

文章编号:1001-9081(2006)04-0914-04

## 基于网格和曲线转发的传感器网络路由算法

陈治平<sup>1</sup>, 彭 静<sup>2</sup>

(1. 福建工程学院 计算机与信息科学系,福建 福州 350014;

2. 湖南大学 计算机与通信学院,湖南 长沙 410082)

(kenny\_czp@yahoo.com.cn)

**摘要:**针对传感器网络节点稠密布置的特点,提出一种将网格结构和基于轨迹的转发方式相结合的路由算法。通过构造大小适当的网格,然后在网格中控制一个节点工作,其他节点暂停工作以便将来随时补充死亡的节点,工作节点基于曲线进行数据转发,以延长网络的生存时间。理论分析和模拟实验表明,算法具有较好的性能。

**关键词:**传感器网络;能耗平衡;网格;B 样条曲线

中图分类号: TP393 文献标识码:A

### Routing algorithm for sensor networks based on grid and trajectory

CHEN Zhi-ping<sup>1</sup>, PENG Jing<sup>2</sup>

(1. Department of Computer and Information Science, Fujian University of Technology, Fuzhou Fujian 350014, China;

2. College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China)

**Abstract:** With the analysis of the characteristic of high density of nodes deployed in wireless sensor network, a new routing algorithm was proposed based on combination of grid structure and trajectory-based forwarding algorithm. The new algorithm firstly constructed the suitable grid, then controled the number of working node in each cell to be only one, and the other nodes will stop working until the working node lose its energy, finally working nodes forward data with TBF. Theoretic analysis and simulation results show that the new algorithm has better performances.

**Key words:** sensor networks; energy-efficient; grid; B-spline curve

## 0 引言

无线传感器网络是由一组传感器节点通过无线介质连接构成的新型网络<sup>[1]</sup>。由于节点能量有限,无法补充,因此目前流行的传感器网络路由协议着重于节能以延长网络的生存时间。文献[2]提出了一种 LEACH 算法,其基本思想是将整个网络分为簇,簇头由簇内节点通过竞争轮流充当,而簇内数据的转发均由簇头进行汇聚后直接传到 Sink,这种动态建立簇并根据轮转的方式进行簇头选取的方式在一定程度上平衡了能耗。文献[3]在 LEACH 的基础上进行了改进,提出 PEGASIS 算法,其基本思想是将簇内的节点组织为链的形式,每个节点只和其距离最近的节点进行通信,而且每次仅由链中的一个节点发送数据给 Sink,相比于 LEACH 可以进一步节约能量。但是,这两种算法均假设簇内任意节点可以直接和 Sink 通信,而且 PEGASIS 算法更假设簇内任一节点知道所有节点信息,这些假设在很多情况下是无法获得的,因此,需要进一步研究算法的实用性。文献[4]提出了 DD 算法,算法以节点所拥有的数据为中心而非节点标识,通过扩散由属性值构成的兴趣建立一个梯度场,其后数据的转发即可根据梯度场自动进行,算法因无须每次进行路由建立而获得低的能量开销。文献[5]提出了 SPIN 算法,数据转发是通过节点之间的“协商”过程实现的,算法中数据的转发非常有目的性,从而获得高的能量利用率。

虽然上述算法在很大程度上节约了节点能量,但算法均

要求所有节点处于工作状态(这里的工作状态指发送或接收数据包,侦听或空转),而不论当时是否有 Sink 感兴趣的现象出现,这使得在探测区域内的许多节点白白耗费了大量的能量;同时考虑到基于曲线的路由转发策略作为一种无须记录路由状态的路由算法,对传感器网络而言,是一种比较理想的数据转发选择,本文将网格结构和基于曲线转发相结合,提出一种新的基于位置信息的节能路由算法(Grid and Trajectory-Based Routing Algorithm, GTBRA),其基本思想是由 Sink 节点将整个网络分为合适大小的网格,在每个网格内控制真正工作的节点个数为 1,而其他节点完全处于休眠状态并在合适的时刻苏醒查看其是否应该处于工作状态。同时,工作节点采用 B 样条曲线作为数据转发轨迹进行报文转发。GTBRA 算法在节点极其稠密的情况下,可以有效地将每个网格内的工作节点的数目控制为 1,从而延长网络的生存周期;算法采用基于轨迹的数据转发方式简化了数据转发过程;而算法所具有的分布式特性,也使得节点只需知道局部信息即可有效地实现算法。通过理论分析和模拟实验本文对 GTBRA 的性能进行了衡量和评价。

