

移动传感网中一种基于 RSSI 的机会主义路由设计

霍广城, 王晓东

(国防科学技术大学计算机学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 本文针对移动无线传感网提出一种结合节点移动向量和接收信号强度指示值 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 信息的机会主义路由 OR²RSSI, 利用 Sink 节点 Beacon 报文的 RSSI 信息建立并更新机会概率值, 使用报文广播后所能到达的具有最大机会概率值的最佳节点进行存储转发, 完成移动无线传感网信息收集. OR²RSSI 是一种良好的后择路由, 不以既存路径为基础, 不需额外设备支持, 具有报文成功传输率高、网络有效吞吐量大以及能耗低等优点.

关键词: 移动无线传感网; 机会主义路由; 接收信号强度指示值; 移动向量

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2009) 03-0608-06

An Opportunistic Routing for Mobile Wireless Sensor Networks Based on RSSI

HUO Guangcheng, WANG Xiaodong

(School of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: In Mobile Wireless Sensor Networks (MWSN) with a sparse node population, an end-to-end path may be broken frequently or may not exist at any time due to nodes' mobility, which makes it impossible to apply the existing shortest path routing protocols based on static topology for MWSN. An RSSI-based opportunistic routing protocol for MWSN, called OR²RSSI, is proposed in this paper. In OR²RSSI, Opportunistic Probability (OP) based on the RSSI of the Sink's Beacon packets and Mobility Vector (MV) is established and the best node with the highest OP is chosen to store and relay packets at each hop after packets are broadcasted. Simulation results show that OR²RSSI performs better on successful delivery ratio, goodput and energy overhead as compared with traditional TinyAODV.

Key words: mobile wireless sensor networks; opportunistic routing; RSSI; mobility vector

1 引言

随着无线通信、电子和传感器技术的发展, 无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 得到了飞速的发展, 被广泛应用于各种领域, 如智能家居、建筑监控、电子围界、环境监测、军事运用等^[1]. 当前, 野生动物监测成为无线传感器网络热门应用之一, 代表项目包括 SWIM 和 ZebraNet^[2]. 而移动环境下, 传感器网络路由面临着更多新的挑战.

目前, WSN 中多数路由协议针对静态拓扑提出, 如 LEACH^[3]、SPIN^[4] 等, 而移动环境下的路由则简单借鉴移动自组网 (MANET) 路由协议, 形成 TinyAODV^[5]、Flooding 等. 这些路由协议都存在共性假设: 数据源节点与汇聚节点间总是存在一条可用路径. 但实际的移动环境下, 节点任意动态移动, 因而链路也随时间变化而改变. 正由于拓扑动态变化、链路变化频繁以及节点有限的传输通信距离, 上述假设是不成立的. 换句话说, 节点

间不一定总是存在一条可达路径, 即使有时存在, 但持续时间较短也不足以完成数据的收集. 因此, 传统的路由协议不适用于移动传感器网络.

移动传感器网络中, 虽然网络拓扑动态变化, 源节点与目标节点之间未必存在一条可用路径, 但可以利用它们间的移动节点存储转发报文, 机会性的完成报文的传输. 移动传感器网络利用中间移动节点机会性的存储转发报文, 因此也称为机会网络^[6] (Opportunistic Networks). 机会网络往往要求收集数据的全面性、完整性, 而对延时的要求不高, 所以移动传感网络也属于延时容忍网络^[7] (DIN, Delay Tolerant Network).

近几年, 国内外学者对 DIN 网络路由做了大量的研究, 提出了一系列的算法, 如感染路由^[8] (Epidemic Routing)、CAR^[9] (Context-Aware Routing)、ProPHET^[10] 等. 但它们或需要大量的缓存空间缓存报文 (Epidemic), 或需要大量能耗来交互大量的路由报文 (CAR, ProPHET), 这对于空间有限、能量有限的传感器网络来说, 都是致

命的. 因此, 移动传感器网络路由仍以 TinyAODV 等传统路由为主.

