

无线传感网络改进混合移动代理路由的研究

张丽虹

(淮海工学院计算机工程学院 江苏 连云港 222005)

[摘要] 移动代理路由的本质是一个多约束条件下的优化问题,针对遗传算法快速随机的全局搜索能力,但对于系统中反馈信息却无法利用、求精确解效率低的问题,本文提出了一种遗传蚁群混合算法的 WSN 移动代理路由方法.利用遗传算法快速随机的全局搜索能力找到较优解,将较优解代换成蚁群算法的初始信息素,最后采用蚁群算法收敛速度的优点,找到移动代理路由全局最优解.仿真结果表明,该算法能在较短的时间找到最优移动代理路由,相对于其他的路由算法,减少了网络延时和平均能量消耗,提高了数据传输的速度和效率.

[关键词] 路由算法,遗传算法,蚁群算法,无线传感器网络,移动代理

[中图分类号]TP393 [文献标志码]A [文章编号]1001-4616(2012)04-0145-05

Study on Improved Hybrid Mobile Agent Routing in Wireless Sensor Networks

Zhang Lihong

(School of Computer Engineering ,Huaihai Institute of Technology ,Lianyungang 222005 ,China)

Abstract: The mobile agent route is essentially a multi-constraint optimization problem. Genetic Algorithms has fast random global search ability, but the feedback information of the system does not use and has the problem of low efficiency to find exact solutions. So this paper proposes a genetic hybrid ant colony algorithm for WSN mobile agent route. Using the fast random global search capabilities of genetic algorithm to find better solutions, then the better solution replaced by the initial pheromone of the ant colony algorithm, finally using the advantages of convergence speed of ant colony algorithm to find the global optimal solution for mobile agent route. Simulation result shows that the algorithm can find optimal mobile agent route in a relatively short time, relative to other routing algorithms, reducing network latency and average energy consumption, improving the speed and efficiency of data transfer.

Key words: routing algorithm, GA, ACA, wireless sensor network, mobile agent

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由大量的无线传感节点组成,能够协作地实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或监测对象的信息,并对这些信息进行处理,传送给需要这些信息的用户^[1-2],以完成传统计算机网络难以完成的各种艰难任务.无线传感器节点受到体积和成本的限制,其电池能量、存储空间和通信带宽都是有限的,因此通常采用部署大量冗余节点协同解决上述问题,但是大量的节点数据传输和汇集成为 WSN 研究的热点和难点,因此如何设计性能优异的路由算法已经成为 WSN 研究中的重要课题^[3].

目前无线传感器路由算法主要基于传统的 Client/Server(C/S)模型. C/S 模型存在网络延迟时间长,节点能耗不均衡,能量消耗大,节点扩展性差等缺陷^[4]. 针对上述问题,文献^[5]提出基于移动代理(Mobile Agent, MA)的 WSN 路由算法,部分解决了 C/S 模型存在的不足. 在全局最近优先(Global Local Closest First, GCF)和局部最近优先(Local Closest First, LCF)^[6]算法中解决了小规模部署的传感器网络中的路由问题,但对大规模节点的 WSN,性能不稳定. 遗传算法(Genetic Algorithm, GA)^[7]和自适应遗传算法(Adaptive Genetic Algorithm, AGA)^[8]存在局部极优、收敛速度慢等缺陷,尤其对于动态、大规模 WSN,自适应能

收稿日期:2012-07-10.

基金项目:江苏省高校科研成果产业化推进项目(JHB2012-61).

通讯联系人:张丽虹,硕士,讲师,研究方向:计算机网络,信息安全,无线传感网络. E-mail: zlh2341@126.com

力较差,不能很好地解决无线传感器实时、动态变化的情况.蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA)^[9]是一种新型的模拟进化算法,重点始于组合优化问题的求解,它具有较强的搜索能力、很好的适应性和鲁棒性等.但是,基本蚁群算法性能受初始信息素分布的影响,传统初始信息素极易使ACA陷入局部最优,存在收敛速度较慢、容易出现停滞、不适应大规模优化的问题.