## 1 基本模型

在传感器网络中,节点不仅仅在发送和接收数据时要消耗大量能量,在侦听和空转状态也会消耗能量(传感器节点必须加电,而且必须解码来检测即将收到的数据包)。文献[5]表明,计算能耗时不能忽略空闲状态所消耗的能量,因此

收稿日期:2005-11-01;修订日期:2006-01-09 基金项目:福建省自然科学基金项目(A0510024)

作者简介:陈治平(1971-),男,湖南安化人,副教授,博士,主要研究方向:计算机网络、机器学习; 彭静(1980-),女,河南许昌人,硕士研究生,主要研究领域:计算机网络。

在能量模型中,必须考虑由于空闲和侦听带来的能量损耗;而且在网络中存在大量冗余节点,节点间存在多条路径。为了降低这部分冗余节点由于空闲和侦听而带来的额外能量损耗,本文引入了 GAF<sup>[6]</sup>(地理位置自适应保真度)的思想,即将网络划分为多个虚拟网格,在保证可覆盖探测区域的前提下,设定每个网格内同时工作的节点数量为1,使其他节点处于睡眠状态,单位网格内某个休眠节点将在合适的时刻醒来代替因能量耗尽或其他原因而失效的工作节点,以保证整个网络正常工作,达到延长网络生存时间的目的。为了使每个节点在路由中的位置都是平等的,GAF 将整个网络划分为多个小的“虚拟网格”,节点分布于这些网格中。一个虚拟网格定义如下:对于两个相邻的虚拟网格 A 和 B,A 中所有节点都可以和 B 中所有节点通信,反之亦然。如图 1 所示,整个区域被划为三个虚拟网格 A,B 和 C,节点 1 可以通过节点 2,3 和 4 中的任何一个到达节点 5,因而这三个中间节点所具有的通信能力是平等的且在某一时刻只需一个节点处于工作状态,其余两个节点睡眠即可。为了保证相邻网格中节点之间可以相互通信,以节点的通信半径  $R$  作为相邻网格中任意量节点间的最远距离。假设网格为正方形且边长为  $a$ ,则  $a \leq R/\sqrt{5}$ 。关系应满足:  $a^2 + (2a)^2 \leq R^2$ , 即  $a \leq R/\sqrt{5}$ 。