近几年针对无线网络提出的机会主义路由(Oppor2 tunistic Routing) 是一种后择路由, 不以源目标节点间直接可达路径为基础, 充分利用无线信道的广播特性, 尽可能地克服动态拓扑、链路信道变化频繁等影响, 从而有效提高无线网络性能^[11, 12]. 因此, 本文在移动传感网中借鉴机会主义路由, 以象群监测为应用背景, 提出一种结合节点移动方向和 RSSI 信息的机会主义路由, 在保证一定延迟的基础上, 尽可能高效、少缓存、低能耗地完成移动传感器网络的信息收集.

2 机会主义路由系统模型与相关定义

系统模型: 考虑有向图 $G = \{N, E\}$, 其中 N 为网络节点数, E 为节点间链路集合. 若节点 j 在节点 i 的有效通信距离内, 则 $v_{ij} \in E$. 但无线网络中链路质量随时间而变化, 因此对于 P_{ij} , 存在概率值 P_{ij} 表示该链路的有效率.

与传统的下一跳先决路由不同, 机会主义路由是一种后择路由. 换句话说, 节点在转发包时不确定下一跳, 而是报文广播出去后, 再利用转发候选集中的最佳节点转发报文. 机会主义路由充分利用了无线网络的广播特性, 机会性的选择报文能到达的最佳节点转发, 尽可能的减小信道频繁变化对报文传输造成的影响, 从而有效提高无线网络性能.

机会主义路由相关的概念: 转发节点集、机会概率值、转发候选集.

定义 1 节点 i 的转发节点集 $S_i = \{j | v_{ij} \in E\}$, 即节点 i 有效通信距离内所有邻居节点集合.

定义 2 节点 i 到目标节点 d 的机会概率值(Opportunity Probability) $OP_{id} = \{\text{报文从节点 } i \text{ 到目标节点 } d \text{ 成功传输的机会概率}\}$. 机会概率值是选择转发候选集的重要衡量指标, 是实现机会主义路由的基础.

定义 3 节点 i 到目标节点 d 的转发候选集 $R_{id} = \{j | OP_{jd} > OP_{id}, j \in S_i\}$; R_{id} 为 S_i 的子集($R_{id} \subset S_i$), 若 S_i 基数为 k , 则 R_{id} 有 2^k 种可能.

实施机会主义路由的关键在于节点转发候选集 R 的选取, 而 R 由机会概率值 OP 决定. 国内外学者提出了众多建立机会概率值 OP 的方法, 如基于跳数、地理位置信息^[13]、ETX^[14]、EAX^[15] 等. 但这些方法都不适合于移动传感器网络:

#以跳数、地理位置等建立的机会概率值不能反映信道质量;

#地理位置信息需要昂贵的 GPS 设备支持, 并且移动环境下实时的地理信息更新也不易做到;

#以 EIX、EAX 建立的机会概率值虽然能反应信道

质量, 但需要大量的路由交互报文, 消耗大量的能量, 因此不适用于能量有限的移动传感器网络;

#最重要的是: 以上方法均不能体现移动传感网中节点的移动性, 而移动传感网中移动性对转发候选节点的选择至关重要. 如图 1 所示, 移向 Sink 节点的节点 B 显然具有更高的机会成功传输报文, 而根据上述方法建立的机会概率值, $OP_{BS} = OP_{CS}$, 无法正确选取转发候选节点.

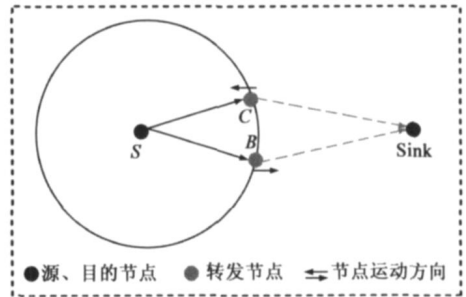


图1 移动性对OP的影响

因此, 论文从蜜蜂采蜜行为得到启发, 利用一定程度上反应信道质量的 RSSI 信息建立节点机会概率值 OP , 并引入移动向量以反映节点移动性, 利用距离 Sink 节点近的具有更高机会概率的最佳节点存储转发报文, 实施机会主义路由.

