

# 机会移动传感网中基于感知方向的数据收集

梁泉<sup>1,3</sup> 贺文武<sup>2</sup> 张永晖<sup>1</sup>

(福建工程学院信息科学与工程学院 福州 350108)<sup>1</sup> (福建工程学院数理系 福州 350108)<sup>2</sup>  
(北京科技大学信息学院 北京 100080)<sup>3</sup>

**摘要** 机会移动传感网中数据收集策略既要保证传输成功率、减小网络开销,也要尽量降低传感器的能量消耗,从而延长网络生命周期。遵循简单实用的原则,提出了基于方向感知的数据收集策略(Data Gathering based on Perceptive Direction, DGPD)。当两个传感器相遇时,以距离它们最近的 Sink 节点为参照点,分别计算各自的感知方向。把感知方向作为一个重要参数来确定两个相遇传感器的消息转发路由,把消息转发给更有利于接近 Sink 节点的传感器,从而提高数据收集成功率,减少过多的消息转发。模拟实验结果表明,这种策略可以有效地完成数据收集,并获得较高的网络性能。

**关键词** 机会移动传感网,数据收集,感知方向,消息转发

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.3.019

## Perceptive-direction-based Data Gathering in Opportunistic Mobile Sensor Networks

LIANG Quan<sup>1,3</sup> HE Wen-wu<sup>2</sup> ZHANG Yong-hui<sup>1</sup>

(School of Information Sciences and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China)<sup>1</sup>

(Department of Mathematics and Physics, Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China)<sup>2</sup>

(School of Information Sciences and Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100080, China)<sup>3</sup>

**Abstract** In opportunistic mobile sensor networks, it is necessary to improve the success rate of data transmission and reduce the network costs. At the same time, to minimize the energy consumption of sensors is also needed so as to prolong the lifetime of the network. For simplicity and practicability, a strategy named data gathering based on perceptive direction (DGPD) was presented in the paper. According to the descriptions of the strategy, both two sensors meeting in the network will select the nearest Sink nodes as the reference and calculate their perceptive directions respectively. Subsequently, the routing of the message forwarding is determined in the light of the perceptive direction which is an important parameter, and one sensor sends the message to the other which better facilitates approaching the Sink node so as to improve the data gathering rate and also reduce excessive messages forwarding. The simulation results indicate that this strategy can effectively complete the data gathering and obtain a higher performance of the network.

**Keywords** Opportunistic mobile sensor network, Data gathering, Perceptive direction, Message forwarding

## 1 引言

移动感知系统应用越来越广泛,如监控野生动物的 ZebraNet<sup>[1]</sup>和 TurtleNet<sup>[2]</sup>,在手持设备中嵌入感知模块收集城市环境信息的城市感知(urbansensing)<sup>[3]</sup>,以及将传感器节点安装在车辆上收集城市交通状况的 Cartel<sup>[4]</sup>等。在这些应用中,传感器往往稀疏部署,通信距离有限的传感器随物体移动而变化,很难形成一个全连通的无线网络,只能形成局部连通、相互隔离且拓扑动态变化的无线网络。网络依赖节点移动带来的通信机会实现数据的转发,因而这类网络称为机会移动传感器网络<sup>[5,6]</sup>。机会移动传感器网络采用“存储-携带-转发”的模式转发消息,即节点在收到消息后,没有合适的转发节点时存储消息,在移动过程中遇到 Sink 节点或合适的转

发节点时,才进行转发,通过这种方式实现网络的数据收集功能。

已有各种在机会移动传感网中进行数据收集的方法被提出,其中很多方法过多地进行数据转发加大了网络开销和传感器能量消耗,从而降低了网络效能和生命周期,影响数据收集的可靠性和持续性。另一方面,数据收集约束参数过多,导致算法众多且复杂,增加了网络开销和能量消耗,在实际应用中面临挑战。本文着重研究一种基于方向感知、可降低冗余数据转发、提高数据收集成功率和网络效能的策略,为机会移动传感网中的数据收集提供支持。

## 2 相关工作

机会移动传感网中数据收集的核心问题是优化消息的转

到稿日期:2014-04-20 返修日期:2014-07-16 本文受国家自然科学基金项目(61101139),福建省自然科学基金项目(2012J01244, 2012J01247, 2012J06015, 2013J01214)资助。

