

基于蚁群算法的传感器网络分布式广播算法

高利, 李仁发, 罗娟

(湖南大学计算机与通信学院, 长沙 410082)

摘要: 提出了一种基于优化蚁群算法的传感器网络中分布式广播算法。根据传感节点的密度进行簇的划分, 用优化的蚁群算法在各簇中分别寻找从广播源点开始遍历所有传感节点, 返回广播源点的最优链路, 利用蚁群算法的正反馈效应来达到广播与数据聚集的目的。实验表明, 该多链方案不需要网络节点维护全局信息, 避免了全网构建的链中可能存在两个离得远的节点成为邻节点的情况, 它在节点不均匀分布的情况下比最近邻居算法取得了更小的能耗和延迟代价, 是一种高效的分布式广播算法。

关键词: 传感器网络; 簇; 蚁群算法; 广播与数据聚集

Distributed Broadcasting Algorithm Based on Ants Algorithm for Sensor Networks

GAO Li, LI Renfa, LUO Juan

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082)

【Abstract】 This paper presents a distributed broadcasting algorithm based on optimized ants algorithm for sensor networks. The basic idea is as follows: it parts cluster according to nodes' density, and optimized ants algorithm is used to find the optimal route starts from the broadcasting source node and traversals each node in the network and returns the source node. The data broadcasting and gathering can be achieved by the positive feedback of the ants. The experimental results show that the algorithm is efficient and scalable.

【Key words】 sensor networks; cluster; ants algorithm; broadcasting and data gathering

无线传感器网络因为无线信道特性, 有着严重的接收信号能量衰减, 所以必须保证发送点传送信号的能量足够强。节点的能量消耗主要来源于以下两方面: 传感与计算处理以及信号传送/接收。随着低功耗设备的发展, 传感与计算处理所需的能量消耗能更进一步地减少, 但通信的能量消耗依然不能克服。能量消耗的优化成为开发有效的无线传感器网络算法和协议的中心问题。很多的传感器应用需要使用广播。广播是将信息从网络中的某个节点分发到网络中所有节点的过程。数据聚集是每个节点将采集的信息集中到网络中的某个中心节点的过程。一次广播通常先于一次数据聚集, 或者二者以交错的方式进行。文献[1]介绍了基于最近邻节点的广播算法。该算法需要构造一个线性链。操作从需要发起广播的一个源节点开始, 也可以根据需要选择其它的节点, 让其作为链首。然后分轮进行, 离链首最近的非链节点被选中并加入链中作为新的链首, 重复该过程直到所有节点都在链中。最后一个节点作为链尾将信息发送给链首。用该方案, 节点是随机“死亡”的, 该算法可以保证每个节点和最近的邻节点通信, 但是不能保证总的传输能量最小。

本文模拟整个网络为一个有向图, 提出了一个基于优化蚁群算法的分布式广播与数据聚集同步算法, 它基于中心节点(广播源点), 按照节点的密度将整个网络划分成多个簇, 以中心节点结尾的独立线性链在每个簇中产生。本文将基于优化蚁群系统的线性链方案应用于每个簇来传输数据到中心节点。和文献[1]的算法相比, 新算法为分布式算法, 且不需各传感节点维护全局网络状态, 因而具备更好的可伸缩性, 仿真结果也表明新算法具有较好的性能。

1 基于蚁群算法的分布式广播与数据聚集算法

研究表明, 蚂蚁具有找到蚁巢与食物之间的最短路径的能力。这种能力是靠其在所经过的路径上留下一挥发性的分泌物信息素(pheromone)来实现的。蚂蚁在一条路上前进时, 会留下信息素, 后来的蚂蚁选择该路径的概率与当时这条路径上该物质的强度成正比。对于一条路径, 选择它的蚂蚁越多, 则留下的信息素的强度就越大, 而强度越大的信息素会吸引更多的蚂蚁, 从而形成一种正反馈, 通过这种正反馈性, 蚂蚁最终可以发现最短路径。目前蚁群算法已经被用于求解QoS路由等问题。但基本蚁群算法中易出现停滞现象、搜索时间长、解空间的探索不够等缺点。本文采用了一种快速全局优化的改进蚁群算法来实现广播与数据聚集的操作。

1.1 基于蚁群算法的广播问题的描述

本文把传感器网络看成是拥有静态节点的无线Ad Hoc网络, 用Heinzelman等人^[2]提出的模型。每个节点可以通过发送功率控制调整发送器的覆盖范围。所有的“活”节点都传感数据。如前所述, 节点间通信是最主要的能量消耗。本文的方案主要关注降低通信能耗。

本文利用文献[2]中提出的“first order radio”模型来计算通信能耗。从能耗的公式可知, 可以通过减小传输距离和数据大小来节能。在广播和数据聚集过程中, 某一节点发起一

