

异构传感器网络中汇聚节点位置优化路由算法

邹赛^{1,2}, 汪文勇¹, 唐勇¹, 张骏¹

(1. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 四川 成都 611731; 2. 重庆电子工程职业学院 软件学院, 重庆 401331)

摘要: 在异构无线传感器网络模型下, 针对采集节点发送数据能量消耗过高及路由时分组丢失率过大等情况, 对数据汇聚节点的位置优化及路由进行了研究, 提出了移动汇聚节点位置优化路由算法 (MLOYIH)。先根据蚁群算法的原理对移动节点与静态节点进行分组, 再在组内寻找适合的位置放置汇聚节点, 最后根据供电情况, 选择合适的跳算进行路由。经过仿真实验与性能分析表明, MLOYIH 算法与传统算法比较, 能量消耗降低到 64%, 分组丢失率不高于 3%。

关键词: 异构传感器网络; 移动节点; 位置优化; 路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2013)Z1-0268-08

Routing algorithm based on location optimization of sink node in hybrid wireless sensor networks

ZOU Sai^{1,2}, WANG Wen-yong¹, TANG Yong¹, ZHANG Jun¹

(1. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 611731, China;

2. School of Software Engineering, Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China)

Abstract: The data acquisition nodes in hybrid wireless sensor network usually suffer high energy consumption of data transmission and high ratio of packet loss. This issue is closely related to the position of data aggregation nodes (sink nodes) and can be improved by optimizing the location of these nodes. It was adopted in the routing algorithm based on location optimization of mobile sink nodes (MLOYIH). In MLOYIH, ant colony algorithm was used to divide the mobile nodes and static nodes into groups and then the suitable positions of the aggregation nodes were determined within each group. Then the suitable networking routing was established according to the power supply of sensor nodes. Simulation shows that MLOYIH algorithm has a lower energy consumption with a reduction of 64% compared with the traditional algorithms, and the ratio of packet loss is less than 3%.

Key words: hybrid wireless sensor networks; mobile node; optimal location; routing

1 引言

物联网的出现, 给人们生活带来了深刻的变化, 实现了人与人、人与物、人和虚拟世界、人和现实世界的联系。传感器网络就是物联网的一种, 实现了物理世界与信息的融合, 改善了人类的生活质量^[1,2]。随着传感器网络的发展、应用的深入也出现了一些需要解决的问题, 如传感器网络拓扑结构的优化、

节点能量的有限性、路由路径的规划等等。这些问题的解决需要优化节点的设计、寻找通信节点的最佳位置, 最后涵盖一套通信路径到目标节点的有效路由方法^[3-14]。

文献[3~6]对传感器网络拓扑结构进行了研究, 提出了资源区位优势、覆盖控制、数据压缩、药物发现等算法。在优化过程中发现由于地理位置原因一些节点无法参与网络中, 或关键节点在

收稿日期: 2013-07-14

基金项目: 重庆市 2013 年教育科学规划基金资助项目; 湖南省科技厅计划基金资助项目 (2013GK3082)

Foundation Items: Project by Chongqing education science In 2013; Project supported by Hunan Provincial Science and Technology Program of China (2013GK3082)

路由时能量用尽,造成局部网络通信中断,从而整个网络提前退出使用,如何降低数据采集节点到数据汇聚节点的发送数据的能量消耗是一个重要问题。文献[7,8]利用移动传感器节点的特性构造网络,它可以根据具体的需要来智能感知并采集信息,同时可以作为临时路由器与其他节点动态构建路由路径,提高网络质量,但移动传感器节点制作成本大、能量消耗高,导致不能大面积使用。为了减少整个网络的成本,需采用异构型网络。文献[9~11]对异构传感器网络进行描述,大部分节点由静态节点组成,少部分节点由移动节点组成,在需要时移动节点替代静态节点进行工作,或把移动节点作为数据汇聚节点,用来移动接收并转发相关的数据,延长整个网络寿命。在移动过程中有可能导致数据丢失、路由质量下降,还有就是移动节点在移动中不能保证数据采集节点发送数据给移动节点的能量消耗最少。由于传感器网络大多都是野外作业,太阳能比较丰富,因此传感器能量消耗相对日常生活来说就比较少,而如果能把太阳能电池加装在移动传感器上就能够很好地解决移动节点的能量消耗问题^[12]。本文在以上文献的基础上提出了一种新算法:异构传感器网络中基于移动节点位置优化的路由算法(MLOYIH)。