梁泉(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向为可信网络计算和移动传感网, E-mail: liangquanlq@126.com; 贺文武(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向为数据处理与人工智能; 张永晖(1973-),男,博士,副教授,主要研究方向为交通信息和移动传感网。

发次数和转发机制,最简单的机制是直接传输(Direct Transmission, DT)<sup>[7]</sup>,即产生消息的传感器缓存消息,直到遇到 Sink 节点或目标节点才转发,这种方法网络开销最小,但传输延时大且传输成功率最低。Haas 等人<sup>[8]</sup>提出使用 Flooding 机制收集鲸鱼传感器网络数据,即嵌入在鲸鱼身上的传感器节点将生成的数据消息拷贝给每个相遇的鲸鱼节点,当游过部署在海面浮标上的 Sink 节点附近时,将数据上传到 Sink 节点。该机制实际上是传染转发机制,如果传感器节点的缓存足够大,这种机制的数据传输成功率就高,但网络开销很大。Mascolo 等<sup>[9,10]</sup>针对不连通移动传感器网络提出了一种机会数据收集机制 SCAR(sensor context-aware routing)。SCAR 机制中每个节点关联的传输概率不是基于前述的节点相遇状况,而是基于节点上下文信息(包括节点邻居变化率、能量等)定义。该机制估计传输概率的计算非常复杂,不适用于资源紧张的传感器节点上。Shah 等<sup>[11]</sup>提出了 Data Mule 方法来收集稀疏静态传感器网络的数据,一个称为 Mule 的移动实体在观测区域内移动,收集附近区域的传感器数据,并在遇到接入点时接入骨干网并上传数据。其主要目的在于提出一个传输架构,没有详细研究节点之间如何转发消息。

文献[12]针对具有不同传输质量需求的信息采集应用,提出了一种自适应的数据收集机制(Adaptive Data Gathering, ADG)。每个节点关联一个持续变化的“转发概率”参数,每个消息关联一个动态调整的“重要因子”参数,再辅以其其他参数自适应确定消息在网络中的复制次数,使数据收集机制既能满足数据传输性能的要求,又具有小的网络开销。文献[13]提出了一个基于虚拟空间的路由机制,采用“存储-携带-转发”的传输模式实现数据收集。每个传感器节点根据与多个 Sink 节点的期望传输延迟映射成高维空间中的一个坐标点,消息传输对应于从源节点移动到空间原点的过程。文献[14]讨论了利用移动数据收集器(mobile data collector, MDC)进行传感器网络中感知数据收集的一些问题,包括如何避免节点间由于多跳传输引起的能量空洞以及节点失效造成的传输链路中断等。因此,要减少传感器将数据发送到静止基站的传输跳数,从而帮助节约网络的能量。关于如何在数据转发中减少能耗和传输延时,Jeel Ben-Othman 等人<sup>[15]</sup>提出了一个能量效率和 QoS 感知多路径路由协议(简称 EQSR),其通过平衡跨多个节点的能量消耗,最大限度地延长网络的生命期。采用差异化服务,允许延迟敏感的流量在一个可接受的延迟到达目标节点,降低了端到端的传播延迟。在数据收集的同时,如何减少能量消耗从而提高网络生命期,也是机会移动传感器网络必须考虑的一个重要问题。Kiran Maraiya 等人<sup>[16]</sup>的讨论对此有很好的参考价值,他们认为,数据聚合是无线传感器网络中非常重要的技术,因为数据聚合有利于消除冗余、降低能耗。当无线传感器网络部署在偏远地区或敌对环境,最具挑战性的是生命期,数据聚合可以提高网络的生存期。他们还讨论了无线传感器网络中,数据聚合的路由协议和算法,值得参考。

### 3 机会移动传感网络模型及问题描述

#### 3.1 网络模型

考虑一个典型的机会移动传感网模型,其由以下几个部分组成:

(1)固定的 Sink 节点。Sink 节点位置相对固定,有足够

大的缓存和能量,能以某种方式把数据直接转发给 AP 节点或骨干网。

(2)移动的传感器。传感器在网络中移动,轨迹随机分布,移动传感器的缓存大小和能量都非常有限。

(3)Sink 节点和传感器近似处于一个平面内, Sink 节点平面坐标已知。

(4)网络中数据的生成和转发以消息为基本单位,消息在整个网络中拥有唯一 ID。

#### 3.2 问题描述

机会移动传感器网络中,由于传感器在不断地变动位置,导致网络中拓扑结构也在不断变化。传统数据转发模式已无法运行,需要充分利用传感器移动形成的通信机会,采用“存储-携带-转发”的模式转发消息。这种模式需要解决以下几个问题:(1)确定传感器与 Sink 节点的相对位置,以决定两个相遇的传感器是否需要互相转发消息;(2)选择某个 Sink 节点作为基点,计算传感器的近似运动方向,以决定把数据从哪个传感器转发给另一个传感器;(3)除了运动方向外,还要考虑的其他重要因素,包括传感器能量剩余、缓存利用率;(4)两个相遇传感器的消息转发,需要处理消息冗余。

### 4 传感器方向感知的计算

#### 4.1 单 Sink 节点区域

假设某时刻,某个 Sink 节点周围分布着多个移动传感器,用小圆点表示。Sink 节点的有效通信半径为  $r$ ,根据与 Sink 节点距离的远近,传感器颜色的深浅不同。距离 Sink 节点越近,传感器颜色越深,反之颜色越浅,如图 1 所示。在 Sink 节点有效通信半径内的两个传感器相遇时,相互间不会发生数据转发,而是把数据直接发送给 Sink 节点。

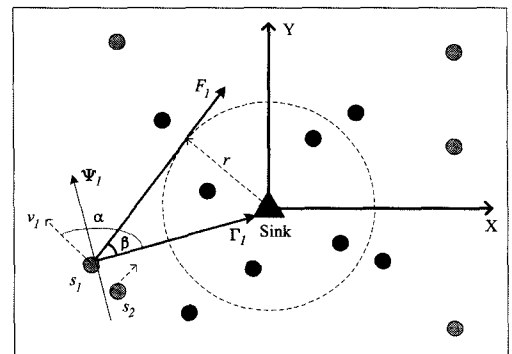


图1  $T$ 时刻  $s_1$  的随机位置分布

在  $T$ 时刻,建立以 Sink 节点为原点的  $X$ - $Y$  直角坐标系,设 Sink 节点的位置为  $(0,0)$ ,某个移动传感器  $s_1$  的位置为  $(x_1, y_1)$ 。 $\Gamma_1$  为  $s_1$  相对于 Sink 节点的法线方程,  $\Psi_1$  为通过  $s_1$  并与  $\Gamma_1$  垂直的直线,则可构造  $T$ 时刻以  $s_1$  为原点的  $\Gamma_1$ - $\Psi_1$  坐标系。另外,  $v_1$  代表在  $T$ 时刻  $s_1$  的即时移动速率与方向,  $v_1$  与  $\Gamma_1$  的夹角为  $\alpha$ ;假设把以 Sink 节点为圆心、半径为  $r$  的有效通信区域称为 Sink 通信圆,则  $F_1$  是通过  $s_1$  的一条 Sink 通信圆切线,  $F_1$  与  $\Gamma_1$  的夹角为  $\beta$ 。为了确定在  $T$ 时刻  $s_1$  相对于 Sink 节点的运动趋势,给出如下定义:

定义 1(感知方向, Perceptive Direction, PD) PD 是一个瞬时量,在  $T$ 时刻,用  $v_1$  与  $\Gamma_1$  的夹角  $\alpha$  来表示,代表  $s_1$  相对于 Sink 节点的运动趋势。在  $\Gamma_1$ - $\Psi_1$  坐标系中,当  $\alpha \in [-\beta, \beta]$  时,称  $s_1$  有效接近 Sink, PD 表示为  $\alpha^0$ ;当  $\alpha \in (-\pi/2, -\beta) \cup (\beta, \pi/2)$  时,称  $s_1$  趋向接近 Sink, PD 为  $\alpha^1$ ;当  $\alpha \in [\pi/2, 3\pi/2]$

