

# 随机分布的无线传感器网络中移动 sink 的路径规划

常捷 张灵

(广东工业大学计算机学院 广州 510006)

**摘要** 针对大量节点正态分布的无线传感器网络,为了提高网络的寿命,提出了一种移动 sink 的高效路径规划方案。首先由节点的分布规律将网络划分为多个子区域,然后在此基础上以最大化网络寿命为目标找到 sink 的最佳转折点,最后得到一条最优路径。通过 NS-2 中大量的仿真实验结果表明,与已有的类似方案相比,该方案可以有效均衡网络能耗,延长网络的生命周期,同时取得较好的网络性能。

**关键词** 随机分布,移动 sink,路径规划,生命周期

**中图分类号** TP393.01 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.02.022

## Optimal Path Planning for Mobile Sink in Random Distributed Wireless Sensor Networks

CHANG Jie ZHANG Ling

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract** In wireless sensor networks with a large number of normally distributed nodes, in order to improve the network lifetime, an efficient path planning scheme of a mobile sink was proposed in this paper. Firstly, the network is divided into several subregions by the distribution of nodes. Then, the best turning point of sink on this basis is found in order to maximize the network life time. Finally, an optimal path is got. Lots of simulation results under NS-2 show that compared with existing similar schemes, this scheme can effectively balance the network energy consumption, prolong the network lifetime and achieve better network performance.

**Keywords** Random distributed, Mobile sink, Path planning, Network lifetime

随着无线传感器网络的迅猛发展,出现了许多新的需求和应用场景,无线传感器网络在森林监测、智能家居、特殊医疗、海洋和空间探测等领域内的研究成果不断涌现<sup>[1]</sup>。但传感器节点以电池作为能量供给源,且受到应用环境的约束,故很难为传感器节点进行能量补充,其通信能力十分有限。因此,有效提高网络的生命周期显得尤为重要。

在固定 sink 节点的静态网络<sup>[2]</sup>中,网络初始化后, sink 周围的传感器节点会肩负起转发其他节点所采集的数据的任务,从而导致节点自身能量快速消耗,致使 Sink 周围的节点过早失效,这种网络节点能耗不均衡的情况会在网络内部产生“空洞”等问题<sup>[3]</sup>,缩短网络生存期。因此近年来出现了许多引入移动 sink 充当数据收集器的例子<sup>[4-5]</sup>。它可以缓解节点负载不均问题,而且 sink 的移动性还能减少节点将数据传输给 sink 所需要的跳数,从而减少节点的能耗,延长网络寿命<sup>[6-7]</sup>。文献[8]提出了启发式 sink 路径规划策略, sink 的移动轨迹由连接的线段构成,每次执行路径优化算法时,选择中轴线上候选点中能获取最佳网络性能的点为 sink 转向点,在其区域中轴线上选取能获取最佳网络性能的点为 sink 转向点直至算法结束。文献[9]将矩形网络区域等分为相互独立的子区域进行路径选择,降低了算法的计算量及执行时间。

然而在节点随机分布的传感器网络中,通过概率将区域分成不等的独立子区域后再执行规划路径的方法将会得到更好的网络性能。文献[10]采用分布式思想与网络的局部信息选择最优路径,实现网络能耗与传输时延之间的折中。文献[11]提出了一种基于虚拟点优先级的移动 sink 路径优化方法,在算法中由网格方法划分虚拟点,并由 sink 沿着用 TSP 算法求解的最短路径收集传感器节点的数据。文献[12]提出了一种利用网络中移动 sink 的行为特点来最小化能量消耗和网络拥塞的路由方案。文献[13]通过探讨在本地数据聚集的转发跳数和移动收集器移动路径长度之间的平衡,对移动收集器节能和数据收集时延的均衡进行了研究。

对于高密度节点部署的网络,节点随机地分布在监控区域内, Sink 在进行数据采集前根据网络拓扑规划其采集路径。基于上述情况,本文考虑合理规划移动 sink 的移动路径来均衡整个网络的负载并延长网络的生命周期。首先根据网络中节点的分布情况将网络分割成相互独立的子区域;然后通过运行负载均衡算法和移动路径选择算法选择出每条中轴线上的 sink 的最佳转折点;最后在前两个步骤的基础上,得到能使网络生命周期最大化的移动 sink 数据收集计划路径。