本算法的计算过程分 3 个阶段:第一阶段采用蚂蚁算法对数据采集节点(静态节点)与数据汇聚节点(移动节点)进行分组,算法对应于 3.1 节的算法;第二阶段在第一阶段基础上寻找移动节点的理想位置,使每个组内数据采集节点到数据汇聚节点消耗的能量和最少,算法对应于 3.2 节的算法;由于受天气的影响(黑夜、阴雨天气),太阳能电池供电会受到一定的影响,如何在一定的供电量的基础上,选择合适的路由方式,能够进行长时间的高质量的路由,这是第三阶段解决的问题,对应 3.3 节算法;本文的第 4 节对本算法进行了仿真,并对性能进行了分析;第 5 节对本文做了总结。

2 问题分析及模型描述

2.1 问题分析

在传感器网络中一般由 3 部分组成:数据采集节点对监测区域进行数据采集并发送给汇聚节点;汇聚节点不采集数据,只负责接收相关信息并转

发;目标节点(Sink)最终进行数据汇总。而在性能方面主要考虑 2 个问题,一是能量消耗情况,传感器节点在数据采集、接收、发送、休眠等过程中,发送阶段能量的消耗远大于其他方面^[13],一般只考虑发送数据时所消耗的能量,所以整个网络的能量消耗等于数据采集节点发送数据给汇聚节点所消耗的能量加上汇聚节点之间路由上所消耗的能量为

$$E_{\text{sum}} = E_{\text{sum}(M)} + E_{\text{sum}(N)} \quad (1)$$

其中, E_{sum} 表示整个系统消耗的能量, $E_{\text{sum}(M)}$ 表示静态节点到移动节点发送数据消耗的能量, $E_{\text{sum}(N)}$ 表示移动节点发送数据到目标节点消耗的能量。

在异构网中移动节点需要消耗大量的能量,而采用太阳能电池供电则弥补了这个问题,在式(1)中只需考虑数据采集节点能量消耗。当拓扑结构固定,求解数据采集节点最少能量消耗可简化为下面 2 个问题:

问题 A 动态节点与静态节点合理分组问题;

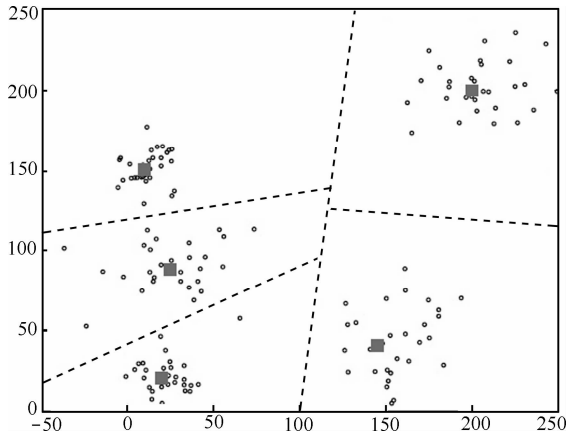
问题 B 寻找数据汇聚节点最佳位置,从而使得所有静态节点到达汇聚节点的能量消耗最少。

另一个考虑的性能就是路由的质量问题。由于受天气的影响(黑夜、阴雨天气),太阳能电池供电会受到一定的影响,如何在一定的供电量的基础上,选择合适节点使其能够进行长时间高质量的路由可转化为问题 C。

