

# WSN 中基于能量代价的能量优化路由算法

江海峰<sup>1</sup> 钱建生<sup>2</sup> 孙彦景<sup>2</sup> 孙仁科<sup>1</sup> 李 建<sup>2</sup>

(中国矿业大学计算机科学与技术学院 徐州 221116)<sup>1</sup>

(中国矿业大学信息与电气工程学院 徐州 221116)<sup>2</sup>

**摘 要** 针对无线传感器网络路由算法中的节点能耗问题,提出了一种基于能量代价的能量优化路由算法。算法综合考虑数据传输中节点能耗的有效性和均衡性,设计了一种新的能量代价函数,实现了二者的优化匹配。传感器节点按此函数计算前向邻居节点的能量代价,选择能量代价最小的节点作为下一跳。算法基于邻居节点信息进行路由选择,具有较低的计算时间复杂度。最后,对路由算法的性能进行了仿真分析,并与典型的路由算法进行了对比,结果表明,本路由算法能够有效延长网络生存时间,节约并均衡节点的能量消耗。

**关键词** 无线传感器网络,路由,能量代价,网络生存时间

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Energy Cost Based Energy Optimized Routing Algorithm in WSN

JIANG Hai-feng<sup>1</sup> QIAN Jian-sheng<sup>2</sup> SUN Yan-jing<sup>2</sup> SUN Ren-ke<sup>1</sup> LI Jian<sup>2</sup>

(School of Computer Science & Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)<sup>1</sup>

(School of Information & Electrical Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Aiming at the energy consumption issue of sensor nodes for routing algorithm in wireless sensor networks, an energy cost based energy optimized routing algorithm was proposed. Based on the comprehensive consideration of the efficiency and balance of energy consumption of sensor nodes for data transmission, a new energy cost function was exploited, which achieved optimal matching between energy efficiency and balance. Sensor nodes compute the energy cost of its forward neighbors using this function and select the node with the minimum energy cost as its next hop. In the algorithm, the routing decision is made according to the information of neighbor nodes, with lower computational time complexity. Finally, the performance of proposed routing algorithm was simulated and compared with typical routing algorithms. Simulation results show that the algorithm can extend the network lifetime effectively, economize and balance the energy consumption of sensor nodes.

**Keywords** Wireless sensor networks, Routing, Energy cost, Network lifetime

无线传感器网络(WSN)由具有感知、计算和通信能力的传感器节点组成,节点以自组织方式组成多到一的通信网络,并把采集的数据通过多跳的方式发送到汇聚点(Sink)<sup>[1]</sup>。由于传感器节点主要依靠电池供电,能量有限且难以补充,因此能量是极为重要的网络资源<sup>[2]</sup>。节约并均衡节点的能量消耗,最大限度延长网络生存时间,是无线传感器网络的主要设计目标之一<sup>[3,4]</sup>。

提高传感器节点能量利用的有效性,设计能量有效的路由算法,是前期延长网络生存时间的主要方法。最小能耗(MEC)路由<sup>[5,6]</sup>是一个重要的分支,它追求数据传输的端到端最小能耗,在传输单个数据分组的过程中具有最高的能量效率。但处在能耗最小路径上的节点转发任务重,能量消耗快,会过早失效,最终引起网络分割和覆盖损失等问题。若要实现节点能量的均衡消耗,需要在路由决策过程中考虑节点

的剩余能量。单纯实现能耗均衡,则要求尽量使用剩余能量多的节点来转发数据,这样数据在传输过程中会出现“折线效应”,造成路由路径过长和节点能量的浪费<sup>[7]</sup>。因此,综合考虑节点能耗的有效性和均衡性,是以延长网络生存时间为目标的路由算法的设计方向。文献[8]提出了 CMAX 算法,综合考虑节点的通信能耗和剩余能量,通过设计能量代价函数来均衡节点的能量消耗;文献[9]对代价评估函数进行了改进。但这些算法均采用集中式方法来构建具有最小代价的路径,路由路径建立的通信开销较大,不适用于大规模的网络。文献[10]提出了一种能量感知的自组织路由算法(SOR),在该算法中引入了支付策略,以激励节点承担数据中转任务,传感器节点根据本地信息进行路由决策,实现了节点能耗有效性和均衡性的结合。