时,称  $s_1$  远离 Sink, PD 为  $a^2$ 。

下面给出传感器在  $s_1'$  位置时感知方向  $\alpha'$  的计算方法。考虑在  $T$  时刻,  $s_1$  进行了瞬时移动,在  $T+\tau$  时刻,  $\tau \rightarrow 0$  ( $\tau$  趋向于无穷小),位置变到了  $s_1'$ 。此时,  $\Gamma_1-\Psi_1$  坐标系发生了微小变化,变成了  $T+\tau$  时刻的  $\Gamma_1'-\Psi_1'$  坐标系,如图 2 所示。 $\Gamma_1', \Gamma_1$  和边  $(s_1', s_1)$  构成一个三角形,  $\Gamma_1'$  与  $\Gamma_1$  的夹角为  $\delta$ , 边  $(s_1', s_1)$  与  $\Gamma_1$  的夹角为  $\gamma$ ,  $s_1'$  的位置坐标为  $(x_1', y_1')$ 。于是,可以做出如下计算:

$$\begin{cases} a = |(s_1', Sink)| = \sqrt{x_1'^2 + y_1'^2} \\ b = |(s_1, Sink)| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \\ c = |(s_1', s_1)| = \sqrt{(x_1' - x_1)^2 + (y_1' - y_1)^2} \\ \cos \gamma = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \\ \gamma = \arccos(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \cos \gamma = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \\ \gamma = \arccos(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}) \end{cases} \quad (2)$$

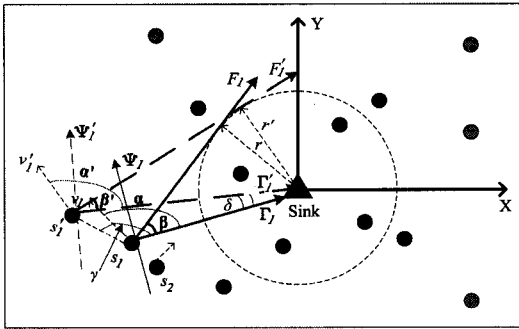


图 2  $T+\tau$  时刻  $s_1$  瞬时移动后的位置分布

由以上两式可以求出  $\gamma$ 。在  $T$  时刻,  $\tau \rightarrow 0$ ,  $s_1$  做了非常微小的瞬时移动,  $\delta \rightarrow 0$ , 因此可以用  $\alpha'$  ( $\alpha' = \gamma$ ) 表示  $T+\tau$  时刻, 传感器在  $s_1'$  位置的移动方向, 此时  $\beta = \arcsin \frac{r}{a}$ 。同理, 只要选择一个足够小的时间  $\tau$ , 并存储传感器在  $T-\tau$  和  $T$  两个时刻的位置信息, 就可以计算传感器在  $T$  时刻 (此时位置为  $s_1$ ) 的感知方向  $\alpha$ 。

#### 4.2 多 Sink 节点区域

机会移动传感器网络的数据场中分布着一定数量的 Sink 节点, 这些 Sink 节点之间的间距不同, 不妨假设具有 3 个 Sink 节点, 如图 3 所示。一般情况下, 认为 Sink 节点之间的间距远远大于其有效通信半径  $r$ 。当两个传感器  $s_1, s_2$  相遇时, 假设它们的位置分别为  $(x_1, y_1)$  和  $(x_2, y_2)$ , 则相遇距离  $\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$  与 Sink 节点的间距相比非常小, 在数据场中可以将  $s_1, s_2$  视为一个点, 这个点与 Sink1, Sink2 和 Sink3 的距离分别为  $d_1, d_2$  和  $d_3$ , 其中  $d_1 \leq d_2 \leq d_3$ 。此时,  $s_1, s_2$  在进行感知方向计算时, 以距离它们最近的 Sink 节点为基点进行计算。

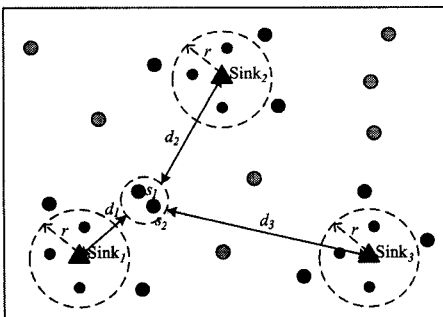


图 3 多 Sink 节点区域中  $s_1$  和  $s_2$  相遇

## 5 移动方向感知的数据收集策略

### 5.1 相遇传感器数据转发的重要参数

为便于说明本文提出的数据转发策略, 下面给出几个重要参数。

**定义 2 (传感器消息载荷, Message Load, ML)** 传感器  $i$  的消息载荷是当前缓存的使用率, 即已使用的缓存大小与缓存总量的比率, 用  $L_i$  表示。  $L_i = \frac{C_{cur}^i}{C_{total}^i}$ ,  $C_{cur}^i$  是传感器  $i$  当前使用的缓存量,  $C_{total}^i$  是缓存总量。