针对遗传算法和蚁群算法在无线传感器移动代理路由优化应用中存在的不足,本文将2种算法融合在一起,利用遗传算法全局搜索能力和蚁群算法收敛速度快的优点,提出一种遗传蚁群算法的无线传感器移动代理路由算法,从而快速地找到一条新的最优路径方法,并通过仿真实验对算法性能进行测试.

1 移动代理路由问题

在无线传感器网络中,一般包括:汇聚节点(Sink)、传感器节点和通信网络.网络的大部分能耗体现在迁移路径当中,是移动代理路由要解决的问题. MA从Sink出发,根据当前网络状态,决策MA的最优路由,经最优路由序列访问传感器节点,最终回到Sink节点.由此可以看出基于移动代理路由的问题其实就是一个路径优化问题.移动路由策略的设计原则就是要求在网络中寻求最佳迁移路线,使得网络延迟和网络能耗尽可能的小.本文只研究单Sink的情况.

1.1 移动代理的网络结构

通常在WSN节点中均固化一段能够自动执行的特殊程序代码,也即移动代理路由代码,其包含带有处理节点分派的任务.在自动组网完成后,移动代理在处理节点形成,被分派到WSN中,其能自动地根据网络的状态从一个无线传感器节点迁移到另一个无线传感器节点,并在无线传感器节点上进行数据处理.网络模型如图1所示.

假设无线传感网络为有向图,用 $G=(V, S)$ 表示,其中 V 表示WSN节点集合: $V=(v_1, v_2, \dots, v_m)$, S 表示传感器节点连接的序列集合: $S=(v_{ij})$,移动代理可以访问的路径 L_{st} 表示为 $L_{st}=\{L_{st1}, L_{st2}, \dots, L_{stk}\}$.

1.2 WSN移动代理的目标函数

移动代理路由在图1结构中迁移,依次收集节点数据进行融合处理,需要解决延迟时间和能量损耗的问题,而这两者需要平衡处理^[10].能量最少的可行路径可表示为:

$$\begin{cases} \min \sum_{(v_i, v_j) \in S, i \neq j} E_{ij} X_{ij}, \\ \min \sum_{(v_i, v_j) \in S, i \neq j} t_{ij} X_{ij}. \end{cases} \quad (1)$$

其中 E_{ij} 表示 v_i 到 v_j 的能量消耗, t_{ij} 表示延迟时间,即从节点 v_i 迁移到节点 v_j 的时间, t_{ij} 表示为:

$$\begin{cases} t_{12} = \frac{d_0 + \Delta d_1}{\overline{DS}_{12}}, \\ t_{23} = \frac{d_0 + \Delta d_1 + \Delta d_2}{\overline{DS}_{23}}, \\ \vdots \\ t_{m-1, m} = \frac{d_0 + \Delta d_1 + \dots + \Delta d_{m-1}}{\overline{DS}_{m-1, m}}. \end{cases} \quad (2)$$

延迟时间与节点携带数据量和网络的传输速度有关,式中 d_0 表示Sink节点的初始数据量, Δd_m 表示节点 m 增加的数据量, \overline{DS} 表示WSN中数据的平均传输速度.那么,基于图1的移动代理路由 R 的路径 L_{st} 遍历 n 个节点所需要的总时间为:

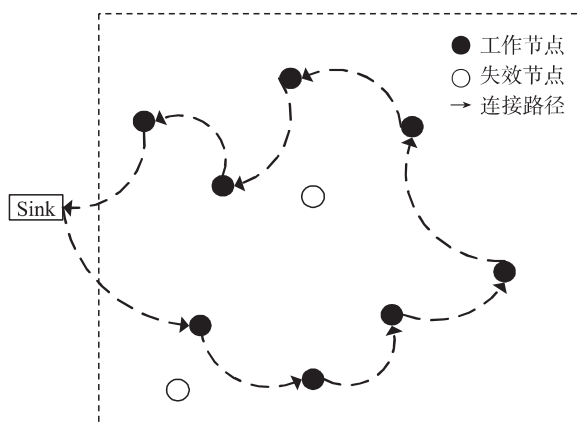


图1 WSN移动代理系统模型

Fig.1 WSN mobile agent system model

$$TD(R) = \sum_{i=1}^n \frac{d_0 + \sum_{j=1}^i \Delta d_j}{DS_{i,j+1}}. \quad (3)$$