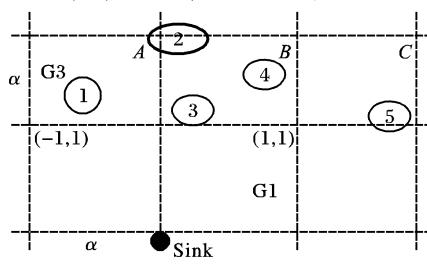


图 1 GAF 虚拟网格

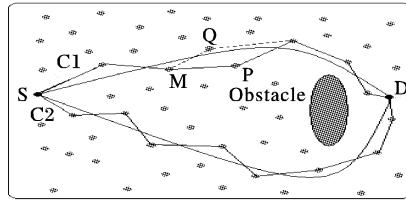


图 2 TBF 转发模型

TBF(Trajectory-Based Forwarding)是针对大尺度稠密网络而提出的一种路由思想<sup>[7]</sup>。其基本思想是源节点选定一条转发曲线并将曲线编码到每个报文中(在所发出的报文中说明曲线或曲线的控制点),每个报文独立转发,收到报文的中间节点解码曲线,并根据相应的选取策略选择下一跳节点。其具体实现过程如图 2 所示:S 和 D 分别代表源节点和目的节点。S 根据网络情况选定一条转发曲线(如 C1),然后将控制曲线的关键信息(控制点位置信息,转发报文的节点参数等)编码到报文中,收到报文的中间节点根据曲线的相关信息和选取策略决定报文的下一跳(如 M 选择了下一跳 P),直到目的节点,同时节点也在转发过程中构造了一个简单的动态转发表,记录该节点转发从 S 到 D 的报文所需要的上一跳节点和下一跳节点,并记录转发的报文数。当 P 发现其已经转发了一定量的报文,将查询动态转发表并告诉 M 要其选取另一节点(如 Q)代替自己转发报文;如果 M 无法找到替代节点,则反向通知源节点 S,S 将试图寻找另一条曲线作为转发路径,如曲线 C2。TBF 所具有的源路由特征使得节点可以根据实际应用选择最合适的路由轨迹,而选取下一跳节点时所具有的分布式特性也使得节点无须维护大量路由信息即可顺

利地进行节点的选取和报文的转发。B 样条曲线<sup>[11]</sup>是计算机图形学中常用的一种性质良好的参数曲线,曲线外形由一些型值点控制。出于计算复杂度等方面的考虑,本文采用二次 B 样条曲线作为算法的转发轨迹。

## 2 基于网格和曲线转发的路由算法 GTBRA

### 2.1 局部拓扑建立

网络中每个节点都有一个通信半径  $R$ ,可与在此通信范围内的任意节点直接通信。假设网络中所有节点的通信半径相同且知道自己的位置信息以及能量值。因此节点一旦被散布到一定的网络区域内,即发送邻居发现报文确定自己一跳范围内节点的相关信息并据此建立邻居表,包括节点位置、ID 和网格独立标志等,其中节点位置信息可以通过 GPS<sup>[8]</sup>定位系统而获得(卫星定位技术的发展,使得传感节点只需一个简单的接收装置就可以得到自身精确的位置信息),网格独立标志用来判定节点是否和邻居节点属于同一网格,0 为同一网格,1 为不同网格;初始时邻居表中此项均为 0。

### 2.2 网格建立

本阶段算法将整个的探测区域划分为合适大小的网格,并使每个节点明确自己所在的网格。建立过程是由目的节点 Sink 发起,采用 flooding 的方式向网络中散布网格建立报文,最终构造一个以 Sink 为坐标原点的结构,如图 1 所示。网络中的每个节点都会收到此报文,根据如下公式便可确定自己所在的网格:

$$\begin{cases} x_{sink} + n_{x-left}\alpha \leq x \leq x_{sink} + n_{x-right}\alpha \\ y_{sink} + n_{y-left}\alpha \leq y \leq y_{sink} + n_{y-right}\alpha \end{cases}$$

$$n_x, n_y = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$$

其中,  $x_{sink}$  和  $y_{sink}$  分别表示 Sink 节点的横坐标和纵坐标,且值均为 0;  $n_{x-left}$  和  $n_{x-right}$  分别表示向左或向右方向的网格个数,  $n_{y-left}$  和  $n_{y-right}$  分别表示向上或向下方向的网格个数;  $\alpha$  为网格边长。本文以网格四个顶点中距离 Sink 最远的那个顶点对应的坐标来标识每个网格,如图 1 中 G1 由 (1,1) 表示, G3 由 (-1,2) 表示。这样,网格建立后每个节点都将知道自己所属的网格。