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2003AA-8-TS-01); 湖南省自然科学基金资助项目(03jjy3103)

作者简介: 高利(1980-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 无线传感器网络; 李仁发, 教授、博士生导师; 罗娟, 副教授

收稿日期: 2006-07-11 E-mail: cool_gaoli@sohu.com

次广播,将广播数据按一定协议发送给每个簇内的某一节点。收到广播数据的节点根据广播数据的要求,将本节点所采集到的有用数据与广播数据进行本地数据融合,因此每一节点所接收到的数据大小都是一样的。然后将融合完成的数据转发给本簇内的下一个节点,循环直至遍历该簇内所有的传感器节点。每个簇并行执行这一过程。在循环完成以后,每个簇内的最后一个将数据发送给发起广播的源节点,完成一次广播和数据聚集的过程。本文中因为已采用了数据融合的方法,所以主要优化目标为最小化总的传输距离。这一目标与蚁群算法的优化目的相符合,可以采用该算法来优化广播和数据聚集的过程。

1.2 基于蚁群算法的广播算法的描述

基于单链的广播算法存在两个离得远的节点成为邻节点的情况,对于传感器网络的应用来说,长广播路径的算法通常是不可取的,会增加广播的延时和能量代价。针对这些问题,本文引入了分簇的思想。基于文献[3]中指出的在Delaunay Triangulation中一个节点的平均度大约为6,传感器网络中的许多几何图为Delaunay Triangulation的子图,那么簇的数值被设在4~7之间是合理的。选择簇的大小为4。当平面被划分成4个簇后,每个簇内并行运行优化蚁群算法。

其算法描述如下:

输入 节点V,源节点为S及每个节点的位置信息。

输出 以S为源节点的广播与数据聚集路径。

(1)运行分簇算法,将平面分成K个簇分别为: S_1, S_2, \dots, S_k 。

(2)从节点S开始,在每个簇内并行运行蚁群算法,寻找遍历该簇内所有的传感器节点并回到源节点S的最短路径。 v_i 表示 S_i 部分的节点,在 v_i 中找出蚁群搜索的路径中源节点S下一步到达的节点 O_i ,调节源节点S的能量级使其到达最远的 O_i 节点。

(3)按蚁群搜索的路径在各簇内进行数据的广播与聚集操作,将最后的数据集中到源节点。

下面分别描述分簇算法和优化蚁群算法。

本文中采用如下算法将平面划分成4个簇:用源节点S释放的射线有角度的扫描平面区域来确定高密度的节点区域。进行扫描的射线能够处理在扫描过程中遇到的节点,从而知道节点的密度分配情况。即以每15度的小角度将平面分成多个区域 r_1, r_2, \dots, r_k 。每个区域中节点的个数可以通过一个简单的包含/排除机制进行计算,以 c_i 表示区域 r_i 中节点的个数,节点数量最少的4个部分作为最后得到的4个簇的分界线,将其算法描述如下:

输入 平面中的节点集V,源节点S。

输出 将平面分成4个簇。

步骤1 假定 r_1, r_2, \dots, r_k 为以S为源点,按15度角分割的平面区域。

步骤2 C_i 为 r_i 区域中节点的个数,初始时 $c_i=0$;

for v 中的每个节点 v_i do

for 每个区域 r_i do

If v_i 属于 r_i Then c_i++

end for

end for

步骤3 选有最少节点的4部分作为各簇的分界线。

本文采用的基于蚁群系统的优化求解算法如下:

在路径选择方面,为了在一定程度上减小算法陷入局部最优解的概率,让第k只蚂蚁按式(1)概率从节点i转移到节点j:

$$\text{若 } q \leq q_0, j = \arg \max \{ | \tau_{ij}(t) | \cdot | \eta_{ij}(t) | \cdot \beta \} \quad (1)$$

否则根据式(2)选择j。

$$P_{ij}^k = \frac{\tau_{ij}^{\alpha}(t) \eta_{ij}^{\beta}(t)}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} \tau_{is}^{\alpha}(t) \eta_{is}^{\beta}(t)} \quad (2)$$

其中, q 是(0,1)的随机数, $q_0 \in [0, 1]$, q_0 越小,蚂蚁随机选择的概率越大; $\text{allowed}_k = (0..n-1)$ 为蚂蚁k下一步允许选择的节点; $\tau_{ij}(t)$ 为t时刻边(i,j)的轨迹强度; $\eta_{ij}(t)$ 为节点i和j之间距离的倒数;参数 β 在不同的时刻对应不同的值。