移动代理节点的能量损耗不考虑空闲监听能耗, 那么能量损耗与节点的距离和节点需要传送的数据量有关, 节点 v_i 迁移到节点 v_j 的代价为:

$$a_{ij} = \begin{cases} (b_1 + b_2 d_{ij}^\alpha) \beta + b_3 \cdot \beta, & d_{ij} \leq R_{\max}; \\ \infty & d_{ij} > R_{\max}. \end{cases} \quad (4)$$

式中 b_1, b_2, b_3 为传感器各节点所配发射装置相关的常量, α 为传输路径衰减因子, 通常在 2 ~ 4 之间选取, β 为信息增益, d_{ij} 为节点 i 到节点 j 的传输距离, R_{\max} 为任意两节点之间的最大传输距离, 超过此距离则不可达. 所以在路由 R 中, 迁移所消耗的能量可以表示为:

$$Ew(R) = \sum_{(v_i, v_j) \in R \setminus \{i \neq j\}} E_{ij} = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\left(d_0 + \sum_{j=1}^i \Delta d_j \right) (d_{ij}^\alpha + 1) \right]. \quad (5)$$

2 改进 WSN 移动代理路由

移动代理路由在 WSN 中执行信息传递任务, 由 Sink 节点出发, 到达目标节点, 所携带的节点信息和事件由目标节点负责收集并分发到下一个节点, 此过程需要在已规划好的最佳路径上进行, 因此迁移路径是移动代理设计的关键.

本文首先采用遗传算法选取合适的染色体编码, 进行交叉、变异等操作, 选择合适的 WSN 移动代理路由, 将较优解代换成蚁群算法的初始信息素, 最后采用蚁群算法收敛速度快的优点, 找到移动代理路由全局最优解.

2.1 遗传算法路由选择

标准遗传算法是一种自适应全局优化概率搜索算法, 它和其他启发式搜索方法一样, 都是一种迭代方法, 具有简单通用、鲁棒性强等显著特点. 但是容易出现进化过程早熟现象, 使迭代提早结束, 所以需要对这些问题进行改进, 修改其中的选择、交叉和变异等关键遗传操作.

2.1.1 遗传编码

为便于在 WSN 中迁移, 寻找任意可行路径 L_{st} , 本文采用自然数编码机制, 每一个基因位对应 WSN 中的一个传感器节点, 按节点信息传递顺序排列设置染色体. 例如 L_{st} 中有一条路径编码为 {134526879}, 表示路径 1 → 3 → 4 → 5 → 2 → 6 → 8 → 7 → 9. 如一条路径编码为 {134579000}, 则表示路径经过 9 个节点, 其中 6 个是有效节点, 采用此方式有利于后续遗传的交叉和变异^[11].

2.1.2 目标函数

初始种群一般采用轮盘赌的选择方式, 但是与期望值之间存在一定误差, 本文采用期望值选择法和择优选择法结合方式, 根据概率

$$P_c = TD(x_c) / \sum TD(x_i). \quad (6)$$

式中 $TD(x_c)$ 为染色体适应度, 然后计算 $e_i = P_c \cdot m$. 将第 i 条染色体复制 e_i 的整数部分放入匹配集中, 直到满足个数, 确保不会陷入局部最优解. 然后进行择优选择, 经过期望值选择出的染色体放入匹配集中, 淘汰低适应度的染色体. 结合能量函数 $Ew(R)$, 其目标函数可用公式计算:

$$f(p) = \frac{1}{TD(p)} + \frac{1}{Ew(p)}. \quad (7)$$

通过式 (7), 可以得出算法的最优解是以时间延迟和能量损耗 2 个方面为依据, 得到的 $f(p)$ 值是在网络延迟最小和能耗最小情况下选择的种群, 也就是移动代理迁移路径适应度最大.

