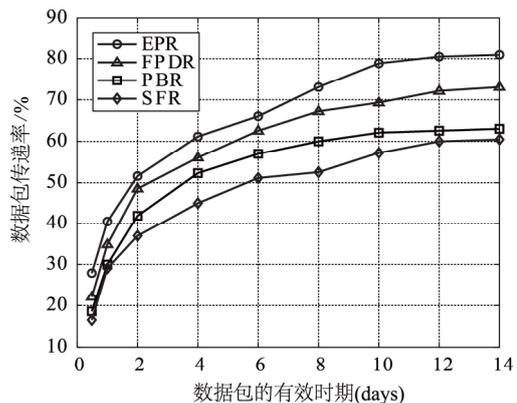


图3 数据传递率

从图 3 可知,数据的有效期越高,数据包传递率越高。原因在于:数据的有效期越高,数据包的生存时间越长,留给传输数据的时间越多,这有利于数据包的传递。反之,若数据有效期越短,数据包的生存时间也越短。数据还未成功传输至目的节点,数据可能就失效。

此外,从图 3 可知,EPR 路由的数据包传递率最高,原因在于:EPR 路由引用传染病思想传递数据。该策略是以网络资源为代价,提高数据包传递率。尽管 FPDR 路由的数据包传递率低于 EPR 路由,但是其高于 PBR、SFR 路由。这说明 FPDR 路由利用通过推导数据传输概率,择优选择转发节点,能够提高数据包传递率。

3.2.2 实验二

本次实验分析 FPDR 的数据传输的端到端传输时延,如图 4 所示。

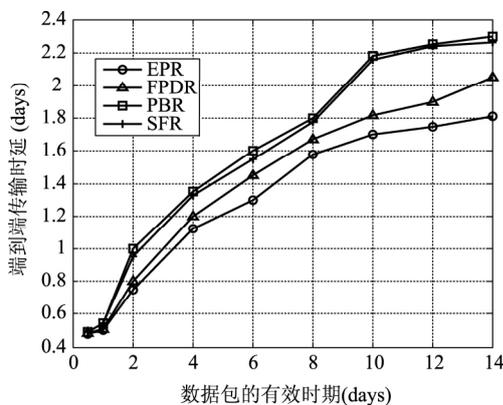


图 4 端到端传输时延

从图 4 可知,EPR 路由具有最低时延。这与 EPR 路由策略相关。该路由策略引用泛洪策略传递数据,能够使数据包快速地传输至目的节点。因此,EPR 路由的时延最低。

此外,相比于 PBR、SFR 路由,提出的 FPDR 路由的端到端传输时延得到有效地控制,且分别比 PBR 和 SFR 路由下降了约 5% 和 12%。

3.2.3 实验三

本次实验分析每个数据包转发的平均次数。平均转发的次数越少,数据传输效率越高。图 5 分析了 FPDR 路由、EPR 路由、PBR 和 SFR 路由的每条数据包的转发次数。

从图 5 可知,EPR 路由的数据包转发次数最高。原因在于:EPR 路由是通过泛洪策略转发数据包,产生了大量的冗余数据包。尽管 EPR 路由的数据包传递率高(图 3)、传输时延低(图 4),但是 EPR 路由的网络开

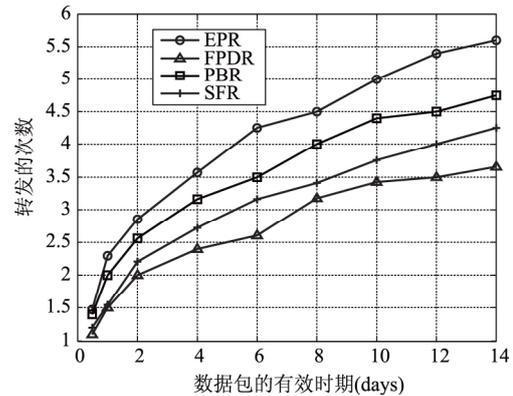


图 5 数据包转发的次数

销大。在节点密集环境,也容易形成泛洪风暴。

此外,相比于 PBR 和 SFR 路由外,FPDR 路由转发次数最低,且分别比 PBR 和 SFR 路由下降了约 23% 和 14%。

4 结 语

针对 DTNs 的数据传输问题,提出基于转发概率的时延容忍网络路由 FPDR。FPDR 路由通过计算相邻节点间的相遇时间,推导数据转发概率,并依据转发概率择优选择转发节点,再建立稳定路由。仿真结果表明,提出的 FPDR 路由能够有效地提高数据包传递率,并减少转发次数。

