

基于蚁群算法的无线传感器网络路由算法

朱程辉,叶福林

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要: 提出一种基于蚁群算法的无线传感器网络按需多路节能路由算法。该算法综合了蚁群优化算法和 AODV 路由协议的思想,通过蚂蚁并行地在源节点和目的节点之间建立多路径路由,提高了网络数据传输的实时性、延长了整个网络的生命期。仿真结果表明,该算法与多种群蚁群优化路由算法、基本蚁群算法相比,在整个网络的生命期和节能方面效果显著。

关键词: 无线传感器网络;路由;蚁群算法;多路节能

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)15-0067-04

A routing algorithm of ant colony algorithm for wireless sensor network

ZHU Cheng Hui, YE Fu Lin

(Department of Electric Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Based on the special demand of energy control for wireless sensor network, this paper proposed an on-demand multi-path and power-saving ant colony algorithm. The algorithm balances the energy consumption and creates small network latency. It synthesizes the concept of ACO and AODV protocol. It can find multiple transmission paths from sources to the sink by parallel search. The experimental results show that the algorithm is more effective and available than MACO and ACA in routing cost and energy dissipation.

Key words: wireless sensor network; routing; ant colony algorithm; multi-path and power-saving

随着无线通信技术、电子技术、传感器技术和微电系统的飞速发展,无线传感器网络的研究越来越受到人们的重视。传感器网络是由部署在观测环境内的大量微型传感器节点通过无线通信方式组成的一种无线网络。组成传感器网络的节点包括传感器和汇聚节点(Sink)。传感器节点的能量十分有限,并且在部署后难以再次补充能量,因此传感器网络存在严重的能量约束问题^[1]。

参考文献[2]提出一种无线传感器网络 AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)路由协议改进方案,通过改进 RREQ 协议帧,使节点的剩余能量值参与到路径中,优化 RREQ 洪泛传播。但该算法是基于单路径数据传输,没有考虑节点的负载状况,节点容易产生拥塞,导致数据包的重传或数据丢失的情况。参考文献[3]提出了一种基于蚁群优化的路由算法 ARAWSN(ACO-Based

Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks),该算法在定向扩散协议的基础上,通过搜寻蚂蚁以广播的方式在网络中扩散建立起源节点到目的节点的多条路径的路由表。利用蚁群算法的转移概率的方式来进行路径的选择,从而平衡网络中节点能量的消耗。该算法建立了所有到目的节点的路径,存在很大的冗余,影响网络的实时性,且在路由建立过程中采用洪泛的方式导致网络的路由开销比较大。参考文献[4]综合考虑了均衡传输能量消耗和节点剩余能量,提出了多种群蚁群优化路由算法 MACO(Multi Ant Colony Optimization)。该算法优化了基本蚁群算法的蚂蚁前向移动的选择概率模型,同时利用多种群获得多条优化路径。但该算法需要进行多次迭代,且可能陷入局部最优解,影响网络数据传输的实时性。

针对上述路由算法及其存在的不足,本文提出了基于蚁群算法的无线传感器网络按需多路节能路由算法 MP-ACA (On-demand Multi-path and Power-saving Ant Colony Algorithm)。该算法结合蚁群算法和 AODV 路由协议,能够在源节点和目的节点之间建立起多条链路不相关路由,并改善了蚁群算法在无线传感器网络中查找路由的多次迭代的策略,有效地减少了拥塞频率、降低了路由的开销,同时均衡了节点的能量开销,延长了网络的生命周期。

1 蚁群算法简介

1.1 基本蚁群算法原理

蚁群算法^[5]ACA(Ant Colony Algorithm)是一种模拟昆虫王国中蚂蚁群体智能行为的仿生优化算法,其基本原理可大致描述如下:自然界蚂蚁会在所经过的路径上释放一定的信息素,后来的蚂蚁会根据信息素强度来选择路径,信息素强度越大的路径被选择的概率越大,于是就形成了一种正反馈机制,最终蚂蚁会选择信息素最大的最短路径。蚁群算法通过释放“人工蚂蚁”来模拟自然蚂蚁的行为以完成上述的选优过程。