消息载荷可设定最高阈值  $L_{thr}$ , 比如  $L_{thr} = 0.95$ , 超过最高阈值时, 一般情况传感器不再接收数据。这样做的好处是, 避免缓存不够用而导致消息转发失败, 另外, 当出现传感器能量耗尽时, 可减少数据丢失。

**定义 3 (传感器能量剩余, Energy Residual, ER)** 传感器  $i$  的能量剩余是当前能量与总能量的比率, 用  $E_i$  表示。  $E_i = \frac{E_{cur}^i}{E_{total}^i}$ ,  $E_{cur}^i$  表示传感器  $i$  的当前能量,  $E_{total}^i$  是总能量。

可以设定能量剩余阈值  $E_{thr}$ , 比如  $E_{thr} = 0.1$ , 低于最低阈值时, 传感器将不再接收消息。能量剩余越大, 继续生存的时间就越长, 转发消息到 Sink 节点的可能性更大, 能量剩余多的传感器可更多地参与消息转发。

### 5.2 基于方向感知的数据收集

本文基于简单和实用的原则, 提出基于方向感知的数据收集策略。比如, 在传感器与 Sink 节点之间, 采用不受限单向转发数据, 即, 传感器只要遇到 Sink 节点, 直接把数据转发给 Sink 节点, 并把转发后的数据从自身缓存中删除, 由 Sink 节点判断该数据是否冗余, 这有利于延长传感器的使用寿命。

基于感知方向的数据收集算法的主要流程如图 4 所示, 该算法在每个传感器上独立运行。

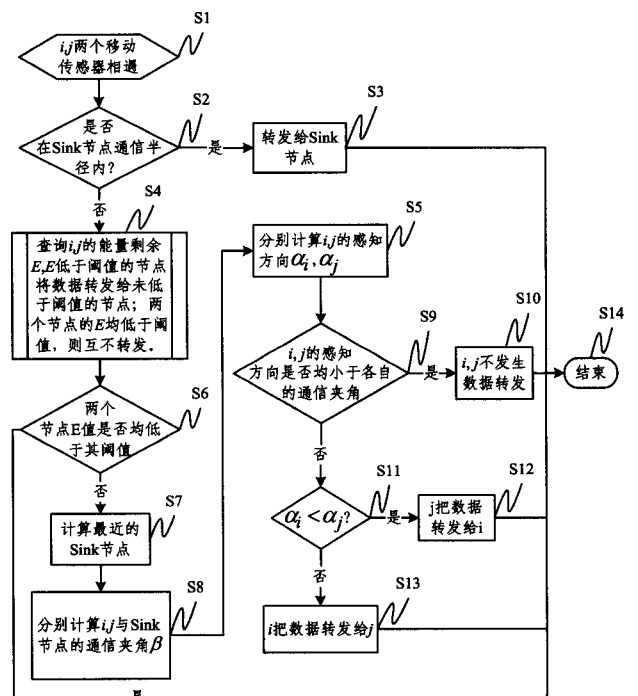


图 4 基于感知方向的数据收集流程

数据收集策略描述如下: (1) 在 Sink 节点通信半径范围内的移动传感器, 直接把消息转发给 Sink 节点, 清空携带消

息 ID 列表  $ID\_Carrying\_L_i$ , 更新已转发消息 ID 列表  $ID\_Forwarded\_L_i$ ; (2) Sink 节点收到消息后, 进行冗余处理, 上传给 AP 节点或骨干网; (3) 在 Sink 节点有效通信范围内的传感器, 彼此间不发生数据转发; (4) 在 Sink 节点通信半径范围外的传感器相遇, 根据感知方向等参数确定消息转发, 消息转发路由为: 转发给更有利于接近 Sink 节点的传感器; (5) 两个传感器  $i, j$  相遇, 若  $E_i \leq E_{thr}$ , 则数据转发路由为  $i \rightarrow j$ ; 其他情况均按照感知方向来决定转发路由, 转发接收消息时, 传感器的消息载荷要低于阈值。