在信息素的更新方面,设集合

$$D = \{ D[k] \mid D[k] = \sum \text{dij}[k], k = 1, 2, \dots, m \}, i, j \in C$$

$$d(t) \min = \min \{ D[1], D[2], \dots, D[m] \} \quad (3)$$

$$d(t) \text{ aver} = \min \{ D[1] + D[2] + \dots + D[m] \} / m \quad (4)$$

$d(t) \min$ 为第t个周期得到的最短路径长度, $d(t) \text{ aver}$ 为第1个周期m只蚂蚁周游路径长度的平均值。当 $d(t) \min < d(t-1) \min$ 且 $D[k] < d(t) \text{ aver}$ 的时候,蚂蚁k才按式(5)计算 $\Delta \tau_{ij}^k(t)$ 。

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{若第k只蚂蚁在本次循环中经过ij} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

信息素强度常数Q影响算法的全局收敛速度,将信息素强度由常数转化为阶梯函数^[4]:

$$Q(t) = \begin{cases} Q1, & 0 \leq t \leq T1 \\ Q2, & T1 < t \leq T2 \\ Q3, & T2 < t < T \end{cases} \quad (6)$$

将各条寻优路径上可能的残留信息素限制在 $[z_{\min}, z_{\max}]$ ^[4]。

每次循环结束后,只有路径最短的蚂蚁才有权修改 $\tau_{ij}(t)$ 。修改策略在式(7)的基础上,再加上式(9)进行阈值判断选择。

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho * \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}, \rho \in (0, 1) \quad (7)$$

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (8)$$

$$\tau_{ij}(t+n) = \begin{cases} \tau \min, & \text{若 } \tau_{ij}(t) \leq \tau \min \\ \tau_{ij}(t), & \text{若 } \tau \min < \tau_{ij}(t) < \tau \max \\ \tau \max, & \text{若 } \tau_{ij}(t) \geq \tau \max \end{cases}$$

其算法描述如下:

步骤1 初始化: Set $t=0, N_c=0, \tau_{\max}=\tau_{ij}, \tau_{\min}=\tau_{\max}/(2^n), \Delta \tau_{ij}=0, \rho, \beta, \beta_1, \beta_2, \beta_3, Q1, Q2, Q3$ 均为常数,且 $Q1 < Q2 < Q3, q_0$ 为常数。放置m个蚂蚁在N个节点上。

步骤2 令 $s=1$ (s是tabuk的下标)

For $k=1$ to m do

把第k个蚂蚁的初始节点号码放到 $\text{tabuk}(s)$ 中。

步骤3 repeat until tabuk is full

set $s=s+1$

for $k=1$ to m do

根据式(1)计算的概率选择节点 j_1 并前进, $j_1 \in \{C - \text{tabuk}\}$ 。

步骤4 For $k=1$ to m do

按照式(3)计算本次m只蚂蚁循环的最短路径长度 $d(t) \min$,记录当前最优解,并令 $\text{tabuk} = \Omega$;按照式(4)计算本次m只蚂蚁循环的路径长度平均值 $d(t) \text{ aver}$;当 $d(t) \min < d(t-1) \min$ 且 $D[k] < d(t) \text{ aver}$ 的时候,蚂蚁k才按照式(5)计算 $\Delta \tau_{ij}(t)$,同时按照式(6)自适应地选择Q。

步骤5 由式(7)、式(8)及式(9)计算 $\tau_{ij}(t+n)$

步骤6 Set $t=t+n$ and $N_c=N_c+1$ and $\Delta \tau_{ij} = 0$

步骤7 if ($N_c < N_{\max}$) and (不是所有的蚂蚁选择同一条路径)

then 清空所有的 tabuk

goto 步骤2

else

打印出最短路径

2 性能仿真

2.1 仿真环境设置

仿真实验主要分析能量消耗、传输时延和网络的生命周期。本文中，设定完成一次广播和聚集的循环为广播数据遍历网络中的每一个节点，最后返回发起广播的源节点这一过程。传输时延定义为一次广播过程需要的总时间单元，采用文献[2]中使用的评价传输延迟的方案，传输一次需要一个时间单元。网络的生命周期定义为当首个失效节点出现时，完成的广播循环次数。

传感器网络模型的主要参数如下：每个节点的初始能量是 1.0J，已知位置信息的传感器节点不均匀的分布在 50×50 的矩形区域中。设定每次广播过程中实现了数据融合，每个节点传送和接收的都是大小固定的 2 000bits 数据。

2.2 仿真结果

仿真结果见表 1。

表 1 蚁群算法在不同网络拓扑情况下的参数

参数数	N=50	60	70	80	90	100	110
NCmax	50	100	100	100	150	200	200
m	25	30	30	40	45	50	50
ρ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
β	$\frac{1}{4}$ if $NC \leq 0.5 * NC_{max}$ $\frac{1}{2}$ if $0.5 * NC_{max} < NC \leq 0.75 * NC_{max}$ 1 if $0.75 * NC_{max} < NC \leq NC_{max}$						
Q	0.3 if $NC \leq 0.5 * NC_{max}$ 0.6 if $0.5 * NC_{max} < NC \leq 0.75 * NC_{max}$ 0.9 if $0.75 * NC_{max} < NC \leq NC_{max}$						