### 2.3 网格中工作节点的确定和节点状态转换

在网格中,节点存在三种状态:睡眠、发现和工作,初始时节点均处于发现状态。一段时间等待网格建立后,节点便发送网格发现报文确定和自己处于同一网格的节点并在其邻居表中不属于本网格的节点的网格独立标志改为 1, 报文包含节点 ID、网格 ID 和节点状态。本文假设网络中所有节点是同一属性的,因此算法最初在每个网格内随机选择一个节点作为工作节点,凡是被选择为工作节点的则在进入睡眠前向其所在网格内的工作节点发送一个休眠声明报文(Sleeping Packets, SP)。工作点将根据收到的 SP 数将一个时间周期平均划分为片并向该网格内的节点发送时隙分配报文(Time Allocated Packets, TAP), 网格内节点收到该报文后即从发现状态进入休眠状态,并在每个周期所分配的时刻醒来发送一个询问报文。此时如果工作节点仍在工作,工作节点会发送一个应答报文;如果此时没有节点进行应答,则该节点立即进入工作状态,成为工作点。此后,如果有发往前工作节点的询问报文,新的工作节点将收集并应答,在一个足够长的周期内新的工作节点在收到本网格内所有节点发送的询问报文后,将重新为本网格内其他节点划分时隙,并且在下一次休眠节点发送询问报文时,应答并在应答报文中告知该节点其新的时隙。这种动态调整节点苏醒间隔时间的方式可以灵活地

控制无工作节点的真空间隙。因为工作节点只需简单地将周期缩小就可以使得节点更频繁的查询当前是否有工作节点,从而使得无工作节点的真空时间间隔更短。虽然增加了一些节点的能耗,但在实际使用时可根据应用的要求来设定一个合理的时间周期。

#### 2.4 基于 B 样条曲线进行数据转发

由于算法是分布式的,每个节点所知道的信息仅仅是 1 跳内的信息,而无须全局信息,因而工作节点一旦被确定下来,为了获得局部信息,即其一跳范围内工作节点的相关信息,便根据其邻居表的记录向不在同一网格内的邻居节点发送通知报文,声明其是工作节点,报文中包括节点的序号、位置信息和剩余能量等。需要说明的是,根据本文假设的网格边长和节点通信半径的关系,可以确定相邻网格之间的工作节点可以直接通信,且任一网格的工作节点 ID 必包含在其相邻网格工作节点的邻居表内,同时约定此报文不会被转发。

为了让数据的源节点知道目的节点的位置和所需数据,算法需要进行兴趣散布。考虑到本文讨论的网络具有一定的规模且有一定频率的兴趣变化,新的算法采用 TBF 和 rumor routing<sup>[9]</sup>相结合的方法散布接收节点感兴趣的数据类型,可以相对于 flooding 策略降低散布兴趣所带来的开销。每个节点在被散布到探测区域之前均被配置了一个兴趣范围,散布后,处于工作状态的传感节点便据此搜集数据并发出数据代理报文(Data Agent Packets, DAP)告知其收集到的数据类型,Sink 节点则发出兴趣代理报文(Interest Agent Packets, IAP)通告其位置和感兴趣的数据类型。DAP 和 IAP 的转发轨迹均是简单的曲线(如直线等),收到报文的中间节点将记录发送报文的节点标识、位置信息、上一跳节点以及数据类型等信息,构成一个动态的数据转发表。如果某个节点收到两种报文且两者中的数据类型相同,则通过记录下来的 DAP 内的信息反向转发告诉源节点有关目的节点的信息。通过这个阶段,收集数据的源节点就可以得知 Sink 节点的位置和所需数据。