1.2 蚁群算法

根据蚂蚁觅食的基本原理,科学家们设计了寻找最优路径的蚁群算法,其主要步骤为:

(1) m 只蚂蚁随机从蚁穴出发寻觅食物。

(2) 蚂蚁在往返途中,在路上留下信息素标志。设 t 时刻在路径 (i, j) 上残留的信息素强度为 $\tau_{i,j}(t)$; 初始时刻各路径上信息素强度相同,且 $\tau_{i,j}(0) = C$, C 为常数。

(3) 由蚁穴出发的蚂蚁,根据各条路径上信息素强度决定转移方向,转移概率由以下公式定义:

$$p_{i,j}^k = \begin{cases} \frac{\tau(i,j) \times [\eta(i,j)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_k(i)} \tau(i,\mu) \times [\eta(i,\mu)]^\beta}, & j \in J_k(i) \\ 0, & j \notin J_k(i) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $p_{i,j}^k$ 是蚂蚁 k 由节点 i 转移到节点 j 时概率,其中 $k=1, 2, 3 \dots m$; $\tau(i,j)$ 是节点 i 到节点 j 的信息素强度; $\eta(i,j) = 1/d_{i,j}$, $d_{i,j}$ 是从节点 i 到节点 j 的距离; β 是寻路消耗和信息素相对重要程度的常数; $J_k(i)$ 是邻近节点位置的集合。

(4) 蚂蚁遇到食物,衔住食物,沿原路返回,同时按式(2)调整路径上的信息素。

$$\begin{aligned} \tau(i,j) &\leftarrow (1-\rho)\tau(i,j) + \rho\Delta\tau_k(i,j) \\ \Delta\tau_k(i,j) &= \begin{cases} 1/L_k & \text{如果}(i,j)\text{是走过的边} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

式中, ρ 是信息素挥发参数, L_k 是第 k 只蚂蚁在本次循环所走过的距离。

2 按需多路节能路由算法设计

针对无线传感器网络数据多跳传输、节点能量有限等特性,本文对基本蚁群算法和 MACO 算法进行改进,

《微型机与应用》2010年第29卷第15期

并结合 AODV 路由协议,赋予蚂蚁新的特性和路径搜索方式。下面介绍本文研究中使用的相关定义。

定义1:从源节点到目的节点的路径搜索蚂蚁称作前向蚂蚁,它执行路径搜索功能,并建立反向信息素表。

定义2:前向蚂蚁到达目的节点后,从目的节点返回到源节点的蚂蚁称作后向蚂蚁,它执行信息素更新功能,并建立路由表。

定义3:前向蚂蚁在路径搜索过程中,到达某一节点后建立的指向源节点的路由表称作反向信息素表,该表包括源节点、下一个节点、反向节点信息素 $\tau(j,i)$ 。

2.1 算法设计思想

MP-ACA 算法在 Ant-Net 算法^[6]的基础上,将蚂蚁分为前向蚂蚁和后向蚂蚁。为了实现不同节点的能量消耗均衡,MP-ACA 算法中,将前向蚂蚁要访问的节点的剩余能量作为影响信息素浓度的一个参数。MP-ACA 算法通过 m 只前向蚂蚁同时独立地进行路径搜索,并建立反向信息素表。当每个前向蚂蚁到达目的节点时,它们将立即转化成一个后向蚂蚁,后向蚂蚁根据反向信息素表反向回到源节点后一次路由建立完毕,建立起信息素路由表以代替传统的网络节点路由表,并采用一种新的信息素规则进行信息素更新。同时 MP-ACA 算法在极大-极小蚁群算法^[7]上将各条路径上的信息素浓度限制在 $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ 之间, τ_{\min} 可以有效地避免算法停滞, τ_{\max} 避免某条路径上的信息素远大于其他路径,使所有的蚂蚁都集中到同一条路径上面,限制算法的扩散。在 MP-ACA 算法中,前向蚂蚁转移规则、信息素更新规则详细设计如下。