到稿日期:2016-01-08 返修日期:2016-03-23 本文受广州市科技计划项目(2014J4100228)资助。

常捷(1991—),女,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络传输技术, E-mail: 397877802@qq.com; 张灵(1968—),女,博士,教授,主要研究方向为智能优化算法研究与应用、无线传感网络传输技术。

### 1 网络模型

假设传感器节点以随机的方式部署到一个  $W \times H$  的矩形监测区域内,形成一个多跳自组织网络,其中:

1)网络是全连通的,其中所有的节点的初始能量相同且有限,具有唯一的 ID 号标识,其部署后的位置固定不变。

2)网络中传感器节点总数已知,移动 sink 负责将收集到的数据处理后发送给数据信息处理中心,且 sink 可以按规划好的路径以恒定速率  $V$  移动,能量不受限制。

3)每个节点可以获得自己的地理位置信息,且功能一样。

#### 1.1 能耗模型

在本文的模型下,假设网络中每个传感器节点发送或者接收信息电路消耗的能量由  $E_{dec}$  表示。单位功率放大器的电子功耗由  $E_{amp}$  表示。传感器节点  $i$  的数据发送速率为  $v$ 。所以当普通节点  $i$  发送  $k$  bit 的数据包时,节点消耗的能量为:

$$E_r = E_{dec}k \tag{1}$$

$$E_t = E_{dec}k + E_{amp}d^2(i, j)k \tag{2}$$

其中,  $d(i, j)$  是节点  $i$  和  $j$  之间的欧氏距离。发送数据包所消耗的总能量由两部分组成。第 1 部分是在电子元件上所消耗的能量,等于  $E_{dec} \times k$  第 2 部分是在放大器件上所消耗的能量,等于  $E_{amp} \times k \times d^2(i, j)$ 。而在接收消息时,仅存在第一部分的能量消耗。

#### 1.2 问题描述

在节点随机分布的矩形传感器网络中提出一种移动 sink 的路径选择机制,旨在均衡全网节点能耗,最大化网络生命周期。sink 以长方形区域边界上的某一点为起点,沿规划路径匀速移动,对数据进行采集。当 sink 移动至节点通信范围内时,网络中节点采取多跳的方式与之通信,当 sink 移动至另一侧边界时视为 sink 完成一轮采集。由此本文的数据收集方案涉及几个问题:首先,随机分布的区域中节点最终呈正态分布,特点是中间的节点多,四周节点少,使子区域随节点数增多而增大,且可以有效地提高网络性能。其次,在子区域中要在最大化网络寿命的前提下找到最佳的中继路径,因此转向点的选择尤其重要。接下来将讨论这些问题。

### 2 子区域的划分和转向点的选择

文中定义网络生命周期为网络中出现首个节点死亡的轮数。我们发现一个好的移动 sink 的移动路径可降低传感器的最大负载,节省大量的能源,并显著延长网络寿命。接下来考虑通过仔细规划移动 sink 移动路径来最大化网络的寿命。

移动 sink 从 A 到 B 遍历整个网络区域,假设每个传感器节点发一个包到移动 sink。但由于传感器节点的传输功率有限,有的数据包可能要经过多跳才能转发至移动 sink。移动 sink 的移动路径长度影响网络的生命周期。

如图 1(a)所示,  $n_0$  是瓶颈节点,它不仅要发送自己的数据包,还要负责转发其他传感器节点的 4 个数据包到移动 sink,因此会造成其能量消耗过快。如果  $n_0$  失效,移动 sink 在不改变移动路径的情况下将无法满足不同网络中其他节点的发包任务。图 1(b)中每个节点最多需要转发包含自身的 2 个包,能大大均衡网络能耗负载,延长网络寿命。因此需要规划好一条最优的 sink 移动路径,其中子区域划分和转向点的选