本文综合考虑节点能耗的有效性和均衡性,设计了一种

到稿日期:2011-05-30 返修日期:2011-07-30 本文受国家自然科学基金项目(50904070),中国矿业大学科技基金项目(2008A042),中央高校基本科研业务费专项资金项目(2010QNB20)资助。

江海峰(1979—),男,博士,讲师,主要研究方向为无线传感器网络、嵌入式技术等,E-mail:jhfeng@cumt.edu.cn;钱建生(1964—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为宽带网络技术、无线传感器网络等。

新的能量代价函数。传感器节点计算前向邻居节点的能量代价,从中选择能量代价最小的节点作为下一跳。理论分析与仿真实验结果表明,本文提出的路由算法与同类算法相比,具有较低的计算时间复杂度,实现了节点能耗有效性和均衡性的优化匹配,延长了网络生存时间。

## 1 系统模型与定义

本文所研究的无线传感器网络主要针对典型的数据采集应用,网络中包含大量的传感器节点和一个 Sink。传感器节点的能量消耗主要包括 3 部分:感知能耗、通信能耗和数据处理能耗。感知能耗和数据处理能耗比通信能耗低得多,所以本文仅考虑通信能耗,并采用与文献[11]相同的无线通信硬件能量消耗模型。节点发送  $l$  比特的数据到距离节点  $d$  的位置消耗的能量为

$$E_{Tx}(l, d) = lE_{elec} + l\epsilon_{amp}d^\alpha \quad (1)$$

式中,  $E_{elec}$  表示发送与接收电路单位能耗,  $\epsilon_{amp}$  表示发送放大电路单位能耗,  $\alpha$  为路径损失指数,自由空间模型  $\alpha$  取值为 2,多路径衰减模型  $\alpha$  取值为 4。节点接收  $l$  比特数据消耗的能量为

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (2)$$

为了更清楚地描述路由算法,下面给出无线传感器网络、邻居节点以及前向邻居节点的定义。

**定义 1 (无线传感器网络)** WSN 可以用无向图  $G(V, E)$  来表示,其中  $V$  表示所有传感器节点的集合,  $E$  表示可直接通信的节点间的无线链接,其形式化表示为

$$E = \{(i, j) | i \in V, j \in V \cup \{\text{Sink}\}\}$$

节点  $i, j$  之间的距离小于节点最大通信距离  $R$ 。

**定义 2 (邻居节点)** 节点  $i$  的邻居节点集定义为

$$N(i) = \{j | j \in V, d(i, j) \leq R\}$$

式中,  $d(i, j)$  表示节点  $i, j$  之间的距离。

**定义 3 (前向区域)** 传感器节点  $i$  的通信范围为以节点  $i$  为圆心、以  $R$  为半径的圆形区域,表示为圆  $R(i)$ 。Sink 到圆  $R(i)$  的两条切线与经过两个切点的两条半径所围成的区域称为节点  $i$  的前向区域。

**定义 4 (前向邻居节点)** 节点  $i$  的前向区域内的邻居节点称为  $i$  的前向邻居节点,节点  $i$  的前向邻居节点集表示为  $FN(i)$ 。

如图 1 所示,点  $i$ -A-S-B 所围成的区域是节点  $i$  的前向区域,扇形  $iAB$  中的传感器节点是节点  $i$  的前向邻居节点。为有效描述前向邻居节点的位置特征,下面给出偏转角和临界偏转角的定义。