2.2 前向蚂蚁转移规则

为了均衡网络中节点的能量消耗,MP-ACA 算法在蚁群算法的基础上,新加入两节点间的剩余能量因子改进前向蚂蚁转移规则。改进后的算法在蚂蚁寻找最短路径的同时受到了节点能量消耗的限制。MP-ACA 算法中处于节点 i 的蚂蚁 k 选择下一节点 j 进行访问的概率 $p_{i,j}^k$ 使用以下公式确定:

$$p_{i,j}^k = \begin{cases} \frac{\theta(i,j)_k \times [\eta(i,j)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_k(i)} \theta(i,\mu)_k \times [\eta(i,\mu)]^\beta} & j \in J_k(i) \\ 0 & j \notin J_k(i) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\theta(i,j)_k$ 是第 k 只蚂蚁所在节点 i 与节点 j 信息素强度与下一节点剩余能量的运算因子:

$$\theta(i,j)_k = \frac{\tau(i,j) \times W(j)}{\sum_{v \in J_k(i)} W(v)} \quad j \in J_k(i) \quad (4)$$

式中, $W(j)$ 是节点 j 的剩余能量; $J_k(i)$ 代表了位于节点 i 的前向蚂蚁 k 允许访问的邻居节点集合。在这里定义满足以下两个要求的节点 j 将会属于 $J_k(i)$: (1) 节点 j 还未被蚂蚁 k 访问; (2) 节点 j 比前一节点 i 距离目的节点更近,

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 75

且距离源节点更远。

MP-ACA 算法采用改进的转移规则,简化了 MACO 算法使得 MP-ACA 更适用于无线传感器网络。同时前向蚂蚁在寻找路径的同时受到了节点能量消耗的限制,平衡了节点的能量消耗。

2.3 信息素更新规则

如果节点 i, j 是前向蚂蚁 k 选择路径上的相邻节点,当每个前向蚂蚁到达目的节点时,它们将通过式(5)、式(6)来调节。对前向蚂蚁到达目的节点后立即转化成一个后向蚂蚁,并且它将沿着反向信息素表回到源节点。中间节点收到后向蚂蚁时,将按照式(5)、式(7)更新相邻节点信息素强度。

$$\tau(i, j) \leftarrow (1 - \rho)\tau(i, j) + \rho\Delta\tau_k(i, j) \quad (5)$$

前向蚂蚁信息素增量公式:

$$\Delta\tau_k(i, j) = C_1 \times E_j / d_{i, j} \quad (6)$$

后向蚂蚁信息素增量公式:

$$\Delta\tau_k(i, j) = C_2 \times E / h \quad (7)$$

式中, $\Delta\tau_k(i, j)$ 表示第 k 只蚂蚁留在路径 (i, j) 上的信息素强度; E_j 是节点 j 的当前能量; E 为前向蚂蚁搜索到的路径上的总能量; h 是寻找到的路径总跳数。

MP-ACA 算法改进了 MACO 算法信息素更新规则,可以加快搜索路径的速度,提高网络数据传输的实时性,同时更进一步平衡了网络节点的能量消耗。

2.4 MP-ACA 算法步骤

(1)初始化时, Sink 节点跳数设置为 0,其他节点跳数设置为 100。Sink 节点在全网范围内广播跳数广播报文,该报文包括数据包类型、距 Sink 节点跳数、剩余能量和源地址。该报文初始值为:跳数为 0,源地址为 0。中间节点收到该报文后,保存报文中节点的地址、跳数和能量状态。如果收到的报文中跳数小于节点自身的跳数,则将自身的跳数设置为报文中的跳数加 1,并转发自己新的跳数信息和能量信息的报文,否则不广播。节点在转发该报文的过程中收集、存储邻居节点相关信息,最终在全网内建立了到 Sink 节点的跳数信息。

(2)路径搜索初始时,赋予每条路径上相等数量的初始信息素 τ_0 ,本文设置为信息素浓度下限 τ_{min} 。

(3)路径搜索开始时, m 只前向蚂蚁从源节点 S 处出发,前向蚂蚁所要携带的信息有:源节点 ID 号、目的节点 ID 号、节点 i 到节点 j 的信息素强度 $\tau(i, j)$ 、经过节点的剩余能量的总和以及当前总跳数。