3 OR2RSSI 基本思想

3.1 蜜蜂采蜜模型

如图 2 所示, 蜜蜂采蜜时虽不是直线飞向花源, 但总能逐步逼近, 这其中靠的是花香的扩散. 蜜蜂根据花香在周围环境的浓度变化, 朝花香更浓的地方飞, 一般都可成功寻找到花源.

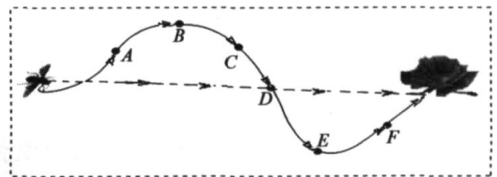


图2 蜜蜂采蜜模型

若把移动传感网中的 Sink 节点比作移动的花源, 数据报文比作寻花的蜜蜂, 则只要建立如花香浓度值的机会概率值, 让报文以机会概率值作为启发信息进行存储转发, 则可提高报文传输率以及尽可能减小传输延迟. 花香随着距离的增大而减弱, 而 RSSI 值也恰恰具有同样的性质. RSSI, 即信号强度指示值, 被普遍应用于 WSN 中的定位技术, 但极少用于路由协议设计. 利用 RSSI 建立机会概率值, 一定程度上体现了信道质量, 同时也不需要大量的交互报文.

3.1.2 基于 RSSI 的机会概率值

野生动物监测传感网中, Sink 节点具有较强能力,

包括计算、存储、能源等. 因此可以通过 Sink 节点周期性的发送功率较大的 Beacon 报文, 其他传感节点根据接收的 Beacon 报文的信号强度值 (RSSI 信息) 建立机会概率值 OP_s (s 表示目标 sink 节点), 如式(1).

$$OP_{is} = OP_{is} + \frac{1}{|RSSI|} * A \quad (1)$$

其中 A 为常数. 每个传感节点到 Sink 节点的机会概率初始值为 0, 当第一次接受到 Beacon 报文后建立机会概率值 OP_{is} , 以后再次接受到 Sink 节点的 Beacon 报文, 则根据 RSSI 值相应的增加机会概率值. 传感节点离 Sink 节点越近, 信号强度一般越大, 则传输概率增加的越快. 例如, 取 $A = 100$, 假设节点 C2 接收到 Sink 的 Beacon 报文 RSSI 为 -20dbm, 则每次机会概率值增加 5; 节点 C1 较远, Beacon 报文 RSSI 为 -200dbm, 机会概率值每次只增加 0.15.

为了反映节点移动性, 引入移动向量 mv , 把式(1)改写成式(2), 如下所示:

$$OP_{is}^c = OP_{is} + \frac{1}{|RSSI|} * A + mv * c \quad (2)$$

其中 c 为常数 (称为方向矢量常数), mv 表示移动方向矢量 (movement vector). 若节点移向 Sink 节点, $mv = 1$; 若节点远离 Sink 节点, 则 $mv = -1$; 若两者相对静止, 则 $mv = 0$. 那么可以通过比较前后两次 Beacon 报文的 RSSI 值来获得 mv : RSSI 增强, 表示节点移向 Sink 节点; RSSI 减弱, 表示节点远离 Sink 节点; 否则, 两者相对静止. 表示如式(3).