**定义 5 (偏转角)** 传感器节点  $j$  为节点  $i$  的前向邻居节点,用  $S$  表示 Sink,如图 1 所示。以  $(i, j)$  和  $(i, S)$  为边、以  $i$  为顶点的角  $\alpha$  为节点  $j$  关于节点  $i$  和 Sink 的偏转角。偏转角  $\alpha(i, j)$  按下式计算:

$$\alpha(i, j) = \arccos \frac{d^2(i, j) + d^2(i, S) - d^2(j, S)}{2d(i, j) * d(i, S)} \quad (3)$$

**定义 6 (临界偏转角)** 把偏转角的最大值定义为临界偏转角。如图 1 所示,角  $\beta$  为节点  $j$  关于节点  $i$  和 Sink 的临界偏转角,按下式计算:

$$\beta(i) = \arccos \frac{R}{d(i, S)} \quad (4)$$

通过上述偏转角和临界偏转角的定义,可以将节点  $i$  的

前向邻居节点集  $FN(i)$  形式化表示为

$$FN(i) = \{j | \alpha(i, j) \leq \beta(i), j \in N(i)\} \quad (5)$$

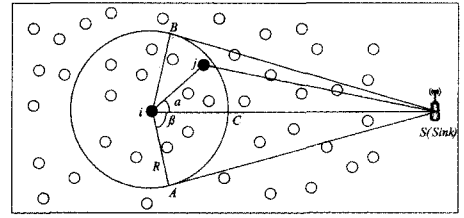


图 1 前向区域、偏转角、临界偏转角

## 2 路由算法

### 2.1 能量代价

要实现节点能耗的有效性,则要求数据传输至 Sink 所消耗的能量较少。但单纯追求节点能耗的有效性,将导致处在能耗最小路径上的节点过早失效等问题。要实现节点能耗的均衡性,则要求尽量使用剩余能量多的节点转发数据,这将导致数据在多个节点间转发,路由路径过长,造成节点能量的浪费,并不能有效延长网络生存时间。因此,要实现网络生存时间的最大化,必须合理匹配节点能耗的有效性和均衡性。本文基于上述要求设计了一种新的能量代价函数。

若节点  $i$  发送数据到节点  $j$ ,则定义能量代价 ( $EC$ ) 为发送数据所需的能量与数据发送节点  $i$  现有能量水平的比值,即

$$EC_{ij} = \frac{E_{Tx}(l, d(i, j))}{ce(i)/ie(i)} \quad (6)$$

式中,  $E_{Tx}(l, d(i, j))$  表示节点  $i$  发送  $l$  比特数据到节点  $j$  需要消耗的能量,  $ce(i)$  表示节点  $i$  的当前剩余能量,  $ie(i)$  表示节点  $i$  的初始能量,  $ce(i)/ie(i)$  表示节点  $i$  的当前剩余能量水平。能量代价表达式的上面部分体现了数据传输能耗的有效性,下面部分考虑了能耗的均衡性。发送节点的剩余能量越少,  $EC$  值越大,节点被选作中转节点的可能性就越小。

### 2.2 算法思想

基于能量代价的路由算法,基本思想就是构建从数据源节点到 Sink 的具有最小能量代价的路径。传感器节点  $i$  若要发送数据,则从前向邻居节点中依据能量代价标准选择下一跳节点。若 Sink 在节点  $i$  的一跳通信范围内,节点  $i$  也可以将数据直接发送到 Sink。节点  $i$  选择前向邻居节点  $j$  作为转发节点,实现数据发送的总能量代价为节点  $i$  到节点  $j$  的能量代价与节点  $j$  到其下一跳节点  $k$  的估算能量代价之和,即

$$EC_{i,j,k} = EC_{ij} + EC_{jk} \quad (7)$$

从节点  $i$  看来,节点  $j$  选择其每个前向邻居节点的概率均相同,为  $p(j)$ ,且  $p(j) = \frac{1}{|FN(j)|}$ 。其中,  $|FN(j)|$  表示节点  $j$  的前向邻居节点个数。节点  $j$  把数据发送到其前向邻居节点  $p$  的能耗为  $E_{Tx}(l, d(j, p))$ ,则节点  $j$  转发数据的估算能量代价为

$$EC_{jk} = \frac{\sum_{p \in FN(j)} E_{Tx}(l, d(j, p)) / |FN(j)|}{ce(j)/ie(j)} \quad (8)$$