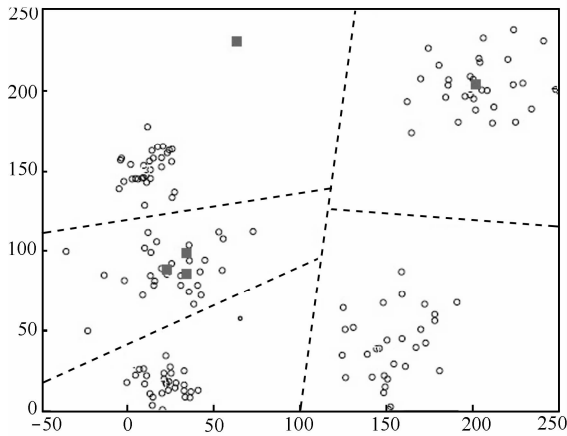
问题 C 太阳能电池电量与动态节点路由时的跳数。

2.2 模型描述

在本文中假设所有节点分布在 2D 平面上,且带有自身定位器,知道自己所在的坐标。整个网络是由 N 个移动传感器节点 $N1, N2, N3, \dots, Nn$ 和 M 个静态传感器节点 $M1, M2, M3, \dots, Mm$ 构成的无线传感器网络,其中 $N \ll M$, 采用多跳(multi-hop)、对等(peer to peer)等方式进行无线通信。移动节点只起转发作用,不进行数据采集。在拓扑结构布局时一个 N 节点与一组 M 节点一起进行投放,布局基本均匀,如图 1(a)所示。不考虑特例,如在投放中大部分静态节点远离移动节点,或者多个移动节点堆放在一起,如图 1(b)所示。小方块表示移动节点,小圆点表示静态节点。



(a) 布局基本均匀拓扑结构



(b) 布局非均匀拓扑结构
图 1 拓扑结构

3 算法实现

3.1 求解问题 A

由于在投放时不可能完全投放到理想模型的位置,大部分分组异构在一起,从而每个静态节点需要重新选择最近的移动节点达到最小化系统能耗,这个问题与求解多目标资源分配问题非常相似^[14],需要求 $E_{\text{sum}(M)}$ 的最少值,为

$$E_{\text{sum}(M)} = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^M e_{ij} \times X_{ij} \quad (2)$$

其中, e_{ij} 表示静态节点 j 到移动节点 i 所需要的能量, X_{ij} 为决策变量,表示静态节点 j 是否选择移动节点 i 路由,如式(3)所示。

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{表示静态节点 } j \text{ 选择移动节点 } i \\ 0, & \text{表示静态节点 } j \text{ 不选择移动节点 } i \end{cases} \quad (3)$$

约束条件如式(4)~(6)所示。

$$\text{Num}_{Nj} \leq \left\lfloor \frac{E_t}{e_i} \right\rfloor \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^M X_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (5)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, \quad \forall i, j \quad (6)$$

其中, Num_{Nj} 表示移动节点 j 最多能接受静态节点的数量, E_t 为移动节点在太阳能电池单位时间内(移动节点二次发送数据的时间)转化的能量值, e_i 表示静态节点发送一个单位数据到单位距离时消耗的能量值。式(4)表示每个移动节点最多能接收静态节点的数量,式(5)和式(6)确保对静态节点 j 最多只能分配一次。

从式(2)可以看出,节点进行选择时需对所有节点进行遍历,而这样需要消耗大量的能量,算法时间的复杂度也达到 $o(N^M \times N \times M)$,其中 N^M 表示组合的可能性, $N \times M$ 表示每种组合计算能量消耗的计算次数。此式的计算复杂度相当大,而从图 1 可以发现每个移动节点只与一定距离内的静态节点进行组合,所以可以把与移动节点距离 d 内的静态节点进行分配,降低算法的时间复杂度。在约束条件中增加式(7)。

$$d_{ij} \leq d \quad (7)$$

d_{ij} 表示为静态节点 j 到移动节点 i 的距离。

设数据收集区域的长为 l , 宽为 w , n 为移动节点的个数,理想情况下每个移动节点需要负责的区域为 $\frac{l}{n} \times \frac{w}{n}$,则区域对角线长度的一半为 d 的距离,式(7)可转化为式(8)所示。

$$d_{ij} \leq \frac{\sqrt{l^2 + w^2}}{2n} \quad (8)$$

通过式(1)~(8)对节点进行分配后,每个静态节点拥有 1 个标志位,标志位由 2 种状态组成,如果已经分配给动态节点,标志位则为动态节点号;如果没有分配标志位则为“0”。每个动态节点存储 2 张表:本地信息表和邻居节点信息表^[13]。邻居节点信息表存储移动节点相关信息,并按距离从近到远排列,本地信息表存储分配组内的静态节点信息。

通过式(8)计算后,可能出现如下情况,一部分静态节点刚好处于几个移动节点之间,到每一个移动节点的距离都大于 d ,且标志位为“0”。使用最短距离法对这一部分静态节点进行计算,寻找最近的移动节点并加入其路由信息表,标志位改为相应的移动节点号。