(4)位于节点 i 的前向蚂蚁 k ,依据转移规则从相邻的下一跳节点集合中选择一个节点,并根据式(5)、式(6)更新路径上信息素强度。

(5)当中间节点 j 收到来自邻居节点的蚂蚁节点时:
①更新前向蚂蚁搜索包跳数 $h(i) = h(i) + 1, i \in [1, m]$ 。如果前向蚂蚁没有到达目的节点,且 $h < h_{max}$,则转入下一步,否则丢弃该数据包;
②检查自己是否比节点 i 距离

目的节点更近,且距离源节点更远。若是,转入下一步,否则简单丢弃;
③然后检查是否已收到同一目的节点前向蚂蚁搜索包。若是,则此节点只接收最早到达而且信息素最大的前向蚂蚁搜索包,将其余的丢弃。当前向蚂蚁从节点 i 到达节点 j 后,根据前向蚂蚁所携带的信息值建立到源节点的反向点信息素表,跳转到第(4)步。

(6)当每个前向蚂蚁到达目的节点时,它们将立即转化成一个后向蚂蚁,并且它将沿着反向信息素表回到源节点。中间节点收到后向蚂蚁数据包时,按照式(5)、式(7)将更新相邻节点信息素强度,并建立到目的节点的路由表,路由表是一个三元组包括:目的节点、下一个节点、信息素。

(7)后向蚂蚁到达源节点后路由建立完毕。

2.5 网络的维护

在无线传感器网络中,节点的故障和能量的耗尽都将导致网络拓扑结构的变化,这使得路由维护显得十分重要。路由断路和节点能量的消耗是路由维护中必须解决的两个关键问题。

(1)路由断路。当中间节点发现路径不通或收到路由断路的消息后,它首先根据断路的路径信息删除自己对应的路由表条目,然后查询可能性路由表条目,看是否能找到到达同一目的地的其他路径。如果有,则根据路由表中信息素最大的条目作为最优的路径进行通信;如果没有到达对应目的地的可选路径后,即向其他节点继续发送路由断路消息。当源节点在通信完成前收到路由断路消息后,如果没有到目的地的其他路径,则将发起新的路径探索过程,直到通信完成。

(2)节点能量的消耗。为了不频繁地重建路由表,节省能量,MP-ACA 算法根据每个节点的剩余能量自动更新路由表,这样就使得节点的能耗尽可能保持平衡。节点能量每下降 10%,节点就会向周围节点广播自己的剩余能量,收到广播的节点用式(8)更新路由表:

$$\tau(i, j) \leftarrow \gamma\tau(i, j) \quad (8)$$

$$\gamma = \Delta E_j / E_j \quad (9)$$

式中 $\tau(i, j)$ 是节点 i 到节点 j 的信息素数量, γ 为调整参数, ΔE_j 为节点 j 的剩余能量, E_j 为节点 j 的初始能量。

3 仿真结果与分析

为了测试本文提出的多路径蚁群算法应用到无线传感器网络中的效果,利用 NS2^[8]网络仿真器将其性能与 MACO 和 ACA 算法进行了比较。场景配置如下:节点均匀分布在 200 m×200 m 的区域中,节点传输最大距离为 30 m,设置节点个数为 50 个,节点初始能量为 100 J,令网络中传输的所有数据帧(包括探测蚂蚁、兴趣消息)的大小为 64 B,数据分组大小为 512 B,仿真总时间为 300 s,三种蚁群算法中参数的设定均为 $\beta=2, \rho=0.5$ 。仿真次数为 20 次。探测数据每隔 60 s 发一次,数据分组发送率为 4 分组/s,约定传送每字节大小的信息需消耗

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 15 期

的能量为 0.005 J。

为了分析改进方案的性能,这里选用了以下 2 个典型参数:(1)接收到数据包的平均时延(End to End Average Delay),单位为 s;(2)能量不为零的节点数目(Number of Nodes)。