$$mv = \text{sign}(RSSI_{t_c} - RSSI_{t_1}) = \begin{cases} 1 & \text{iff } RSSI_{t_c} - RSSI_{t_1} > 0 \ \&\& \ t_c - t_1 < T_{\text{thres hdd}} \\ 0 & \text{iff } RSSI_{t_c} - RSSI_{t_1} = 0 + \ t_c - t_1 > T_{\text{thres hdd}} \\ -1 & \text{iff } RSSI_{t_c} - RSSI_{t_1} < 0 \ \&\& \ t_c - t_1 < T_{\text{thres hdd}} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $RSSI_{t_c}$ 表示目前接收到的 Beacon 报文的 RSSI 值, $RSSI_{t_1}$ 表示上一次接收到 Beacon 报文的 RSSI 值. 如果这两个时间相隔太久, RSSI 值则不足以反映移动方向, 所以当 $t_c - t_1 > T_{\text{thres hdd}}$, mv 取值为 0.

由于节点的移动性, 传感节点在一定的时间内可能都不会接收到 Sink 节点的 Beacon 报文, 则根据一定的时隙相应的衰减机会概率值, 正如花香也会随时间的增加而减弱一样, 如式(4)所示.

$$OP_s^k = OP_{is} * B^k, \quad 0 < B < 1 \quad (4)$$

其中 k 为时隙数, 可以表示为 $k = \frac{t_{\text{current}} - t_{\text{last-receive-beacon}}}{\$T}$, 即当前时间减去最后一次接收到 Beacon 的时间除以时隙时间, $\$T$ 可以根据不同的需

求自行定义. B 与 $\$T$ 大小的定义直接影响到机会概率值的衰减速度: B 与 $\$T$ 越小, 机会概率值衰减的越快, 表明网络节点移动性越强.

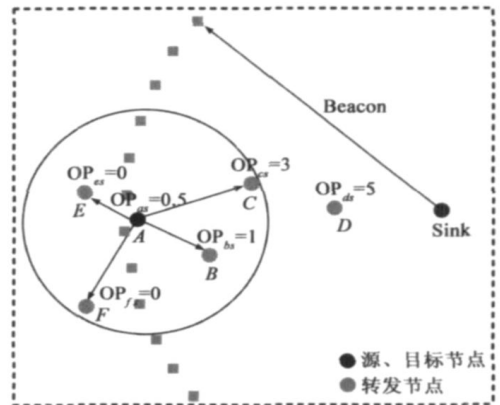


图3 OR-RSSI报文转发过程

4 OR2RSSI 基本过程

基于 RSSI 的机会主义路由包含三个部分: 机会概率更新、发送以及存储转发. Sink 节点周期性的发送 Beacon 报文, 其他节点更新机会概率值. 以机会概率值选择转发候选节点, 并利用报文所能到达的最佳节点进行存储转发.

4.1 机会概率值的建立与更新

Sink 节点周期性发送功率较大的 Beacon 报文, 其他节点相应的更新机会概率值. 所有节点的机会概率值初始为 0, 若节点接收到 Sink 节点的 Beacon 报文, 则根据式(2)相应的增加机会概率值; 若节点一定时隙 $\$T$ 后, 没有接收到 Sink 节点的 Beacon 报文, 则根据式(4)衰减其机会概率值.

经一段时间后, 机会概率值形成规律分布: 与 Sink 节点信道好、距离较近的节点机会概率值较高, 反之则较小. 当节点移动时, 远离 Sink 节点的机会概率值增加减小或者开始衰减, 而移向 Sink 的节点机会概率值增加变快, 则一段时间后又形成规律分布.

4.2 发送

当节点 i 有数据发送时, 不需要像传统先决路由那样先决定下一跳, 只要简单的把报文广播出去即可. 但是, 在报文头中需加入节点自身的机会概率值 OP_s . 如图 3, A 节点的广播报文头部包含信息 $OP_{as} = 0.15$.

节点 i 广播报文后, 监听是否有节点帮其转发. 若发送定时器超时, 仍没有监听到其他节点转发该报文, 则认为转发集 $|S_i| = 0$ 或者候选转发集 $|R_i| = 0$, 在移动过程中重新发送该报文. 重发次数超过限定值, 则丢弃该报文.