3.2 求解问题 B

经过上面分配后，每个群由一个收集数据的移动节点和一群采集数据的静态节点组成，令 S 为静态节点集合，包括 s_1, s_2, \dots, s_n 个节点， P 为动态节点， S 到 P 节点发送数据的能量消耗如式(9)所示。为使能量消耗最少，此问题转化为求一点 $p(x,y)$ ，使 $k_1ps_1 + k_2ps_2 + \dots + k_nps_n$ 值最小问题^[14]，由于静态节点发送单位数据消耗的能量相同，既 $k_1 = k_2 = k_n = e$ ，所以式(9)可转换为式(10)。

$$E_S = \sum_{s=1}^n e_s \tag{9}$$

$$E_S = e(ps_1)^2 + e(ps_2)^2 + \dots + e(ps_n)^2 \tag{10}$$

其中， E_S 表示在一个群组内静态节点一次向动态节点发送数据消耗的能量和， ps_1 表示 s_1 节点到 p 节点的距离，同理 ps_2, \dots, ps_n 分别为相应的节点到 p 节点的距离。

设 s_1 节点的坐标为 (s_{1x}, s_{1y}) ，同理 s_2, \dots, s_n 坐标分别为 $(s_{2x}, s_{2y}) \dots (s_{nx}, s_{ny})$ ，根据距离公式代入式(10)，得式(11)，为

$$E_S = e \left\{ \begin{aligned} & [(s_{1x} - x)^2 + (s_{1y} - y)^2] + \dots \\ & + [(s_{nx} - x)^2 + (s_{ny} - y)^2] \end{aligned} \right\} \\ = e \left\{ \begin{aligned} & (s_{1x}^2 + \dots + s_{1x}^2) + (s_{1y}^2 + \dots + s_{1y}^2) + \\ & nx^2 + ny^2 - (2xs_{1x} + \dots + 2xs_{nx}) - \\ & (2ys_{1y} + \dots + 2ys_{ny}) \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

E_S 求最少值，相当于对多元函数求极值，对式(11)求偏导数，并令偏导数为 0，可得式(12)为

$$\begin{cases} \frac{\partial E_S}{\partial x} = 2enx - 2e(s_{1x} + \dots + s_{nx}) = 0 \\ \frac{\partial E_S}{\partial y} = 2eny - 2e(s_{1y} + \dots + s_{ny}) = 0 \end{cases} \tag{12}$$

解得式(13)为

$$\begin{cases} x = \frac{s_{1x} + \dots + s_{nx}}{n} \\ y = \frac{s_{1y} + \dots + s_{ny}}{n} \end{cases} \tag{13}$$

现把移动节点移动到 P 点，达到预期目标。

3.3 求解问题 C

从模型假设及式(2)可知，整个网络能量消耗由 2 部分组成，静态节点发送数据消耗的能量通过式(2)~(13)进行了优化，动态节点采用了太阳能电

池，不需要考虑总体能量消耗，但如果要长时间不断使用，需要考虑每一个节点每次发送数据的能量消耗，即每个移动节点能够把每次所得的数据进行最远转发，减少数据分组丢失的概率。假设在网络中所有的移动节点是连通的，相互之间能够通信，令 E_i 为移动传感器节点， N_i 的太阳能电池存储能量值， E_m 为移动传感器节点 N_i 的发送数据单位距离消耗的能量值，每次发送数据时间为 t ，具体算法如下。

Step1 在汇聚节点进行数据融合，减少冗余数据。

Step2 根据邻居节点信息表 neighbor()与两点间最短路径算法建立一条或者几条到目标节点的距离路由表 gather()。

Step3 每个移动节点的具体流程如图 2 所示，算法步骤如下：

```

For(i=0; i ≤ [24/t] ;)
{ E = E0 - ([24/t] - i - 1) ×  $\frac{E_i t}{24}$  ;
if (Et ≥ 0)
{ E = E + Ei ;
k = E/Em ;
While(Φ)
{ node = search(neighbor(Ni), k);
If(node in gather(Ni))
{ send(node);
i++; }
else
Node = node - 1;
else
{ k = E/Em
While(Φ)
{ node = neighbor(Ni);
If(node in gather(Ni)) { If(node.length ≤ k)
{ send(node); i++; }
Else
Node = node + 1;
else
{ j = random(0, k); // 随机寻找一个能发送的邻居节点
Send(neighbor(Nj)); // 发送到邻居节点中能够到达的节点，进行转发。
i++; } } } }