经过上述过程后,节点即基于 B 样条曲线进行转发。这里为了保证报文的转发是沿着选定的曲线前进,必须针对网络内任意节点,解决如何在其下一跳候选集中选取下一跳的问题。针对现有的贪婪转发策略,本文提出一种组合的加权转发策略:即将影响下一跳节点选取的多个因素(沿曲线前进的距离,距离曲线的距离和剩余能量)分别赋予不同的权重进行组合来选取下一跳节点。计算下一跳节点  $n$  的组合权重  $I_n = c_1 FDist + c_2 Dist + c_3 Ener$ , 其中,  $c_1, c_2, c_3$  为权重因子,表示各种参数的重要程度,某个参数越重要,其相应的权重因子越大,并且满足  $c_1 + c_2 + c_3 = 1$ ;  $FDist, Dist, Ener$  分别表示节点沿选定曲线前进的距离,节点距离曲线的距离和节点的剩余能量。当  $c_1 = 1$  时,表示选取沿曲线前进最多的节点作为下一跳,从而可以得到最小的延时。在对数据实时处理要求比较严格的应用中可以采用,比如:在对洪水、地震等灾害监测中,要求监测数据应尽快到达控制中心以便采取措施,这时数据转发应该经过尽可能少的转发次数。当  $c_2 = 1$  时,表示选取距离曲线最近的节点作为下一跳。当  $c_3 = 1$  时,表示选取当前剩余能量最多的节点作为下一跳,以较好地平衡能耗。这种策略在没有特殊需要的应用中可以被使用,达到更长的网络生存时间。因此权重因子的选择主要依赖于系统的要求。值得注意的是,第一次进行数据转发时,下一跳节点都将被填充入中间节点建立的动态转发表中,在此后的转发过程中,报文将沿

着此转发表进行转发,并且可以根据节点的剩余能量来平衡各个节点的能耗,如果源节点在一条曲线上转发了一定量的报文,或中间节点已经转发了一定量的报文,源节点将选择另一条曲线用于报文转发;如果位于转发曲线上的某个节点受到安全威胁或其所在网格或相邻网格存在安全攻击,则源节点也会选择另一条曲线用于报文转发。

综上所述:新的算法有效地控制每个网格内工作节点的个数为 1,其他节点进入睡眠状态以随时代替失效节点,在很大程度上平衡了节点能耗,延长了网络寿命;由于网络中节点每次只需要维护一跳范围内的信息而无需全局信息,因此算法具有分布式的特点;算法基于 B 样条曲线进行数据转发,降低了计算复杂度,同时当探测区域内有阻碍物或转发节点受到安全威胁时,也可以能动地选择另外一条曲线绕行到达目的节点,因而算法具有一定的安全性。

### 3 理论分析和模拟

#### 3.1 理论分析

根据对算法的描述可知,算法的各个阶段是顺序进行的,在任何一个阶段的复杂度均不高于  $O(n)$ 。在初始网络局部拓扑阶段,算法只需要一个 for 循环,每个节点最多发送 3 个报文,所以此阶段的时间复杂度(Time Complexity, TC)量级为  $n$ , 消息复杂度(Message Complexity, MC)的量级为  $3n$ ; 在网格建立过程中,进行一次洪泛,算法也需要一个 for 循环来实现,而且每个节点最多发送一个报文即可(因为所有的报文内容都是一样的),所以其 TC 和 MC 的量级均为  $n$ ; 网格中初始确定工作节点为随机选择且节点间的状态转换都在单位网格内进行,所以其消耗的 TC 和 MC 的量级远远小于  $n$ ; 在基于 TBF 进行数据转发的过程中,复杂度主要由数据转发阶段控制,仅需一个 for 循环实现,因此 TC 的量级为  $n$ , 而相应的 MC 大致和路径上的节点数类似,而这些节点数不会多于同时工作的节点数,因此其 MC 的量级不会超过  $n$ ; 当网格内工作节点失效时,通过发送询问报文即可有睡眠节点进入工作状态,也是只需一个 for 循环就可以实现,且发送的报文数远小于  $n$ , 因此其 MC 不会超过  $n$ , TC 的量级也为  $n$ 。

经过上述分析可知:TC 和 MC 均为  $O(n)$ , 且算法所需要的信息仅仅是其一跳内的信息,复杂度和 DD 相当,而相比之下,LEACH 的 MC 达到了  $O(n \log n)$ <sup>[10]</sup>。从理论分析可以证明,新的算法不但具有分布式的特点,而且具有较低的 TC 和 MC,从而使得算法实现所需的能耗较低。

#### 3.2 模拟仿真

模拟实验是在如下环境下进行的:在一个  $120 \times 120$  的区域内,Sink 建立边长为  $a \times a$  的网格,在网络随机散布  $N$  个节点,节点的通信半径为  $R$ 。在分别改变  $N, R$  以及网格大小的情况下,模拟分析了算法的可行性及性能,模拟结果及分析如下:

图 3、图 4 表示了进行下一跳节点选择时不同权重因子对网络性能的影响,其中设定节点个数  $N$  为 300, 节点通信半径从 10 到 30 变化(以 5 为变化单位)。这里用转发报文的节点距离理想曲线的平均偏离度,也即平均距离(Average Deviation, AD);源节点到目的节点的平均路径长度,也即平均跳数(Average Path Length, APL)作为衡量指标。沿曲线前进距离最多(Max Forwarded Distance, MFD)、距离曲线最近(Closest To Curve, CTC)以及剩余能量最多(Max Energy Remained, MER)三种转发策略随着节点通信半径的变化对

网络的影响如图所示。从图上可以看出,由于 CTC 每次都选择距离曲线最近的节点作为下一跳节点,因而其偏离程度是最小的,MFD 的偏离小于 MER,其原因可能是从源节点到目的节点,MFD 所包含的节点最少,其中包含那些偏离曲线很远的节点可能性较小,因而平均偏离相对于 MER 好一些;由于 MFD 每次都是选择沿曲线前进最多的节点作为下一跳节点,因此其平均路径长度最小,CTC 所选择的大部分节点可能距离曲线在适当的程度,少数节点距离曲线很远或很近,从而在这个指标上和 MFD 相差不大。为了简化实验,本文将在后面的实验中采用 CTC 作为数据转发的策略进行其他指标的比较。

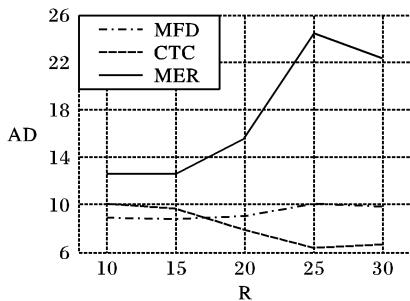


图3 R变化时,AD变化趋势图

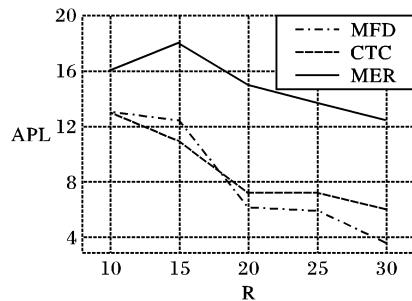


图4 R变化时,APL变化趋势图

均衡节点能耗可以有效延长网络的生存时间,本文比较了 GTBRA 和 DD 在一段足够长时间后网络中节点的失效比例(Dead Nodes Ratio, DNR),即网络中死亡的节点数与网络内总节点数之比。如图 5、图 6,模拟环境与上相同,在图 6 中,固定节点的传输半径  $R$  为 30,节点个数  $N$  从 250 到 450 变化(以 50 为变化单位)。从图中可以看出,两种算法下节点的失效比例基本随着节点传输半径和节点个数的增加而增大,这是因为传输半径越大,节点个数越多,当网络失效时,因参与数据转发而失效的节点也越多,从而网络中节点的失效率也越大。但 DD 算法使所有节点都处于工作状态且数据总是沿着最短路径进行传输,没考虑均衡所有节点的能量消耗。因而相同条件下,GTBRA 下的节点失效比例略有改善,即新的算法可维持更长的网络寿命。实验结果同时也表明新的算法在网络中节点分布较稠密时性能更好。但是需要说明的是:实验发现当网格较大时,单位网格内睡眠节点数增多,与工作节点交换信息次数增多会引起节点耗能增加,从而导致节点的失效比例有所下降;当网格较小时,因为网格内睡眠节点的减少,每条路径可维持的生存时间有所下降,从而造成网络生存时间减少。因此,当选取的网格过大或过小时,都会降低算法的性能,鉴于上述考虑,本文选取网格边长  $a = R/2.5$  这种性能较优的情况进行比较。