4.3 存储转发

转发节点接收到报文后, 从报文头部提取机会概

率值, 并与自身的机会概率值比对. 若自身的机会概率值较大, 则存储转发; 反之, 则对该报文不予理睬. 如图 3 中, $S_A = \{B, C, E, F\}$, $R_{AS} = \{B, C\}$, 候选节点 B、C 的 $OP_{bs}(3)$ 、 $OP_{cs}(1)$ 均大于 $OP_{as}(0.5)$, 则决定存储转发; 而节点 E、F 的 $OP_{es}(0)$ 、 $OP_{fs}(0)$ 均小于 OP_{as} , 则对节点 A 的报文不予理睬.

如上所述, 可能有多个候选节点(如 B 和 C)接收并转发, 这将带来重复冗余报文. 一种简单的方法是在原始报文中规定转发节点的优先级并根据优先级转发报文^[11], 但这样不仅增加原始报文的长度而降低有效传输率, 并且需要发送节点知道有哪些候选节点并规定转发优先级. 本算法采用候选节点智能响应方法来消除报文冗余问题, 减少交互报文的同时提高有效传输率.

转发节点根据自身的机会概率值与发送节点机会概率值的差值决定响应时间, 不需要额外的信息交互, 达到智能响应的效果. 假设转发节点 r 自身机会概率值为 OP_{rs} , 发送节点 i 的机会概率值为 OP_{is} , 则响应时间 t_h 表示如式(5).

$$t_h = f(\$ OP) = \$ t / |OP_{rs} - OP_{is}| \quad (5)$$

其中 $\$ t$ 为时间常数, 根据节点传输距离、节点密度而定. 因此, 在 OP_{is} 、 $\$ t$ 一定的情况下, OP_{rs} 越大(转发优先级越高), 则响应时间越短.

转发节点在其响应时间内, 若监听到其他优先级更高的转发报文, 则删除已经存储的报文副本; 若没有监听到其他更高优先级的转发报文, 则节点认为自己就是所能到达的最远节点, 转发该报文. 如图 3 中, $OP_{cs} > OP_{bs}$, 则节点 B 响应时间大于节点 C 的响应时间, 节点 B 在等待时间内监听到节点 C 转发该报文, 则删除本地副本; 否则转发该报文. OR2RSSI 路由算法伪码如图 4 所示.

```

OR2RSSI_ForwardPacket(P)
1  Get previous OP value  $OP_p$  form P.  $F_\Phi$ ;
2  Get nodes current OP value Self.  $OP_s$ ;
3   $\$OP = Self.OP - OP_p$ ;
4   $T_c =$  current time;
5  IF ( $\$ OP < 0$ )
6      Drop(P);
7      Return;
8  ELSE
9      Set holding time  $T_k = T_c + f(\$ OP)$ ;
10     Add packet p to cache queue  $omssi\_rqueue$ ;
11     While (current time <  $T_k$ )
12         IF node receive another copy ( $P_c$ ) of P
13             IF ( $P_c.F_\Phi > Self.OP$ )
14                 Drop( $P_c$ ); Return;
15             Else
16                 Del.  $omssi\_rqueue(P)$ ; Return;
17 Forward(p);
  
```

图 4 OR2RSSI 算法伪码

5 模拟实验与结果分析

为了验证 OR2RSSI 路由算法的性能, 本文在 NS2. 29 下利用 NS2 报文 Packet 类中的 txinfo. RxPr 参数获取 RSSI 信息, 实现了 OR2RSSI 路由算法. 在两种场景下完成 OR2RSSI 路由与传统的 TinyAODV 路由由模拟仿真, 并比较两者在报文成功传输率 SDR (Successful Delivery Rate)、端到端延迟、有效吞吐量、能耗等性能.