由总能量代价的定义可以看出,传感器节点进行下一跳的选择时,在能量有效性方面除了考虑自身发送数据到待选节点的能耗,还考虑待选节点后续发送数据的能耗,从真正意

义上衡量待选节点被选作下一跳的数据传输能耗的有效性。若节点  $i$  距离 Sink 较远,即不能和 Sink 直接通信,则节点  $i$  从前向邻居节点中选择具有最小总能量代价的节点  $j$  作为下一跳,即

$$EC_{i,j,k} = \min(EC_{i,m,n}), m \in FN(i), n \in FN(m) \quad (9)$$

下一跳节点接收到数据后,按照上述方法在其前向邻居节点范围内继续进行路由选择。若 Sink 在节点  $i$  的一跳通信范围内,则依据能量代价标准,节点  $i$  直接发送数据到 Sink 或通过前向邻居节点中转。下一跳节点  $j$  的选择可表示为

$$j = \underset{m \in FN(i)+i}{\operatorname{argmin}} (EC_{i,m,\text{Sink}}) \quad (10)$$

### 2.3 算法实现

本文所提的基于能量代价的路由算法的实现主要包括 3 个过程:邻居发现、能量代价计算和路由选择。

#### (1) 邻居发现

在网络初始阶段, Sink 以覆盖整个网络的最大发射功率广播发送初始化消息。传感器节点接收消息后,根据接收信号的强度 RSSI 估算 Sink 到自身的近似距离。然后传感器节点以预置的发射功率在一跳通信范围内广播邻居发现消息,消息中包含节点的 ID、到 Sink 的距离以及当前的剩余能量。传感器节点接收到邻居发现消息后,根据接收信号的强度 RSSI 估算邻节点到自身的近似距离,并从消息中提取出相关信息,建立邻节点信息表,并按式(5)计算前向邻居节点集合。

#### (2) 能量代价计算

基于邻节点信息表,按式(7)计算前向邻居节点的能量代价。在能量代价的计算过程中,要用到的相关信息包括节点  $i$  的剩余能量、节点  $i$  到前向邻居节点  $j$  的距离、前向邻居节点  $j$  的剩余能量、节点  $j$  的前向邻居节点个数及到节点  $j$  的距离。因此,节点  $i$  在计算其前向邻居节点  $j$  的总能量代价时,需要已知两跳前向邻居节点信息。为了让节点  $i$  获得自己两跳前向邻居节点信息,Hello 消息中还需要携带节点的前向邻居节点列表和相对距离信息。

#### (3) 路由选择

当节点监测到数据或转发数据时,从前向邻居节点中选择能量代价最小的节点作为下一跳。若 Sink 位于节点的一跳通信范围外,则按此选择标准确定下一跳节点;若 Sink 位于节点的一跳通信范围内,且比较能量代价的结果为节点自身的能量代价最小,则节点直接发送数据到 Sink。

### 2.4 算法分析

#### (1) 算法的计算时间复杂度

在传感器节点进行路由决策前,需要计算其前向邻居节点的能量代价。假设算法中按式(7)计算一次能量代价耗时  $t$ ,网络中传感器节点数为  $n$ ,节点通信半径为  $R$ ,且节点在网络中均匀分布,网络覆盖面积为  $s$ ,则节点的邻居节点个数的期望为  $\pi R^2 n/s$ ,前向邻居节点个数的期望为  $\pi R^2 n\beta/(\pi s)$ 。若采用分布式方法并行地求解网络中各传感器节点的前向邻居节点的能量代价,需要耗时  $\pi R^2 n\beta t/(\pi s)$ ,则能量代价的计算时间复杂度为  $O(n)$ 。C MAX 算法的计算时间复杂度为  $O(m + n \log n)^{[8]}$ ,其中  $m$  表示网络中可直接通信的节点间链路的数量,为节点个数与其邻居节点数的乘积,即  $m = \pi R^2 n^2/s$ ,则 C MAX 算法的计算时间复杂度为  $O(n^2)$ 。与之相比,本文所提路由算法具有较低的计算时间复杂度。