由图 1 与图 2 可知，基于簇的蚁群系统的协议能够延长传感器网络的生命周期，并且单次广播的能耗也低于同等条件下的最近邻居算法。图 3 对比两种算法需要的时间延迟，显然基于簇的分布式广播算法有更好的延迟代价。

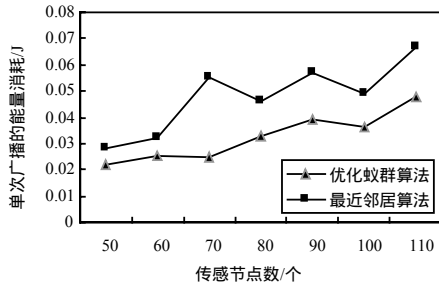


图 1 两种算法总的能量消耗对比

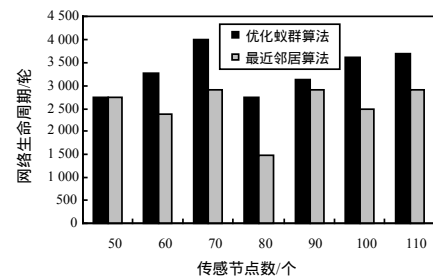


图 2 两种算法在网络生命周期上的对比

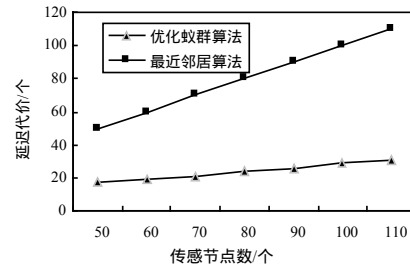


图 3 两种算法在延迟代价上的对比

3 结束语

本文提出了一种传感网络中基于蚁群算法的高效数据广播与聚集算法，并对其进行了仿真实验。新算法利用分簇的思想和优化蚁群算法，较好地解决了传感节点在传送数据中的延迟代价和能量消耗问题，极大地延长了网络的生命周期。同时可以看到，除了能耗问题等影响传感器网络性能的重要因素以外，传感器网络拓扑的变化、实际应用因素等也会影响传感器网络的性能。节点移动性将是下一步的研究方向之一。

参考文献

- Lindsey S, Raghavendra C S. Energy Efficient Broadcasting for Situation Awareness in Ad Hoc Networks[C]//Proceedings of ICPP'01, Valencia, Spain. 2001-09: 149-155.
- Lindsey S, Raghavendra C S, Sivalingam K. Data Gathering in Sensor Networks Using the Energy Delay Metric[C]//Proceedings of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing. 2001: 2001-2008.
- Cormen T H, Leiserson C E, Rivest R L. Introduction to Algorithms[M]. McGraw Hill, 2001.
- Dorigo M, Gambardella L M. Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, Nagoya, Japan. 1996.

(上接第 134 页)

提出应用层组播性能评价参数的目的，一方面为应用层组播网络的实现机制提供参考，另一方面通过网络测量和评价组播覆盖网络组网性能，还可为组播覆盖网络的组网协议进行优化。

4 总结

本文介绍了应用层组播的发展现状，在对 ScatterCast 进行扩展的基础上，提出一个新的应用层组播网络体系结构，以解决大规模应用层组播通信的可扩展性和与 IP 组播的兼容性。该体系结构并没有考虑安全性，如何将安全机制加入其中是下一步研究的重点。

参考文献

- Deering S, Cheriton D. Multicast Routing in Datagram Internetworks and Extended LANs[J]. ACM Transaction on Computer Systems, 1990, 8(2): 85-111.

- Chawathe Y. Scattercast: An Architecture for Internet-broadcast Distribution as an Infrastructure Service[D]. Berkeley: University of California, 2000-12.
- 徐 恪, 吴建平, 徐明伟. 高等计算机网络(体系结构, 协议机制, 算法设计与路由技术)[M]. 1 版. 北京: 机械工业出版社, 2003-09.
- Garyfalos A, Almeroth K, Finney J. Comparison of Network and Application Layer Multicast for Mobile IPv6 Networks[C]//Proc. of the ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. 2003: 58-65.
- Cristina A, William Y, Campbell R H. A Survey and Comparison of End-system Overlay Multicast Solutions Suitable for Network Centric Warfare[C]//Proceedings of International Society for Optical Engineering, Battlespace Digitization and Network-Centric Systems IV. 2004: 215-226.