5.1.1 参数设置以及评判标准

OR2RSSI 一些公共参数设置如下: Sink 节点广播 Beacon 报文周期为 5s, 节点发送超时定时器设为 015s, $A = 100$, $B = 018$, 衰减时隙 $\$ T = 1s$, 方向向量常数 c 设为 2, 一个报文的重复次数限值为 10; NS2 一些公共参数的设置: CBR 流 rate 为 3s 一个 Packet, 每个报文长度 512bytes.

性能评判标准: (1) 成功传输率: $SDR =$ 收到的报文数 / 原始报文数; (2) 端到端平均延迟 Delay: 所有生存下来的从源节点到目的节点数据报文端到端延迟的平均值; (3) 有效吞吐量 GoodPut: 单位时间内收到的有效比特数; (4) 能耗: 成功发送一个报文, 所有网络节点所需的平均发包量(包含数据包、路由探索修复包).

5.1.2 简单网络拓扑

在 10m@10m 的范围内, 源节点和 Sink 节点分别放置为正方形的对角顶点, 另一节点在源节点和 Sink 节

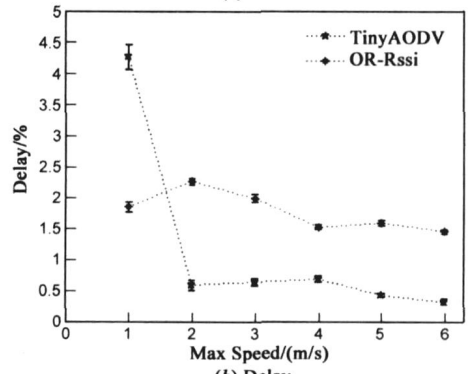
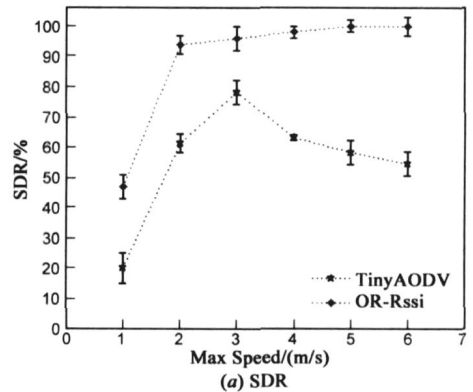
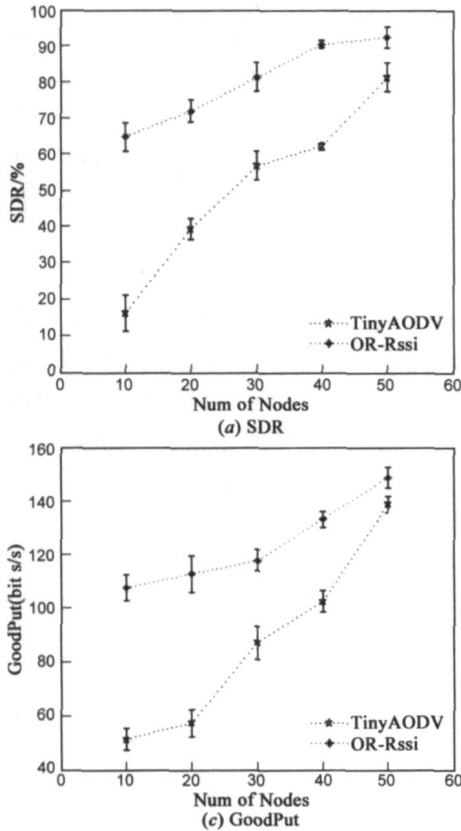


图 5

点间来回反复移动. 通过改变节点发送功率, 使节点的传输距离为 10m, 而 Sink 节点 Beacon 报文的传输距离是 30m. 结果如图 5 所示.