```

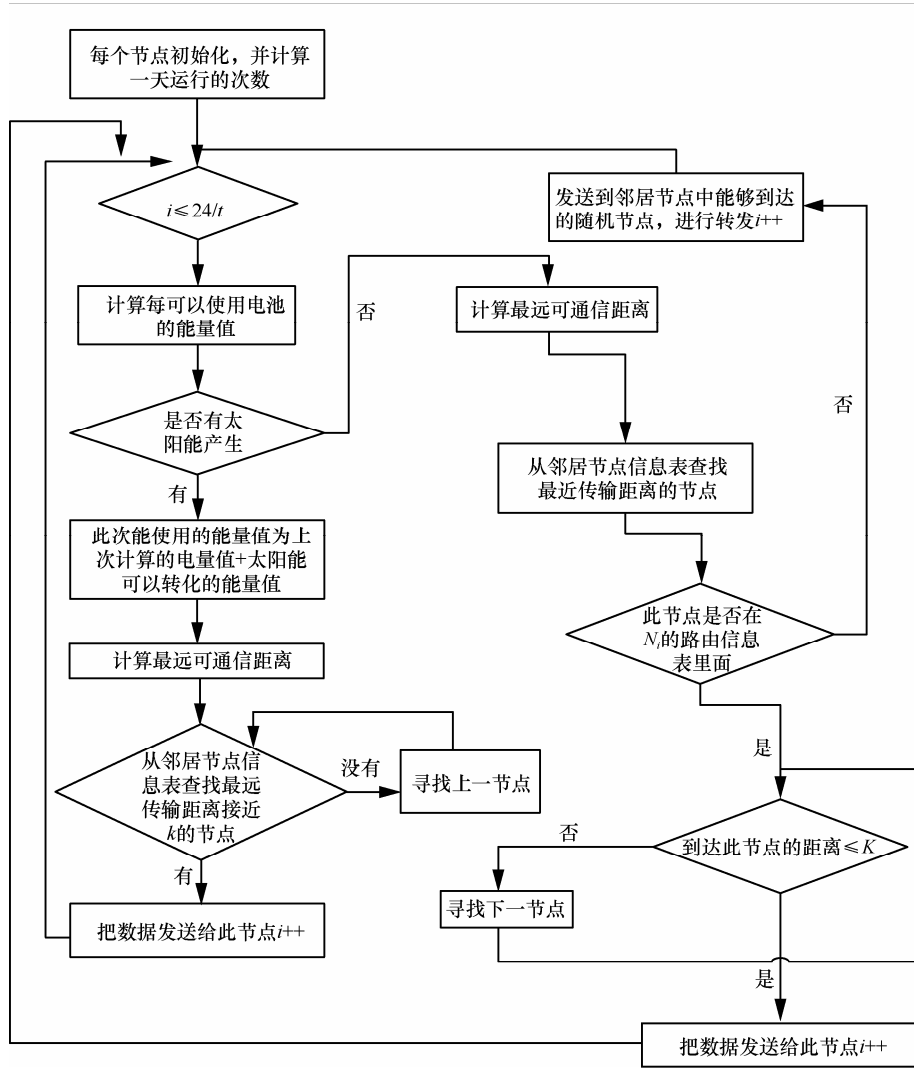


图 2 移动节点路由流程

Step4 每个节点以此路由, 直到目标节点为止。

4 算法分析及仿真

由于在一般的文献中(静止传感器网络、移动传感器网络、异构传感器网络), 能量消耗由 3 部分组成, 即数据采集部分把数据发送给汇聚节点所消耗的能量、汇聚节点之间转发数据消耗的能量、汇聚节点向目标节点(Sink)发送数据消耗的能量。本文也采用这 3 种结构, 但汇聚节点采用太阳能电池供电, 不需要考虑能量消耗的总集, 只需注重路由的质量, 为了方便与其他文献比较, 进行分段分析。在静态节点发送数据阶段采用 Matlab 语言编程模拟, 在汇聚节点数据转发阶段采用 NS2 进行模拟, 并把上一阶段一部分节点具体位置、每次需要发送数据分组的大小作为本阶段的基础数据。

4.1 静态节点发送数据分析

令数据收集区域为 300×300 的空间, 移动节点的个数为 100 个, 每个移动节点与 300 个静态节点为一组, 即有 30 000 个静态节点, 拓扑结构按从左向右、从上向下方式分组排列, 组内节点均匀随机分布, 组的排列坐标方式如表 1 所示。