择显得尤为重要。

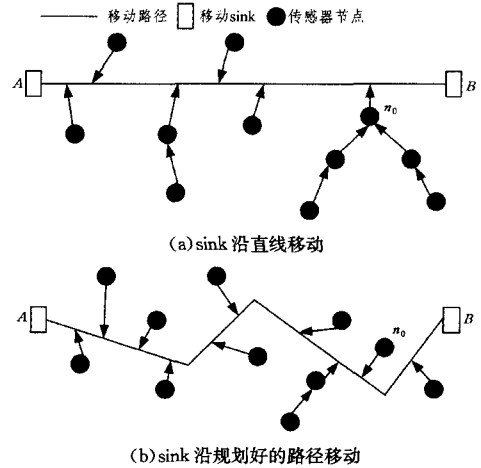


图 1 sink 从 A 到 B 收集数据

在实践中,可假设 sink 的移动路径长度  $L=L_1+L_2+\dots+L_{n+1}$ ,即移动路径从起点到终点包括  $n+1$  个连接的线段。则移动 sink 在路径结束之前需要转折  $n$  次。用  $(x_A, y_A)$  和  $(x_B, y_B)$  分别表示 A 和 B 的坐标,由节点随机分布的规律可知,所有传感器节点的横坐标均在  $x_A, x_B$  之间。因此,使用分而治之的方法在子区域已划分的基础上找到每个转折点,假设  $n=2m-1$ ,用  $i$  表示路径规划算法的迭代次数 ( $i=1, 2, \dots$ ) 将矩形监测区域划分为  $R$  个小矩形区域,由左至右,假设网络中传感器节点的个数为  $N$ ,区域中的节点数采用正态分布的特点;四周少,中间多;则为了简单起见,首先以区域的中轴线为分界线,即在第一次迭代当  $i=1$  时,将区域一分为二即  $n=1$ ,然后以左边区域为例(左右对称):首先第二次迭代将左边区域一分为二,第三次迭代在前一次的基础上,左边区域不变,右边一分为二。假设  $m=a+b \times 2$ ,其中  $m$  是左边网络的子区域个数,  $a$  是前一次迭代中一分为二的区域个数,  $b$  是前一次迭代中的项数。则用数学归纳法证明结果如下:

$$1) i=3, m_3=1+2=3; n=2m-1=5; i=4, m_4=2+1+2=a+b \times 2=5; n=9;$$

$$2) \text{假设 } i=j \text{ 时等式成立,即 } m_j=a_{j-1}+2 \times b_{j-1};$$

那么当  $i=j+1$  时,

$$m_{j+1}=a_{j-1}+(b_{j-1}-a_{j-1})+2 \times (b_{j-1}-a_{j-1}+2 \times a_{j-1})=a_{j-1}+2 \times b_{j-1}+a_{j-1}+b_{j-1}$$

$$\text{又 } a_j+2 \times b_j=a_{j-1}+2 \times b_{j-1}+a_{j-1}+b_{j-1}$$

$$\text{因此, } m_{j+1}=a_j+2 \times b_j;$$

由 1)和 2)可知,对于任何  $n \in N(n \geq 3)$ ,等式  $m=a+b \times 2$  均成立。

图 2 所示为  $i=3$  和  $i=4$  时的子区域划分情况。

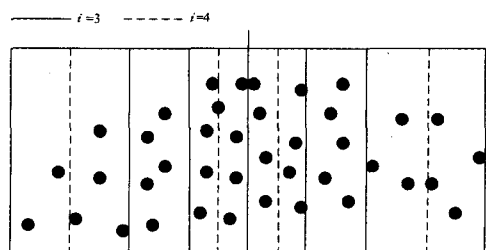


图 2  $i=3, 4$  时子区域的划分情况

为了简单起见,假设第一个转折点的  $x$  坐标  $x_t = \frac{x_A + x_B}{2}$ ,  $y$  坐标  $y_t = m\Delta y$ , 其中  $\Delta y$  为固定网格的长度,  $m$  为任意整数。当划分好子区域后,即所有转折点的  $x$  坐标已知,而  $y$  轴坐标不确定,可能会有很多个转折点。要检查寻优,以找到能最大化网络生命周期的转折点。下面给出第一次迭代时 20 个节点正态分布的网络中 sink 路径转折点的选择策略。其中转折点纵向坐标由下及上依次为  $\Delta y, 2\Delta y, 3\Delta y, 4\Delta y$ 。定义瓶颈节点为网络中转发数据包最多的节点,也即消耗能量最快的节点。