#### (2) 算法有效性分析

假设数据源节点  $i$  需要发送数据,按式(7)计算其到前向邻居节点  $j$  的总能量代价,并将能量代价的式(6)代入后可得

$$EC_{i,j,k} = \frac{E_{Tx}(L,d(i,j))}{ce(i)/ie(i)} + \frac{E_{Tx}(L,d(j,k))}{ce(j)/ie(j)} \quad (11)$$

$$j \in FN(i), k \in FN(j)$$

由总能量代价的表达式可知,总能量代价由数据源节点到待选前向邻居节点的数据发送能耗、待选节点到其下一跳的平均数据发送能耗、数据源节点的剩余能量以及待选节点当前的剩余能量共同决定。

在网络初始阶段,所有节点的当前剩余能量都相同,且等于节点的初始能量,即  $ce(i)/ie(i) = 1$ 。此时,总能量代价可表示为

$$EC_{i,j,k} = E_{Tx}(L,d(i,j)) + E_{Tx}(L,d(j,k)) \quad (12)$$

在前向邻居节点中依据总能量代价最小的下一跳选择标准,将构建从数据源节点到 Sink 的近似最小能耗路径。在网络运行的最初阶段,传感器节点的剩余能量较多且差异不大。由 2.1 节中关于能量代价的定义可知,此时能量代价受节点剩余能量的影响较小,路由决策中更多考虑的是能量有效因素。随着数据收发的进行,节点的剩余能量减少且差异增大,此时能量代价更多受节点剩余能量的影响,路由决策中更多考虑能量均衡因素。因此,基于能量代价的路由选择实现了能量有效性和均衡性的优化结合。下面通过具体的路由选择示例来进一步说明算法的有效性。

如图 2 所示, Sink 在数据源节点  $a$  的一跳通信范围内,同时节点  $a$  有两个前向邻居节点  $b$  和  $c$ ,因此节点  $a$  可通过 3 种方式将数据发送至 Sink:通过前向邻居节点  $b$  或  $c$  中转,或直接发送数据到 Sink。图中  $E(i)$  ( $E(i) = ce(i)/ie(i)$ ) 表示节点  $i$  的当前剩余能量水平,  $E_{Tx}(i,j)$  表示节点  $i$  发送数据到节点  $j$  的能耗。节点  $a$  计算选择不同路径的总能量代价。表 1 中的第二列给出节点  $a$  到前向邻居节点的能量代价,第三列给出节点到 Sink 的能量代价,最后一列给出不同路径的总能量代价。由计算结果可知,路径  $a \rightarrow c \rightarrow \text{Sink}$  的总能量代价最小,因此,节点  $a$  选择节点  $c$  作为下一跳。虽然沿路径  $a \rightarrow b \rightarrow \text{Sink}$  的数据传输能耗最小,但因节点  $b$  的剩余能量较少,路径总能量代价较大,故依据能量代价标准选择剩余能量较多的节点  $c$  作为下一跳。

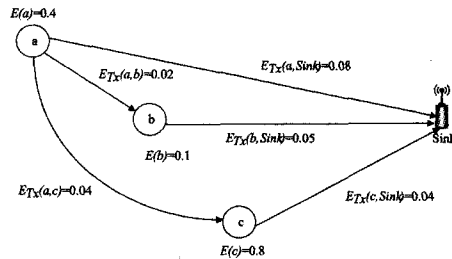


图 2 基于能量代价的路由示例

表 1 能量代价

路径	$EC_{i,j}$	$EC_{j,\text{Sink}}$	$EC_{i,j,\text{Sink}}$
$a \rightarrow \text{Sink}$		$0.08/0.4 = 0.2$	0.2
$a \rightarrow b \rightarrow \text{Sink}$	$0.02/0.4 = 0.05$	$0.05/0.1 = 0.5$	0.55
$a \rightarrow c \rightarrow \text{Sink}$	$0.04/0.4 = 0.1$	$0.04/0.8 = 0.05$	0.15