参考文献:

- [1] Le T, Kalantarian H, Gerla M. A novel social contact graph-based routing strategy for workload and throughput fairness in delay tolerant networks [J]. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2016, 16 (11): 1352-1362.
- [2] 赵雁航, 钱志鸿, 尚小航, 程超. 基于跳距修正粒子群优化的 WSN 定位算法 [J]. *通信学报*, 2013, 34 (9): 105-115.
- [3] Park S, Kim S, Yoo Y. DTN routing protocol utilizing underwater channel properties in underwater wireless sensor networks [J]. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 2014, 39 (10): 645-653.
- [4] Zhuo X, Li Q, Gao W. Contact duration aware data replication in delay tolerant networks [C]. in *Network Protocols (ICNP)*, 2015 22th IEEE International Conference on. IEEE, 2015: 236-245.

(下转第 797 页)

- 52(10):118-123.
- [4] 秦宁宁,余颖华,吴德恩. 移动混合传感网中节点自主部署算法[J]. 电子与信息学报,2016,38(7):1838-1842.
- [5] 陈龙伟,戴世坤,吴美平. 应用任意采样点数FFT算法时离散频率计算[J]. 地球物理学进展,2016,31(1):164-169.
- [6] 李琨,贾海鹏,曹婷,等. 大规模集群上多维FFT算法的实现与优化研究[J]. 计算机科学与探索,2017,11(06):18-29.
- [7] Mirhoseini A, Rouhani B D, Songhori E, et al. Chime: Checkpointing long computations on intermittently energized IoT devices [J]. IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems, 2017, 2(4): 277-290.
- [8] 刘强. 物联网的移动网络拥塞节点优化定位仿真[J]. 计算机仿真, 2018, 35(1): 287-290.
- [9] 王妍,郭敬玉,邓庆绪,等. 基于自适应变频的链型传感网络数据采集策略[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(11): 1594-1602.
- [10] 谢家焯,庞丽莉,钱晓霞,等. 基于修正交错网格方案的RFG-FFT算法[J]. 电子学报, 2017, 45(10): 2402-2408.
- [11] 宋甲秀,杨晓翠,张曦煌. 复杂网络中 Top-k 影响力节点的识别算法[J]. 计算机科学与探索, 2018, 12(6): 83-94.
- [12] Jia D, Meng L, Zhu H, et al. Layer-Cluster Topology Sensor Node Deployment for Large-Scale Multi-Nodes of WSN[J]. Wireless Personal Communications, 2017, 94(4): 1-22.
- [13] 张俊敏,刘开培,汪立,等. 基于四谱线插值FFT的谐波分析快速算法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(1): 139-145.
- [14] 徐德树,魏立新,马明明,等. 基于粒子群算法的FFT信号分析方法及应用[J]. 矿冶工程, 2016, 36(1): 104-107.
- [15] 袁旭华,惠小静. 基于自适应萤火虫的农业传感网络均衡分簇算法[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 172-176.

作者简介



刘玲(1982—),女,山东人,硕士,工程师,主要研究方向无线传感器网络。
E-mail: liulingcool123@163.com



(上接第785页)

- [5] Burgess J, Gallagher B, Jensen D. Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks [C]. in INFOCOM, 2016: 1-11.
- [6] 王鹏,李红艳,张焘. 基于时间聚合图的DTN网络最短时延路由算法[J]. 2017, 38(Z1): 1-8.
- [7] 钟陈陈,李涛,王汝传. 基于增强型PROPHET路由的DTN拥塞控制研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2016, 36(2): 118-124.
- [8] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks [D]. Technical Report CS-200006, Duke University, Technology Report, 2013.
- [9] Lindgren A, Doria A, Schelen O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [J]. ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review, 2014, 7(3): 19-20.
- [10] Hui P, Crowcroft J, Yoneki E. Bubble rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks [J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on 2015, 10(11): 1576-1589.

作者简介



薄珺(1986—),女,黑龙江人,工程师/技师,主要研究方向为信息系统、信息网络、数据灾备;
E-mail: song_huaa89@yeah.net

王丹妮(1986—),女,辽宁人,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为信息系统、信息安全、数据安全;

乔林(1977—),男,辽宁人,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为信息系统、计算机硬件;

黄峰(1976—),男,福建人,助理工程师,主要研究方向为信息系统、信息网络、计算机硬件。