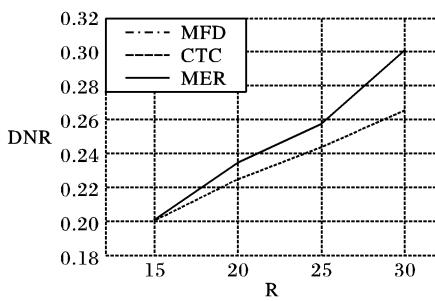


图5 节点失效比例随R的变化

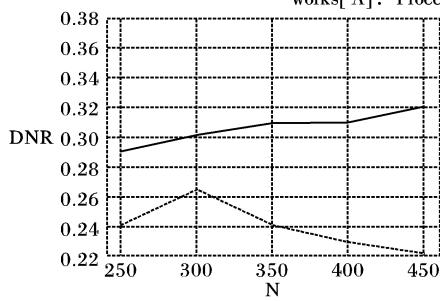


图6 节点失效比例随N的变化

特点,本文给出了一种基于网格和曲线转发的路由算法,算法通过控制网格中工作节点的个数来平衡能耗;同时通过基于 B 样条曲线的转发轨迹进行数据转发来降低算法复杂度,并提供一定的安全性,进而有效地延长了网络的生存时间。而实验结果也表明新的算法具有较好的性能、较高的灵活性和健壮性,在一定程度上改善了网络的性能。算法对于替换工作节点的分析还需要进一步充实,这有待于在下一阶段的工作中加以完善;而对于传感器网络在节点能量方面的限制,使得其可靠地提供各种应用非常困难,比如:如何提供具有 QoS 的路由,如何实现容错路由,甚至于如何有效的提供视频服务等,也是将要进一步深入研究的课题。

#### 参考文献:

- [1] AKKAYA K, YOUNIS M. A Survey on routing protocols for wireless sensor networks [ J ]. Elsevier Ad hoc Network Journal, 2005, 3(3): 325 – 349.
- [2] HEINZELMAN W , CHANDRAKASAN A , BALAKRISHNAN H. Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks[ A ]. Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Science[ C ]. Maui: IEEE Computer Society, 2000. 300 – 3014.
- [3] LINDSEY S, RACHAVENDRA CS. PEGASIS: Power-Efficient gathering in sensor information systems [ EB/OL ]. <http://www.cs.wayne.edu/~loren/csc8220-info/menu.html>, 2005.
- [4] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks[ A ]. Proceedings of ACM MobiCom '00 [ C ]. Boston, MA, 2000. 56 – 57.
- [5] STEMM M, KATZ RH. Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand-held devices[ J ]. IEICE Transactions on Communications, 1997, E80-B(8): 1125 – 1131.
- [6] XU Y, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Geography-informed energy conservation for Ad hoc routing[ A ]. Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking[ C ]. 2001. 70 – 84.
- [7] NICULESCU D, NATH B. Trajectory based forwarding and its applications[ R ]. Technical Report DCS-TR-488, Department of Computer Science, Rutgers University, 2002.
- [8] DOMMETY G, JAIN R. Potential networking applications of global positioning systems( GPS)[ R ], Tech. Rep. TR-24, CS Dept., The Ohio State University, 1996.
- [9] BRAGINSKY D, ESTRIN D. Rumor routing algorithim for sensor networks[ A ]. Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications[ C ]. 2002.
- [10] WAN PJ, ALZOUBI KM, FRIEDER O. Distributed Construction of Connected Dominating Set in Wireless Ad hoc Networks[ A ]. INFOCOM 2002, Proceedings of Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies[ C ]. IEEE, 2002. 1597 – 1604.
- [11] ZHANG J, LIN Y, XIA W, et al. TBF-Based Multipath Tolerant Routing for Sensor Networks[ A ]. in Ninth International Conference on Communication Systems[ C ]. Singapore, 2004.

#### 4 结语

针对传感节点能量有限及传感器网络内节点密度很高的