## 3 仿真结果与分析

在本文中,用 MATLAB 对路由算法进行了仿真。仿真

实验中统计传感器节点接收数据包和控制包、发送数据包和控制包消耗的能量,采用与文献[11]相同的无线通信硬件能量消耗模型,以网络中第一个节点能量耗尽(失效)的时间作为网络的生存时间(用轮数表示),来分析协议的能量效率。同时将基于能量代价的路由(ECBR)与最大剩余能量路由(MREBR)<sup>[12]</sup>、最小能耗路由(MEC)<sup>[5]</sup>以及能量感知的自组织路由(SOR)<sup>[10]</sup>进行比较。仿真实验中,传感器节点在正方形的监测区域中随机分布,Sink 部署在监测区域的外围,其它相关参数如表 2 所列。

表 2 实验参数

参数	取值
网络覆盖区域/m <sup>2</sup>	100×100
传感器节点数量	80~200
Sink 节点坐标	(50,110)
传感器节点初始能量/J	0.5
$E_{elec}/(nJ \cdot bit^{-1})$	50
$\epsilon_{amp}/(pJ \cdot bit^{-1} \cdot m^{-2})$	10
数据包大小/B	500
控制包大小/B	12
传感器节点最大通信距离/m	30

图 3 给出了网络中传感器节点数量以步长 20,从 80 到 200 变化时的网络生存时间。从图中可以看出,ECBR 算法与 MREBR、MEC 和 SOR 算法相比,有效地延长了网络生存时间。MEC 算法构建从数据源节点到 Sink 的最小能耗路径,处在最小能耗路径上的节点负载重,易较早失效,因此其网络生存时间最短。MREBR 算法以节点的剩余能量作为路由选择标准,构建的路由路径过长,对网络生存时间产生了负面影响。SOR 算法在一定程度上实现了节点能耗有效性和均衡性的结合,但与 ECBR 相比,其有效性和均衡性的匹配并未达到最佳,因此其网络生存时间介于 ECBR 和 MEC 之间。

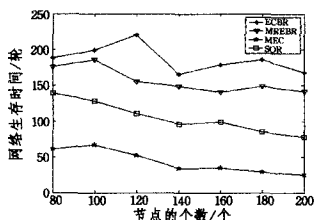


图 3 网络生存时间

图 4、图 5 分别给出了网络中出现第一个节点失效时,传感器节点的平均剩余能量和 Sink 邻居节点的平均剩余能量。由图 4 可知,MEC 算法在路由选择中并没有考虑节点的剩余能量,处在能耗有效路径上的节点频繁转发数据,至其能量耗尽时,网络中还有大量节点拥有较多的剩余能量,故 MEC 算法的平均剩余能量最多。MREBR 在路由过程中选择剩余能量最多的邻居节点作为下一跳,节点的能量均衡效果最好,因此在网络出现第一个失效节点时,传感器节点的平均剩余能量最低。ECBR 和 SOR 算法综合考虑节点能耗的有效性和均衡性,故其节点平均剩余能量介于 MEC 和 MREBR 之间,而且 ECBR 的能量均衡效果要好于 SOR 算法。在 ECBR 算法中,若节点距离 Sink 为一跳通信距离,则其根据能量代价选择是直接和 Sink 通信,还是经邻居节点转发数据,这样可最大限度地均衡对网络生存时间起决定性作用的 Sink 邻居节点的能量。如图 5 所示,ECBR 算法中至第一个节点失效时,Sink 邻居节点的平均剩余能量接近于零,且与能量均衡