图 3(a)中  $n_0$  为瓶颈节点,其转发 5 个数据包;图 3(b)中  $n_1$  为瓶颈节点,其转发 2 个数据包,比较可知图 3(b)中的移动 sink 路径能提供更好的网络性能,则所得第一个 sink 的转折点的坐标即为  $(\frac{x_A + x_B}{2}, 2\Delta y)$ 。

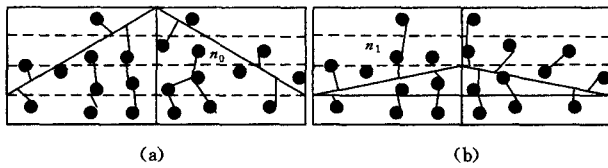


图 3 不同转折点时网络的性能

在得到一系列合适的转向点位置之后,检查每个可能的转向点来找到能使网络负载最小化的最优转向点,纵轴上假定  $\Delta y$  是固定网格的长度,则转向点的  $y$  轴坐标为  $m \times \Delta y, m$  为任意整数。

### 3 分簇算法

移动路径由连接的线段组成,在得到转折点之后,在子区域内规划的路径能最大化网络生命周期的前提是使每个传感器节点沿着最短路径转发数据包至移动 sink。这时从传感器到线段的路径距离由路由跳数来测量。因此,一个简单的组织传感器节点成簇的方法是为每个传感器节点分配“最近”的路段,给定一组传感器节点  $V$  和一组线段  $L$  的集合,则对传感器节点的分簇可以通过在图  $G(V, L, E)$  中运行 Dijkstra 最短路径算法来实现,其构造方法如下:

- 1)  $S$  是求出的顶点的集合(初始时添加一个根顶点  $rt$ )。
- 2) 对于每个线段,向  $L$  中添加顶点  $l_k$ ,向  $E$  中添加权重为 1 的边  $(rt, l_k)$ 。
- 3) 对于每一个传感器节点  $v_i \in V$ ,向  $S$  中添加一个顶点  $v_i$ 。如果有且只有传感器节点  $v_i$  可以在一跳范围内到达线段  $l_k$ ,通过权重为 1 的边  $e(v_i, l_k)$  连接  $v_i$  和  $l_k$ 。
- 4) 对于每一对传感器节点  $v_i$  和  $v_j \in V$ ,只有传感器节点  $v_i$  和  $v_j$  可以在一跳范围内到达对方时通过权重为 1 的边  $e(v_i, v_j)$  连接。

### 4 路径优化算法

通过结合上述的子区域划分、转向点选择和分簇算法,最终的移动路径规划算法如下:将网络区域划分为一系列合适的子区域,再从所有可能的 sink 节点的转折点中找到最

优的转折点,而对于网络中每个簇,递归地运行第 3 节中的分簇算法。

图 4 所示为一个移动路径规划算法的例子,其中图 4(a)~图 4(d)分别表示初始、第一次、第二次和第三次迭代的 sink 的移动路径和能量消耗。从图中可以发现,节点  $n_0, n_1, n_2, n_3$  是图 4(a)~图 4(d)的瓶颈节点,且需要转发 6, 5, 3 和 2 个数据包至移动 sink。它们消耗的能量远大于其他节点,更直接决定着网络的生命周期。迭代 3 次后规划所得的 sink 的移动路径能大幅延长整个网络的生命周期。

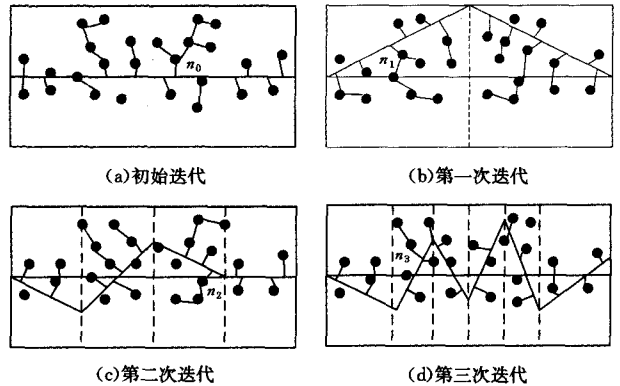


图 4 不同迭代次数下 sink 的移动路径

在该移动路径规划算法中,在路径中增加转向点的个数会增加移动 sink 的移动路径长度,而实际上移动路径的长度由许多因素限制,首先是节点的缓存大小和节点的数据收集速率,为保证较低的数据丢失率,传感器节点的缓存数据必须在溢出之前被收集。假设所有的传感器节点有相同的存储大小  $W_{memory}$ ,且数据生成速率为  $V_{generate}$ ,则每条路径的最大长度  $d$  必须小于或等于  $\frac{W_{memory}}{V_{generate}}$ 。因此,路径优化算法如表 1 所列。