表 1		组的排列坐标	
[0~60]×[0~60]	[0~60]×[30~90]	...	[0~60]×[240~300]
[30~90]×[0~60]	[30~90]×[30~90]	...	[30~90]×[240~300]
...
[240~300]×[0~60]	[240~300]×[30~90]	...	[240~300]×[240~300]

为了降低算法的复杂度, 在式(7)中增加了一个约束条件 d , 且 d 的距离为划分区域对角线长度的一半, 为证明 d 的合理性, 现在 d 的值分别取

原值的 0.2、0.5、1、2、3、4、5 倍值，结果如图 3、图 4 所示。

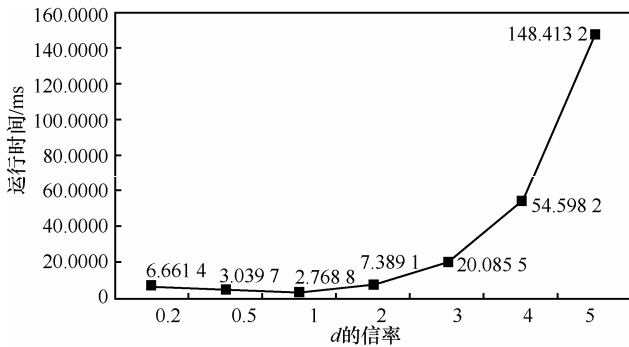


图 3 判定参数 d 与运行时间关系

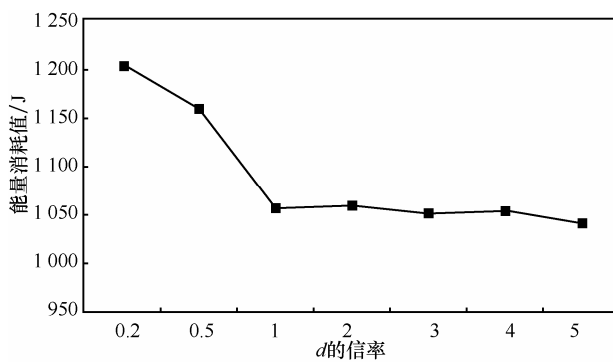


图 4 判定参数 d 与初始能量消耗关系

图 3 中横坐标表示 d 的倍率，纵坐标表示运行时间单位为 ms。可以看出，从 1 开始随着倍率的增加系统的运行的时间也增加，在 0 到 1 之间随着倍率的增加系统运行的时间减少，符合 2 中的模型划分，因为当倍率越大时，移动节点与静态节点组合的情况越多，计算量也就越大，系统运行时间也越大，没有分配的静态节点数量就相对比较少，不需要进行再次分配。反之，当倍率少于 1 时，系统分配规模就少，但没有分配的静态节点数量就越多，二次分配所需的时间也就越大。

图 4 主要是证明 d 的倍率与系统初始化能量消耗的关系，纵坐标表示能量消耗值。从图中可以看出随着参数 d 倍率的增大，系统初始化消耗能量逐步减少， d 大于等于标准倍率后初始化能量消耗基本不变，而 0.2 到 1 之间跨幅较大，主要原因为系统在资源分配时的能量消耗主要用来查询静态节点到动态节点的距离，所以能量相差无几，而处于 0.2 到 1 之间时，有大部分节点需要进行二次分配，而节点数量越多，分配的次数也就越多，所以消耗的能量也就越大。

图 5 为本文所提出的 MLOYIH 算法与文献[9]的 MEP 算法、文献[10]的 EOCHS 算法、传统传感器网络模型(traditional)在数据采集节点到汇聚节点发送数据时能量消耗的情况。由于 MLOYIH 算法的数据汇聚节点是寻找最合适的位置，数据采集节点消耗能量值最少。MEP 算法^[9] 基于最大熵原理，采用启发式寻找资源节点来架构网络路由，从而保证局部能量花费较小，EOCHS 算法^[10]采用滚动控制技术减少异构传感网通信能耗、移动能耗。在整个比较中与 MEP 能量消耗相差不大，但 EOCHS 需要移动收集数据，每个数据采集节点到汇聚节点的距离发生改变，单位时间内自身能量消耗相差较大。EOCHS 算法与传统传感器网络模型在网络组建前期不需要大量的计算，所以初始化时间较短，初始化消耗能量较少。从整个网络能量消耗来看，MEP、EOCHS 算法占传统网络模型能耗的 77%，MLOYIH 算法只占传统网络模型能耗的 64%，占 MEP、EOCHS 算法的 82%。