仿真结果分析: 在这种简单场景下, OR2RSSI 机会主义路由报文传输成功率远高于传统的 TinyAODV, 平均可达 90% 以上, 而 TinyAODV 平均只有 50% 多, 如图 5 (a) 所示; 但 TinyAODV 传输的成功报文延迟小于 OR2RSSI 机会主义路由, 平均相差可达 1s, 如图 5 (b).



5.1.3 随机网络模型

在 500m @500m 的范围内, 源节点和 Sink 节点分别放置为正方形的对角顶点, 正方形内用 NS2 的 setdest 工具产生节点数不一的随机移动模型, 针对于不同的节点密度进行模拟. 通过改变节点发送功率, 使节点的传输距离为 100m, 而 Sink 节点 Beacon 报文的传输距离是 500m. 模拟结果如图 6 所示.

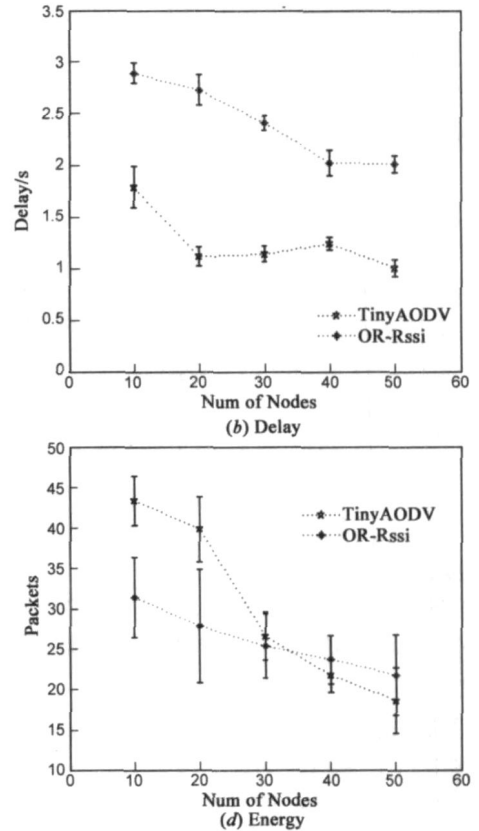


图6

结果分析:

(1) 不同节点密度下, OR2RSSI 机会主义路由的报文成功传输率都高于 TinyAODV, 平均可达 80%, 而 TinyAODV 平均只有 50%, 如图 6 (a) 所示. 特别是在稀疏网络, OR2RSSI 机会主义路由的报文成功传输率比 TinyAODV 高约 50% (约 65% 比 15%).

(2) 在成功报文平均延迟方面, OR2RSSI 机会主义路由由要大于 TinyAODV, 如图 6 (b) 所示. TinyAODV 为先决路由, 一旦路由建立, 报文即可沿着既定的路径进行传输, 成功报文的平均延时较小; 而机会主义路由 OR2RSSI 为后择路由, 不存在既定的路径, 利用中间移动节点机会传输报文, 报文延时相对较大, 这是由延时容忍网络的特性决定的.

(3) 有效吞吐量: Sink 节点单位时间内接收到的有效比特数. 网络密度比较大时, 两者的差别不是很大,

但在稀疏网络中, OR2RSSI 机会主义路由的有效吞吐量远高于传统的 TinyAODV, 如节点数只有 10 时, TinyAODV 的有效吞吐量只有 51128bits/s, 而机会主义路由由可达 107152bits/s, 如图 6 (c) 所示.

(4) 能耗的比较: 模拟实验中不能具体的测出节点的能耗, 这里比较了成功发送一个报文网络所有节点的平均发包量 (包含数据包、路由探索修复包), 结果如图 6 (d) 所示. 稀疏网络情况下, 可用节点数少, 网络断接频繁, TinyAODV 需要频繁地广播大量的路由探索报文, 平均发包量大, 能耗大, 而 OR2RSSI 只需要少量的 Beacon 报文, 能耗较小; 在稠密网络中, 可利用节点较多, TinyAODV 只需要少量的路由修复报文, 平均发包量减少, 能耗小于 OR2RSSI 机会主义路由.