## 6 数据收集的对比分析和实验结果

### 6.1 数据收集方法的对比分析

两个相遇传感器的数据转发机制非常重要, 但过多的参数约束加大了机制的复杂性, 增加了网络开销和能量消耗。比如, 文献[12]中对数据转发设置了至少 4 个参数, 每个参数的计算和判断都比较复杂, 该文所提供的方法需要调用包括缓存调度、相遇概率计算、重要因子计算等好几个步骤才能确定转发路由, 计算量大。其中确定消息重要因子实际上并没有可靠依据; 此外, 机会移动传感器网络一个重要目标是进行未知信息的收集, 从中发现对人们有价值的信息, 传感器收集到的数据未经数据中心的甄别之前, 没有重要与否的区别。

文献[9, 10]中提出的 SCAR 数据收集方法需要基于节点上下文信息, 包括节点邻居变化率、能量等, 定义和计算每个节点关联的传输概率; 还需要利用卡尔曼滤波预测节点上下文信息的变化, 再基于多属性效用理论估算其传输概率, 以作为节点转发的依据。这种收集方法步骤繁多, 计算复杂, 尤其是预测环节会造成算法的延迟, 准确度也受到很大影响。

很多研究成果考虑了数据收集的各种场景和约束条件, 使得数据收集算法变得复杂。由于算法复杂, 影响了效率而且事实上降低了网络效能和生存周期。虽然在理论上是可行的, 但在实际使用中面临挑战。

与上述成果不同的是, 本文提出的方法是基于传感器网络的最本质功能, 即数据收集, 来确定数据转发机制, 只需要计算感知方向一个参数就可以确定转发路由。该方法不仅在理论上可行, 实际使用时也简单可靠, 可有效地减少数据冗余, 降低延迟, 减少传感器能量消耗, 从而延长网络生存周期。

### 6.2 实验场景设计

利用 OPNET<sup>[17]</sup> 先进的仿真能力和丰富的协议模型库来完成本文数据收集策略的测试。模拟场景布置如下: 场区面积大概 900 亩, 4 个 Sink 节点, 间距超过 200 米, 有效通信半径小于 50 米; 80 个移动传感器, 有效传输半径小于 10 米, 移动速度服从  $[1, 10]$  m/s 均匀分布, 在到达一个新位置后暂停, 时间从  $[0, 10]$  s 随机选取。

传感器消息大小是 20 byte, 缓存大小为 200 个消息 (大约 4 kbyte),  $L_{thr} = 0.95$ ,  $E_{thr} = 0.1$ ; Sink 节点缓存可视为无穷大, 信道带宽为 15 kbit/s。在相同的实验设置环境下, 测试 3 种不同的数据收集策略: Flooding<sup>[8]</sup>、ADG 和本文提出的 DGPD, 并对结果作出性能分析和对比。

### 6.3 实验结果与分析

实验将对消息传输成功率、消息冗余量和能量消耗进行测试。

(1) 消息传输成功率。对每种数据收集策略, 重复进行多次实验, 每次实验时长为 30 分钟 (1800 秒)。在每次实验后收集和统计相关数据, 所得结果如图 5 所示。结果表明, 在 4 个固定 Sink 节点情况下, Flooding 策略的消息传输成功率多数集中在 0.6~0.7 之间, 在 3 种策略中是最低的。我们分析, Flooding 策略传输成功率偏低是因为转发次数过多, 受到消息载荷阈值和能量阈值的限制, 导致有效的消息转发反而减少, 最终使整体消息传输成功率降低。ADG 策与本文提出的 DGPD 策略相比, 在实验中的传输成功率不相上下, 数据在 0.8 左右。DGPA 策略采用基于感知方向的消息转发机制, 减少了消息转发的次数, 传输成功率仍然比 Flooding 高出不少, 与 ADG 策略相当。这说明减少消息转发次数不会必然降低传输成功率, 仍可保证消息传输的可靠性。DGPA 策略和 ADG 策略都采取了对消息转发的限制, 虽然传输成功率相当, 但两种算法的复杂度是不同的。ADG 策略有转发概率、重要因子等多种参数限制, 而 DGPA 策略只受到感知方向计算的约束, 算法要简单得多。我们曾对两种策略数据传输的时延做过简单的模拟实验, 定点传输总计 30 kbyte 大小的消息, ADG 策略花费了大约 200 ms, 而 DGPA 策略只用了大约 80 ms。另外, 随着 Sink 节点增多, 传输成功率显著提高, 保持与 ADG 相近的性能, 并高于 Flooding 的成功率, 如图 6 所示。Sink 节点增加, 意味着移动传感器与 Sink 节点直接进行数据转发的概率增加, 因此数据传输成功率趋向于显著提高, 对 DGPA 策略和 ADG 策略而言是相同的, 但 Flooding 策略仍然会与相遇的移动传感器发生数据转发, 因此虽然成功率也会增加, 但受传感器缓存的影响, 达不到与前两种策略相同的效果。