3.1 接收到数据包的平均时延

图 1 反映了三种算法网络传输数据的平均传输延时随时间的变化关系。由图可知,各算法的时延呈现先降后增的趋势,主要是由于网络刚建立时,节点需要建立路由表,然后时延呈下降趋势。网络运行一段时间后,由于网络中部分节点死亡,导致路由的重建,致使时延呈上升趋势。总的来说,MP-ACA 的平均传输延时要小于 MACO 和 ACA 的平均传输延迟,主要是因为 MACO 和 ACA 其路由是通过多次迭代而建立起来的,需要的时间长,从而增加了网络延时。

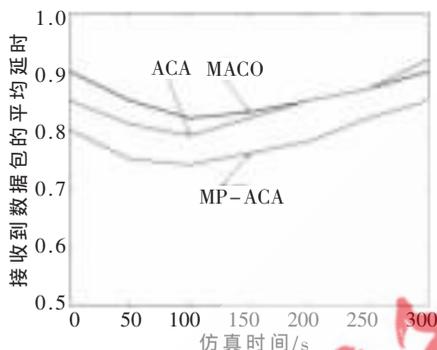


图 1 平均传输延时

3.2 能量不为零的节点数目

图 2 反映了三种算法在整个网络时间内能量不为零的节点数目随时间的变化关系。由图可知,节点一直

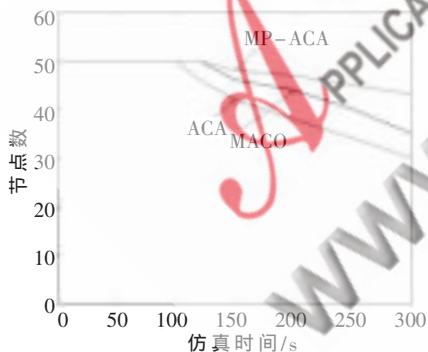


图 2 整个网络时间内能量不为零的节点数目

运行到 110 s 的时候,三种算法下有效的节点数目都为总的节点数目,但随着时间的推移,由于 ACA 算法没有考虑到节点剩余能量的情况,造成了某些节点耗能不均衡而过早的能量耗尽。与 MACO 算法相比,MP-ACA 由于减少了路由过程节点能量的消耗,性能有了一定的提高。

蚁群算法作为一种新的仿生优化算法,具有分布计算、信息正反馈和启发式搜索等特点。本文在对现有无线传感器网络蚁群改进路由算法的基础上,改进了现有路由算法路径搜索方式,很好地权衡了路由收敛速度与网络生命周期的相互制约关系。同时将其应用在无线传感器网络中进行路由选择,对于提高无线传感器网络的效率、延长网络的生存周期具有很高的应用价值。

参考文献

- [1] 李建中,李金宝,石胜飞.传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J].软件学报,2003,14(10):1717-1727.
- [2] 刘雯雯,马锐,许海滨.均衡无线传感器网络能耗的 AODV 改进方案[J].计算机工程,2008,34(22):143-147.
- [3] 梁华为,陈万明,李帅,等.一种无线传感器网络蚁群优化路由算法[J].传感器技术学报,2007,20(11):2450-2455.
- [4] 黎剑兵,郑巍.无线传感器网络多种群蚁群优化路由算法[J].计算机应用研究,2009,7(26):2686-2690.
- [5] GUNES M, SORGES U, BOUAZIZ I. IARA—the ant-colony based routing algorithm for MANETS [C]. International Conference on Parallel Processing Workshops(ICPPW'02). 2002:79-85.
- [6] KASSABALIDIS I, EL-SHARKAWI M A, MARKS R J. Swarm intelligence for routing in communication networks [J]. Global Telecommunications, 2001,6(6):3613-3617.
- [7] STUTZLE T, HOOSH H. Max-Min ant systems [J]. Future Generation Computer Systems, 2000,16(19):889-914.
- [8] 于斌,孙斌,温暖,等.NS2 与网络模拟[M].北京:人民邮电出版社,2007.

(收稿日期:2010-01-13)

作者简介:

朱程辉,男,1959 年生,副教授,硕士生导师,主要研究方向:自动控制技术及应用、模式识别技术及应用等。

叶福林,男,1982 年生,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。