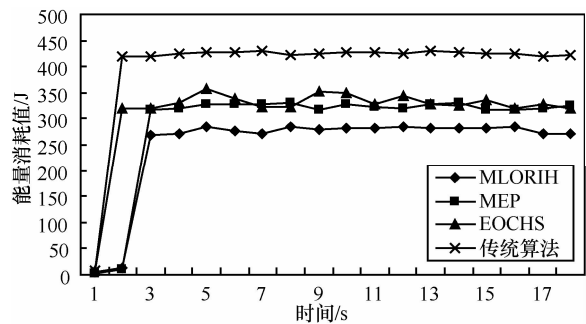


图 5 单位时间内能量消耗情况

4.2 算法 QOS 分析

为了验证 MLOYIH 算法的性能，对分组丢失率、网络总体能量消耗、网络延时等 3 个性能尺度进行分析。分组丢失率可能发生在 2 个地方，一个是数据采集节点发送数据给汇聚节点，再就是汇聚节点之间路由，为了简化实验，把上面实验的 1/10 区域的数据导入本实验中，300 个数据采集节点，10 个数据汇聚节点，每个数据采集节点发送 10~100 个分组，检测最后收到分组的个数，如图 6 所示。

网络延时主要由网络初始化延时、收集数据分组延时、数据分组路由延时等方面组成，分别对第 1 个分组、第 301 个分组、第 601 个分组等到达时间进行记录，如图 7 所示。

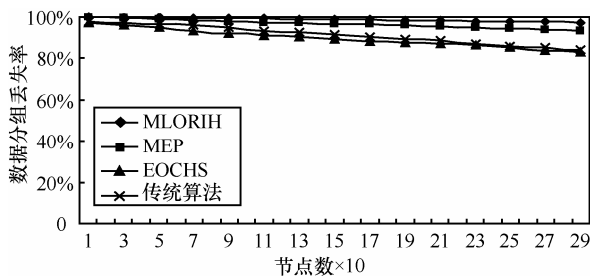


图 6 网络运行发送与接收数据分组情况

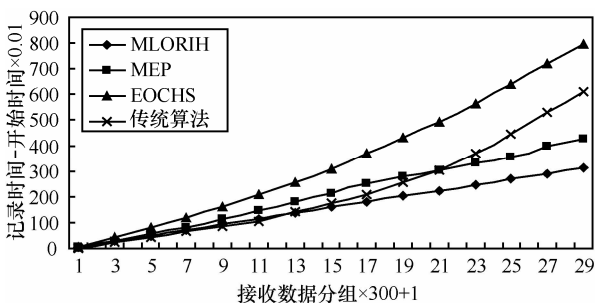


图 7 网络延时情况

从图 6 中可以看出，MLOYIH 算法收到的分组的个数百分比高达 97.3% 以上，EOCHS 算法分组丢失率最大（即收到的数据分组的数量最少）。经分步计算后得出分组丢失主要与 2 个方面有关，路由中数据分组经过中间节点数越多，分组丢失的可能性就越大。再就是路由的路径是否稳定，当数据分组一定的情况下，采用同一条路径分组丢失的可能性就减少。MLOYIH 算法中汇聚节点数据分组尽可能远距离路由（减少路由的跳数）方法相符。

图 7 主要是对网络延时进行说明，EOCHS 算法延时最大，传统算法在开始时延时较少，当运行一定时间后，一些关键节点能量用尽，数据分组不能转发，需重新选择路由，导致后期延时较大。MLOYIH 算法时延较稳定，处于最低值。图 8 是对整个网络总体能量消耗进行分析，MLOYIH 算法能耗最低。

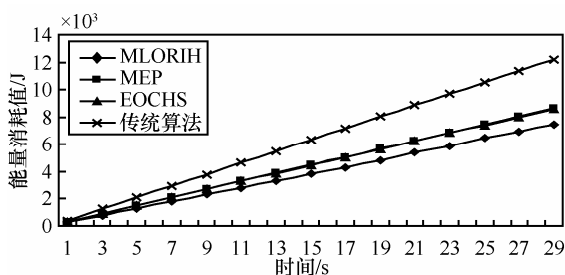


图 8 能量消耗情况

5 结束语

在异构无线传感器网络模型下，把数据汇聚节点的位置优化与采用路由方法进行结合研究，提出了移动汇聚节点位置优化路由算法。首先把移动数据汇聚节点与静态的数据采集节点进行合理的分配，分配后各组寻找一个理想位置作为汇聚节点最终位置，使得各组数据采集节点发送数据到达汇聚节点能量消耗值最少，接着根据移动节点的太阳能电池供电情况，选择合适的路由方式进行路由。经过仿真实验及算法分析可知，MLOYIH 算法有一定的理论意义和实用价值。