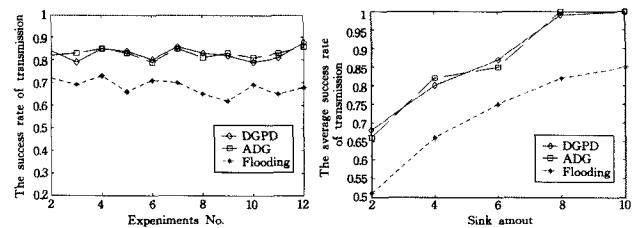


图 5 3 种策略的消息传输成功率 图 6 Sink 节点数目增加时的传输成功率比较

(2) 消息冗余量。在多次实验中, 根据消息的 ID 号随机抽样 100 个左右消息, 跟踪统计它们在各次实验中的消息副本数, 并用平均数进行分析, 得出的结果如图 7 所示。从结果可以看出, Flooding 策略采用了相遇则转发策略, 导致网络中的消息副本数最高, 达到 25 个左右, 从而导致网络效能较低, 由于占用了过多的消息缓存, 因此抑制了其他消息的存储和携带, 从而降低了它们被转发的概率, 这就是 Flooding 策略传输成功率较低的原因。ADG 策略在消息转发机制中有较多的参数限制, 因此与 Flooding 策略相比, 消息冗余量有大幅度降低, 平均有 15 个左右的副本数。本文提出的 DGPD 策略利用感知方向使消息转发有更明确的目的性, 消息转发后遇到 Sink 节点的概率更高, 从而在很多相遇传感器不转发消息的情况下, 仍能保持较高的消息传输成功率。DGPD 策略的消息冗余量平均为 5 个左右, 极大地减少了通信开销, 却没有影响传输成功率。另外, 实验对比了 Sink 节点增加的情

况,发现3种策略消息冗余量大小的相对差距没有改变(如图8所示),但都随着Sink节点的增加,有降低的趋势,这是因为传感器在进行更多相互转发之前,有更多机会直接把消息转发给Sink节点。但是,Flooding策略降低的趋势较慢,仍然是相遇即转发的缘故。

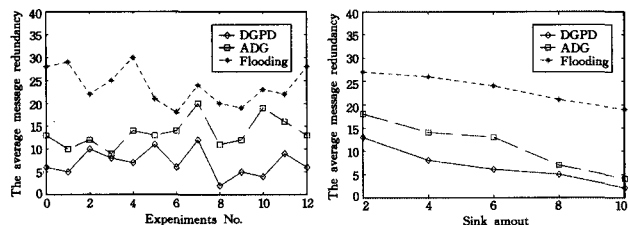


图7 3种策略的平均消息冗余量 图8 Sink节点数目增加时消息冗余量变化

(3)能量消耗。对参与实验的所有传感器能量消耗进行跟踪,每30分钟记录一次能量剩余,共记录了5次,初始值都设置为100%的能量剩余,然后计算它们的统计平均值并进行比较。3种策略的能量剩余统计平均值如图9所示,结果表明,DGPD策略的能量剩余高于其他两种策略,ADG策略次之,Flooding最差,表明DGPD策略的能量消耗较优。能量消耗主要取决于移动传感器在数据转发次数和算法运行时的消耗,转发次数的多少及算法的简单与否对能量消耗有关键性的影响。由于DGPD策略转发次数较少且算法相对简单,因此它的能量消耗是最少的,有利于延长网络的生存期。当然,能量消耗还与环境因素息息相关,但本实验的统计数据仍能在一定程度上表明不同转发策略在能量消耗上的差别。