6 结论

本文由蜜蜂寻蜜行为得到启发, 提出移动传感网

中基于 RSSI 信息的机会主义路由协议 OR2RSSI. 协议不需要额外设备支持,一定程度上反映信道质量,同时引入了描述节点运动方向的移动向量,基于节点移动向量和 RSSI 信息建立并更新各转发候选节点的机会概率值,由机会概率值最大的节点进行报文存储转发.与传统路由 TinyAODV 相比,OR2RSSI 适合于移动传感器网络,尤其是稀疏网络,具有报文成功传输率高、网络有效吞吐量大、能耗低等优点.由于移动传感网中节点的移动特性,路由延迟要高于 TinyAODV 协议,这正是移动传感器网络追求传输成功率、对延迟不敏感的机会网络基本特性的体现.

参考文献:

- [1] Akyildiz F, Su W, et al. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2002, 1(8): 102- 114.
- [2] P Juang, H Oki, Y Wang, M Martonosi, et al. Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with ZebraNet[A]. Proceedings of the 2002 ACM ASPLOS[C]. San Jose: ACM Press, 2002. 542- 551.
- [3] Kulik J, Heinzelman WR, Balakrishnan H. Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks[J]. Wireless Networks, 2002, (8): 169- 185.
- [4] Manjeshwar A, Agrawal DP. TEEN: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks[A]. Proceedings of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium[C]. San Francisco: IEEE Computer Society, 2001. 2009- 2015.
- [5] C Gomez, P Salvatella, et al. Adapting AODV for IEEE 802.15.4 mesh sensor networks [A]. Proceedings of the 2006 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks[C]. New York: IEEE Computer Society Press, 2006. 337- 345.
- [6] Luciana Pelusi, Andrea Passarlla, Marco Conti. Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2006, (5): 84- 91.
- [7] K Fall. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[A]. Proceedings of ACM SIGCOMM. 2003[C]. Karlsruhe: ACM Press, 2003. 14- 27.
- [8] Amin Vahdat, David Becker. Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2000, 3(4): 96- 108.
- [9] Micro Musolesi, Stephen Hailes, et al. Adaptive routing for intermittently connected mobile ad hoc networks[A]. Proceedings of WOWMOM 2005[C]. Taormina: IEEE Computer Society Press, 2005. 813- 820.
- [10] Libo Song, David F Kotz. Evaluating opportunistic routing protocols with large realistic contact traces[A]. Proceedings of CHANTS. 2007[C]. Montreal: ACM Press, 2007. 574- 582.
- [11] S Biswas, R Morris. ExOR: opportunistic routing in multihop wireless networks[A]. Proceedings of ACM SIGCOMM. 2005[C]. Philadelphia: ACM Press, 2005. 133- 143.
- [12] Artura Lukosius. Opportunistic routing in multi-sink mobile ad hoc wireless sensor networks[D]. Bremen: University Bremen, 2007.
- [13] Michele Zorzi, Ramesh R Rao. Geographic random forwarding for ad hoc and sensor networks[J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2003, 2(4): 337- 348.
- [14] D De Couto, D Aguayo, et al. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing[A]. Proceedings of ACM MobiCom. 2003[C]. San Diego: ACM Press, 2003. 672- 685.
- [15] Zifei Zhong, Srihari Nelakuditi. On the efficacy of opportunistic routing[A]. Proceedings of SECON 2007[C]. San Diego: IEEE Communication Society Press, 2007. 426- 434.

作者简介:

霍广城 男,1983 年出生于广东省湛江市. 硕士生,主要研究方向:无线通信与移动计算,无线自组网,无线传感器网络.
Email: gdhhuo@163.com

王晓东 男,1973 年出生于湖南省长沙市,博士,副教授,主要研究方向:无线通信与移动计算,网络安全,普适计算,无线传感器网络. Email: xdwang@nuct.edu.cn