参考文献:

- [1] ZOU Q M, QIN L J, MA Q Y. The application of the internet of things in the smart grid[J]. Materials Science and Information Technology, 2012,433(440): 3388-3394.
- [2] BEZDEK J C, RAJASEGARAR S, LECKIE C, et al. Anomaly detection in environmental monitoring networks[J]. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2011,5(6):52-58.
- [3] TOPCUOGLU H, ERMIS M, BEKMEZCI I. A new three-dimensional wireless multimedia sensor network simulation environment for connected coverage problems[J]. Simulation-transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 2012,88(1): 110-122.
- [4] CHEN F, DELANNAY D, VLEESCHOUWER C D. An autonomous framework to produce and distribute personalized team-sport video summaries: a basketball case study[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2011, 13(6): 1381-1394.
- [5] HUNG C C, PENG W C, LEE W C. Energy-aware set-covering approaches for approximate data collection in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2012, 24(11): 1993-2007.
- [6] DENG X, YANG Y Y. Online adaptive compression in delay sensitive wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Computers, 2012,61(10):1429-1442.
- [7] PAOLO M, JEREMIE L, GIANLUIGI F. Energy-efficient mobile target detection in wireless sensor networks with random node deployment and partial coverage[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2012, 8(3): 429-447.
- [8] HABIBM A. On the problem of k-coverage in mission-oriented mobile wireless sensor networks[J]. Computer Networks, 2012, 56(7): 1935-1950.
- [9] NACHIKET V K, SRINIVASA M. Maximum entropy principle-based algorithm for simultaneous resource location and multihop routing in multiagent networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 11(4): 591-602.

- [10] YU S W. Energy optimal control in mobile sensor networks using hybrid systems theory[A]. 2011 IEEE International Conference[C]. Anchorage, Alaska, USA, 2011. 1975-1980.
- [11] ABABNAH A. Optimal control-based strategy for sensor deployment[J]. IEEE Transactions on Systems and Humans, 2011,41: 97-104.
- [12] DENG J P, WANG M Q, SONG X H. CdS and CdSe quantum dots subsectionally sensitized solar cells using a novel double-layer ZnO nanorod arrays[J]. Journal of colloid and interface science, 2012, 388(1):18-22
- [13] 苏玉娥. 无线传感器网络中移动 Agent 路由算法的研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2010.
SU Y E. Research on Mobile Agent Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks[D]. XuZhou: China University of Mining and Technology, 2010.
- [14] 路秀英, 崔兴凯, 霍新丽. 求解多目标资源分配问题的改进蚁群优化算法. 微电子学与计算机[J]. 2011, 28(10):87-90.
LU X Y, CUI X K, HUO X L. Improved ant colony optimization to multi-objective resource allocation problems[J]. Microelectronics & Comput, 2011, 28(10):87-90.
- [15] 梁兵. 广义费尔马点的几何解法. 山东师范大学学报(自然科学版) [J]. 2011, 1(26):133-134.

LIANG B. Geometric solution of generalized Fermat point[J]. Journal of Shandong Normal University (Natural Science), 2011, 1(26): 133-134.

作者简介:



邹赛 (1981-), 男, 湖南祁东人, 硕士, 电子科技大学访问学者、高级实验师、信息系统项目管理师、高级项目经理, 主要研究方向为计算机网络, 软件工程。

汪文勇 (1967-), 男, 四川人, 电子科技大学教授, CERNET 专家委员会委员、中国计算机学会高级会员、互联网专委会委员、软件工程专委会委员、高性能计算专委会委员, 主要研究方向为互联网、无线传感器网络。

唐勇 (1973-), 男, 云南人, 博士, 电子科技大学副教授, 主要研究方向为无线传感器网络。

张骏 (1974-), 男, 河北人, 博士, 电子科技大学讲师, 主要研究方向为无线传感器网络。