表 1 路径优化算法

<pre> i=1; flag=1; while(flag==1) n=2m(m is the number of clusters in the left half of the network); if(i=1) m=1; else if(i=2) m=1+1=2; else if(i=3) m=1+2=3; else m=a+2 * b(a is the number of 2 in last iteration, b is the number of terms in last iteration); for j=1 to n do Find the best turning point int jth cluster from all possible turning points Planning the best moving path If the path length of mobile sink cannot satisfy the d after the new turning point is added Flag=0; Remove the turning point from the path; end if end for i++; end while                 </pre>
---

### 5 仿真结果与性能分析

本文采用 NS2 仿真平台进行仿真,对所提的随机分布中的移动 sink 的路径规划机制进行性能分析。实验中,假设节点按正态分布的规律分布在监控区域为 500m×1000m 的长方形区域,传感节点的个数为 100,节点的最大通信半径为 200m;普通节点的初始能量为 0.5J,sink 节点的能量不限,节点发送单位字节的能耗为 50nJ,接收单位字节的能耗为 10nJ;每个周期节点平均产生的数据为 1000Byte。Sink 沿计算出的最优路径匀速移动。其中节点的拓扑结构如图 5 所示。

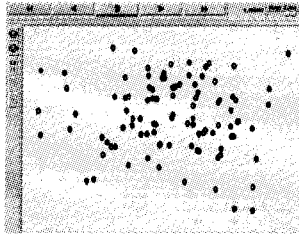


图 5 100 个节点的拓扑结构

为了验证本文方案的良好性能,将其与文献[9]中的路径选择机制进行比较,由文中的算法可知两种方案下移动 sink 在第 1 次迭代时的区域划分相同,因此给出第 2 次和第 3 次迭代时各自的 sink 移动路径的划分情况。图 6(a)中的总路径长度分别为 1606m 和 4120m,图 6(b)中的总路径长度分别为 1606m 和 3178m。由此可见本文中的移动路径规划算法在相同迭代次数的情况下移动路径更短。

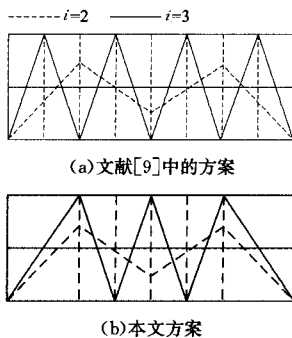


图 6 i=2,3 时 sink 的移动路径

图 7 所示为在不同的迭代次数下移动 sink 的路径长度。从图中可以看出,相较文献[9]中的方案,本文提出的路径规划方案的移动路径长度在相同的迭代次数下有明显的缩短,这是由于划分子区域的方法不同导致移动路径不同。图 8 所示为不同迭代次数下网络区域中出现首个死亡节点时网络的运行轮数。由图 8 可知,本文提出的方案相对于文献[9]中的采集方案显著延长了网络寿命,在  $i=3$  以后,网络中出现首个节点死亡的轮数显著增加。这是由于随着区域划分次数增多,与 sink 直接通信的节点增多,因此减少了网络数据包的转发次数。但结合图 7 可知,sink 的移动路径长度也有所增加。然而本文中的移动路径规划方法与之相比在迭代次数相等的情况下不仅能够较少地增加路径长度还能保证较好的网络性能。