效果最好的 MREBR 算法相当。因在 SOR 算法中未定义一跳通信范围,所以图 5 中未给出其在此方面的性能表现。

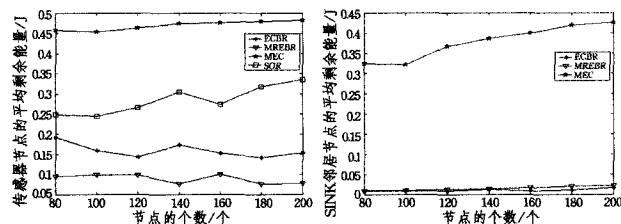


图 4 传感器节点的平均剩余能量 图 5 Sink 邻居节点的平均剩余能量

图 6 给出了数据从源节点传输到 Sink 的端到端平均能耗。从图中可以看出,随着节点数量的增加,ECBR, MREBR 和 SOR 算法的端到端平均能耗呈现上升趋势。因 MREBR 选择剩余能量最多的节点转发数据,其路由路径较长,所以其端到端平均能耗最大。ECBR 和 SOR 算法在实现能耗均衡的同时,考虑了数据传输能耗的有效性,因此其端到端平均能耗比 MREBR 低。MEC 算法中数据始终沿最小能耗路径传输,因此其端到端平均能耗最低。

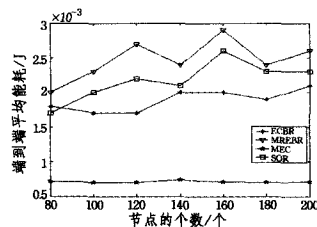


图 6 端到端平均能耗

结束语 本文针对无线传感器网络路由算法中的能耗问题,提出了一种基于能量代价的分布式路由算法。算法综合考虑数据传输中节点能耗的有效性和均衡性,设计了一种新的能量代价函数。传感器节点按此标准计算前向邻居节点的能量代价,选择能量代价最小的节点作为下一跳。理论分析和仿真实验结果表明,本文提出的路由算法具有较低的计算时间复杂度,与 MREBR、MEC 和 SOR 算法相比有效地延长了网络生存时间,节约并均衡了传感器节点的能量消耗。

## 参考文献

- [1] 李建中,高宏.无线传感器网络的研究进展[J].计算机研究与发展,2008,45(1):1-15
- [2] 李德英,陈文萍,霍瑞龙,等.无线传感器网络能量高效综述[J].计算机科学,2008,35(11):8-12
- [3] Mahfoudh S, Minet P. Survey of energy efficient strategies in wireless ad hoc and sensor networks[C]//Proceedings of Seventh International Conference on Networking, Cancun: IEEE, 2008:13-18
- [4] Long Z H, Gao M J. Survey on network lifetime research for wireless sensor networks[C]//Proceedings of 2<sup>nd</sup> IEEE International Conference on Broadband Network & Multimedia Technology. Beijing: IEEE, 2009:899-902
- [5] Singh S, Woo M, Raghavendra C S. Power-aware routing in mobile ad hoc networks[C]//Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. Dallas, United States: ACM, 1998:181-190

(下转第 84 页)

DCF相比,极大地提高了分组传输成功的概率,从而获得更高的系统吞吐量。

表1 模板图像的性质示例

参数	值
SIFS/ $\mu$ s	10
DIFS/ $\mu$ s	50
Slot Interval/ $\mu$ s	20
DATA 分组长度/ byte	512
Preamble 长度/ bits	144
PLCP 头长度/ bits	48
信道容量/Mbps	2
$C_{w\_min}$	32
$C_{w\_max}$	256