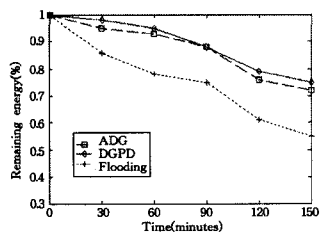


图9 移动传感器的能量消耗

上面的实验结果表明,DGPD策略简单实用,能在较大幅度降低通信开销的情况下,保证较高的传输成功率,在通信开销和能量消耗有较高要求的机会移动传感网中,有利于提高数据收集效率和网络生存周期。

**结束语** 本文研究了机会移动传感网中数据收集的策略和方法,由于传感器一般都部署稀疏且随机移动,因此数据传输成功率、传感器的能量消耗、网络开销和网络生命期等关键性能,都受到不小的挑战。在经过深入的对比研究后,提出基于方向感知的数据收集策略DGPD。与其他已有的研究成果相比,该策略算法简单实用,减少了相遇传感器的数据转发次数,降低了网络开销,同时提高了数据收集效率。实验结果分析表明,这种策略可以有效地完成数据收集,并获得较高的网络性能。如何完善DGPD策略,优化算法,并在更复杂的机会移动传感网环境中进行验证,是未来需要研究的课题。

## 参考文献

- [1] Juang P, Oki H, Wang Y, et al. Energy efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early experiences with ZebraNet[J]. SIGARCH Computer Architecture News, 2002, 30(5): 96-107
- [2] Corner M D, Berger E D. TurtleNet[OL]. 2009-208221. <http://prisms.cs.umass.edu/dome/turtletnet>
- [3] Campbell A, Eisenman S, Lane N, et al. Peoplecent ricurban sensing[C]//Proc of the 2nd Annual Int Wireless Internet Conf (WICON). Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 2006: 2-5
- [4] Hull B, Bychkovsky V, Zhang Y, et al. Car Tel: A distributed mobile sensor computing system[C]//Proc of the 4th Int Conf on Embedded Networked Sensor Systems. New York: ACM, 2006: 125-138
- [5] 熊永平, 孙利民, 牛建伟, 等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 124-137
- [6] Lindgren A, Doria A, Schelen O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. Mobile Comp. and Commun., 2003, 7(3): 233-244
- [7] Grossglauser M, Tse D N C. Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks[J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 2002, 10(4): 477-486
- [8] Small T, Haas Z J. The shared wireless infostation model-A new ad hoc networking paradigm [C] // Proc. of ACM MOBI-HOCp03. New York: ACM, 2003: 233-244
- [9] Mascolo C, Musolesi M, Pásztor B. Data collection in delay tolerant mobile sensor networks using SCAR[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Boulder, Colorado, USA, October 31-November 03, 2006). SenSys '06. ACM, New York, 2006: 343-344
- [10] Pásztor B, Musolesi M, Mascolo C. Opportunistic Mobile Sensor Data Collection with SCAR[C]//IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, Pisa 2007. Oct. 2007: 1-12
- [11] Shah R, Roy S, Jain S, et al. Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks[C]//Proc of the First International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications. 2003: 30-41
- [12] 孙利民, 熊永平, 马建. 机会移动传感器网络中的自适应数据收集机制[J]. 通信学报, 2008, 29(11): 186-193
- [13] 熊永平, 孙利民, 马建, 等. VSR: 多Sink机会移动传感器网络的数据收集[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(8): 1450-1458
- [14] 张希伟, 戴海鹏, 徐力杰, 等. 无线传感器网络中移动协助的数据收集策略[J]. 软件学报, 2013, 24(2): 198-214
- [15] Ben-Othman J, Yahya B. Energy efficient and QoS based routing protocol for wireless sensor networks[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2010, 70(8): 849-857
- [16] Maraiya K, Kant K, Gupta N. Wireless Sensor Network: A Review on Data Aggregation[J]. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2011, 2(4): 1-6
- [17] OPNET Modeler documentation, OPNET Technologies, Inc [OL]. <http://www.opnet.com/>