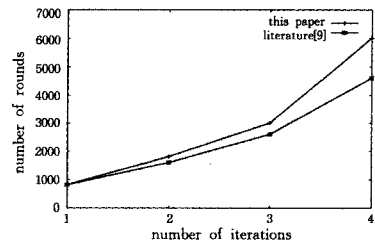


图 7 首个节点死亡的轮数

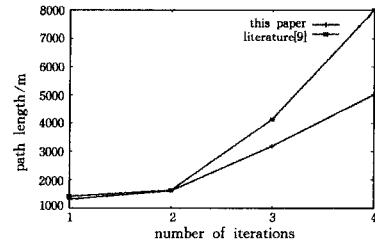


图 8 移动路径长度

图 9 所示为在  $i=3$  时两种方案从开始采集数据到网络中有 30% 的节点死亡时各轮采集周期中节点的存活比例。采用本文方案能较好地降低网络能耗,且网络中从开始收集数据到有 10% 和 20% 的节点死亡轮数分别为 3900 和 4800,与文献[9]中的方案相比分别增加了 18.7% 和 16.7%,这进一步证明了本文方案能更好地均衡网络能耗,延长网络生命周期。

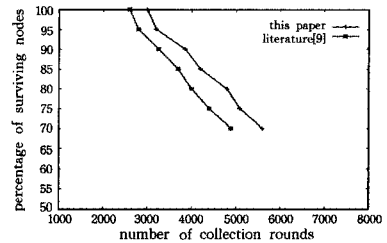


图 9 i=3 时每轮存活的节点百分比

**结束语** 本文针对节点正态分布的密集型传感器网络,提出了一种移动 sink 的路径规划机制。通过划分子区域,寻找 sink 的转折点,得到移动 sink 的最优路径;通过模拟平台的对比实验验证了本文的路径规划方案能够有效地均衡网络能耗,延长网络的生命周期,具有较好的网络性能,且降低了算法的计算量和执行时间。下一步研究:将考虑多个 sink 移动的数据收集以及它们之间的协作通信问题。

### 参考文献

- [1] AKYILDIZI, SUW, SANKARASUBDAM Y. Wireless sensor networks; a survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] TANG L, JIAN P, XIAO F W, et al. Research on the energy hole problem based on non-uniform node distribution for wireless sensor network[J]. Transactions on Internet and Information Systems, 2012, 6(9): 2017-2036.
- [3] XUE W, LUO Q, CHEN L, et al. Contour mapmatching for event detection in sensor networks[C]//Proc of the ACM SIG-

MOD. Chicago, USA, 2006, 375-380.

[4] LI Z J, LI M, WANG J L, et al. Ubiquitous data collection for mobile users in wireless sensor networks[C]//Poc of the IEEE INFOCOM. Shanghai, China, 2011, 2246-2254.

[5] LUO J, ZHANG Q, WANG D. Delay tolerant event collection for underground coal mine using mobile sinks[C]//Proc of the IEEE IWQoS. Charleston, USA, 2009, 1-9.

[6] HUI X W, LIU Y M. Comprehensive Study on the Problem of Mobile Sink Path Planning and the Cluster Head Node Selecting in WSN Data Collection[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2014, 27(1): 118-122. (in Chinese)  
惠晓威, 刘彦每. WSN 数据集中移动 Sink 的路径规划和簇头节点选取问题的综合研究[J]. 传感技术学报, 2014, 27(1): 118-122.

[7] ZHANG L, ZHANG K. Mobile Sink-Based Data Gathering Algorithm in Wireless Sensor Networks[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2012, 25(5): 673-677. (in Chinese)  
张蕾, 张堃. 无线传感器网络中一种基于移动 sink 的数据收集算法[J]. 传感技术学报, 2012, 25(5): 673-677.

[8] MA M, YANG Y Y. SenCar: an energy-efficient data gathering mechanism for large-scale multihop sensor networks[J]. IEEE

Trans on Parallel and Distributed Systems, 2007, 18(10): 1476-1488.

[9] ZHOU T, GAO M F. Optimal path selection for mobile sink in dense wireless sensor networks[J]. Application Research of Computers. 2013, 30(4): 1120-1122. (in Chinese)  
周涛, 高美凤. 密集型传感器网络中移动 sink 的路径选择机制[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(4): 1120-1122.

[10] SOMASUNDARA A A, KANSAL A, JEA D. Controllably mobile infrastructure for low energy embedded networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(8): 958-973.

[11] ZHANG X W, SHEN L, JIANG Y F, et al. Optimizing path selection of mobile Sink nodes in mobility-assistant WSN[J]. Journal on Communications. 2013, 34(2): 85-93. (in Chinese)  
张希伟, 沈琳, 蒋益峰, 等. 移动协助传感器网络中 Sink 的路径优化策略[J]. 通信学报, 2013, 34(2): 85-93.