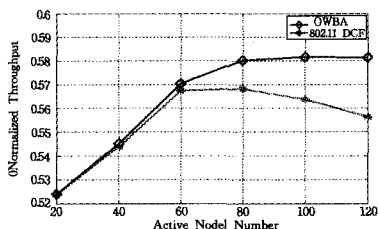


图1 不同节点时的吞吐量比较

分组延迟能够反映算法的调度效率。从图2可以看出,当网络负载较低时,两者的时延比较接近。随着网络负载的增加,OWBA算法比DCF延迟要小很多,并且延迟增加幅度更加平缓。由于DCF协议的冲突解析效率不高,因此节点在冲突中恢复需要耗费更多的时间,增加了延迟。

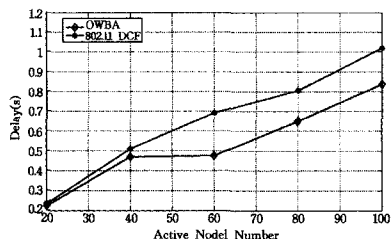


图2 不同节点时的时延比较

**结束语** 本文针对无线局域网的场景,提出了一个新的MAC层接入退避算法。与传统的协议和算法设计思路不同的是,本文所提算法首先把无线信道接入抽象为一个网络效用最大化问题,并在此基础上得出了局域网内节点争用信道的窗口应该一样的结论。然后,基于此给出了一个窗口最优

的退避算法。实验结果表明,本文提出的OWBA算法在吞吐量和分组延迟方面具有良好的性能。

## 参考文献

- [1] IEEE, Wireless LAN media access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications[S]. IEEE standard 802. 11, June 1999
- [2] Giuseppe B. IEEE 802. 11 saturation throughput analysis[J]. IEEE Communications Letters, 1998, 2(12): 318-320
- [3] Giuseppe B. Performance Analysis of the IEEE 802. 11 Distributed Coordination Function[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547
- [4] Thyagarajan N, Kim T, Xia G, et al. Achieving MAC Layer Fairness in Wireless Packet Networks[C]// the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 2000). 2000: 87-98
- [5] Fang Z, Brahim B. Fair Bandwidth Sharing Algorithms Based on Game Theory Frameworks for Wireless Ad-hoc networks[C] // Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004). 2004, 2: 1284-1295
- [6] Federico C, Marco C, Enrico G. Dynamic Tuning of the IEEE 802. 11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(6): 785-799
- [7] Federico C, Marco C, Enrico G. IEEE 802. 11 Protocol: Design and Performance Evaluation of an Adaptive Backoff Mechanism [J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 2000, 18(9): 1774-1786
- [8] Martin H, Franck R, Romaric G, et al. Idel Sense: An Optiaml Access Method for High Throughput and Fairness in Rate Diverse Wireless LANs[J]. Proceedings of the 2005 Conference Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM) 2005, 35(4): 1261-1273
- [9] Tian Q, Coyle E. A mac layer retransmission algorithm designed for the physical-layer characteristics of clustered sensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(11): 732-745
- [10] Varadhan K, Fall K. The ns manual[M]. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, 2002

(上接第76页)

- [6] Mhatre V, Rosenberg C. Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation [J]. Ad Hoc Networks, 2004, 2(1): 45-63
- [7] 孙国栋, 廖明宏. 能量均衡的无线传感器网络短路径路由算法 [J]. 自动化学报, 2008, 34(12): 1540-1543
- [8] Kar K, Kodialam M, Lakshman T V, et al. Routing for network capacity maximization in energy-constrained ad-hoc networks [C]// Proceedings of the 22th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. San Francisco: IEEE, 2003: 1-9
- [9] Yin L, Wang C, Qien G E. An energy-efficient routing protocol

- for event-driven dense wireless sensor networks[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2009, 16(3): 154-164
- [10] Rogers A, David E, Jennings N R. Self-organized routing for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2005, 35(3): 349-359
- [11] Heinzelman W R. Application-specific Protocol Architectures for Wireless Networks[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2000
- [12] Han K H, Ko Y B, Kim J H. A novel gradient approach for efficient data dissemination in wireless sensor networks[C]// Proceedings of IEEE 60th Vehicular Technology Conference. IEEE, 2004: 2979-2983