[12] LEE H, WICKE M, KUSY B, et al. Data stashing: Energy-efficient information delivery to mobile sinks through trajectory prediction[C]//Proc. ACM IPSN. 2010, 291-302.

[13] ZHAO M, YANG Y. Bounded relay hop mobile data gathering in wireless sensor networks[J]. IEEE Trans. Comput. , 2012, 61(2): 265-277.

(上接第 139 页)

表,用“ping”命令检查各节点的连通性。任意选取网络中的两个节点,例如:以节点 1 作为源节点,以节点 4 作为目的节点,两个设备节点间的最大路由跳数为 3。

```

*****ROUTING TABLES*****
  DESTINATION  NEXT HOP   HOPS
  192.168.100.9  192.168.100.9  1
  192.168.100.12 192.168.100.9  2
  192.168.100.3  192.168.100.9  3
*****

```

图 11 节点 1 路由表信息

图 11 所示为节点 1 的路由表项信息,由路由表信息可以看出,节点 1 能够正确进行邻居发现并与不同通信距离的邻居建立有效路由。另一方面,通过“ping”可以实现节点 1 与节点 4 的互联互通。经过多次实验验证,系统可以实现网络覆盖范围内任意两个节点的互联互通,使用本系统可以实现用户间的多跳 D2D 通信。

**结束语** 多跳 D2D 通信具有十分重要的理论与实际应用价值。本文在 Android 手机上通过 Ad-Hoc 模式支持获取、OLSR 路由协议应用实现了多跳 D2D 通信系统,同时为用户提供了控制接口,优化了系统的不足之处,并通过实验验证了本系统的实用性,这是多跳 D2D 研究工作的重要补充。目前关于多跳 D2D 通信的理论研究工作还很少,而且理论研究成果大都没有利用实际的平台进行验证,许多关于多跳 D2D 通信的理论工作有待完善。下一步将本系统作为多跳 D2D 通信研究工作的重要平台,进行多跳 D2D 通信的理论研究工作并将研究成果在本平台上给予实际验证,为 D2D 通信的实际应用提供更真实有效的参考。

### 参 考 文 献

[1] Cisco Visual Networking Index: Global mobile data traffic forecast update, 2013-2018[OL]. [http://scisweb.ulster.ac.uk/~jose/COM555/Useful%20Reading%20and%20References/Cisco\\_white\\_paper.pdf](http://scisweb.ulster.ac.uk/~jose/COM555/Useful%20Reading%20and%20References/Cisco_white_paper.pdf).

[2] WANG J Y, GONG Z S, FU J L, et al. Data sharing scheme based on multi-hop Device-to-Device (D2D) forwarding [J]. Computer Science, 2015, 42(8): 124-127. (in Chinese)  
王俊义, 巩志帅, 符杰林, 等. 基于多跳 D2D 转发的簇内数据共享方案[J]. 计算机科学, 2015, 42(8): 124-127.

[3] DOPPLER B, RINNE M, WIJTING C, et al. Device-to-device communications as an underlay to LTE-advanced networks[J]. IEEE Communications, 2009, 47(12): 42-49.

[4] WEI L, HU R, QIAN Y. Enable device-to-device communications underlaying cellular networks: challenges and research aspects[J]. IEEE Communications, 2014, 52(6): 90-96.

[5] LIU J J, NEI K, KADOWAKI, et al. Device-to-Device communications in LTE-Advanced networks: a survey[J]. Communications Surveys, 2015, 17(4): 1923-1940.

[6] HASEN, CHRISTOPHER J. WiGiG: Multi-gigabit wireless communications in the 60 GHz band[J]. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(6): 6-7.

[7] JACQUET P, CLAUSEN T, LAOYITI A, et al. Optimized link state routing protocol for ad hoc networks[C]// International Conference on Multi Topic 2001. Paris: IEEE Press. 2001: 62-68.

[8] ZHAO H W. Android NDK platform build and application[J]. Journal of Computer Knowledge and Technology, 2010, 6(35): 10055-10057. (in Chinese)  
赵宏伟. Android NDK 开发环境实现与应用[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(35): 10055-10057.