2.1.3 遗传运算

遗传运算主要完成交叉和变异操作, 该操作将直接影响算法的收敛速度. 交叉操作可以有单点、两点、多点 and 均匀交叉, 单点交叉可根据长度选择染色体, 随机产生一个交叉位置, 在交叉中如出现环路, 消除重复基因即可, 这样可以产生一个新的路径. 染色体的变异操作把上述产生的路径作为基因块, 将 2 个传感

器节点的路径用其他路径替代,可以采用即 $1 \rightarrow 0$ 或 $0 \rightarrow 1$ 操作,同时在进化过程中,对适应度值小于平均适应度值的个体进行淘汰,并引入新的个体,这样可以保持种群的多样性.如经过交叉的染色体{1436579},假设{3657}产生变异,变异后的形式为{3 X 7},其中{3657}和{3257}就是变异后结果.如果变异产生环路,可以用前面的方法,去除重复基因(节点)方式消除.

2.2 蚁群算法改进

针对无线传感网络中移动代理路由的需要,对基本蚁群算法进行改进.

2.2.1 蚁群信息素初始化

遗传算法搜索得到 n 条较优路径后,将这些路径信息转换为人工蚂蚁的初始信息素,具体初始化规则如下:

$$\tau_{rs}(0) = (1-a)\tau_{rs}(0) + \tau_{rs}/s_n \quad 0 < a < 1. \quad (8)$$

式中 $\tau_{rs}(0)$ 表示初始信息素分布, n 表示较优路径条数, s_n 表示路径优劣程度.

通过式(8)初始化,当移动代理迁移代价最小时,初始信息素分布相对越大,从而提高了蚂蚁在最优路径附近的寻优能力.

2.2.2 蚁群寻优过程

蚁群算法中的人工蚂蚁通过 $TRk(k=1,2,\dots,m)$ 记录蚂蚁 k 当前所走过的路径,称为记忆列表.集合 TRk 随着进化过程作动态调整.根据Marco Dorigo在文献^[12]中提出的Ant cycle system(ACS)模型计算 τ_{rs} ,并对参数进行优化,可以看出信息素的更新倾向于给短的路径释放更多的信息素,从而形成一个信息的正反馈机制.在一定程度上这种更新类似于增强学习算法.

蚂蚁 K 从节点 v_i 爬行迁移到节点 v_j 路径选择概率按下列公式来计算确定:

$$\varphi(i,j,t) = \frac{\tau(i,j,t)\eta(i,j,t_j)}{\sum \tau(i,j,t)\eta(i,j,t_j)}. \quad (9)$$

式中 t_j 为当前时刻, $\eta(i,j,t_j)$ 为 t_j 时刻结点上的信息能见度, $\tau(i,j,t_j)$ 为 t_j 时刻结点 v_i 上遗留的信息量, $\eta(i,j,t_j)$ 按式(10)确定:

$$\eta(i,j,t_j) = \frac{10 - |j - j^*|}{10}. \quad (10)$$

式中 j^* 为当前最优路径对应的各节点可能寻找的方向.

结点信息更新:所有蚂蚁完成一次爬行后,则各结点信息量按式(11)更新:

$$\tau(i,j,t_j) = (1-\rho)\tau(i,j,t_j) + \Delta\tau(i,j,t_j). \quad (11)$$

其中 ρ 为信息量挥发系数, $1-\rho$ 表示信息量残留系数, $\Delta\tau(i,j,t_j)$ 为 t_j 时刻的结点 (i,j) 的信息量的增量,依ACS模型按式(12)确定.

$$\Delta\tau(i,j,t_j) = \begin{cases} Q/W_k & \text{Ant only after the first } k(i,j) \\ 0 & \text{Section } k \text{ of ants without } k(i,j). \end{cases} \quad (12)$$

式中 W_k 为第 k 只蚂蚁在本次循环所走的路径长度, Q 为信息量强度.

进入下一次循环,直到完成迭代得到最优解.通过信息素的调整,最优移动代理路径上的信息素强度不断加大,更有利于蚂蚁在较优解附近搜寻.该算法的工作流程如图2所示.

3 仿真结果与分析

在本章通过仿真实验验证本文提出的算法的有效性,与遗传算法GA和蚁群算法ACA进行比较,假设WSN部署在一个矩形区域,其中有100个传感器节点,节点随机分布在一个 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 内,所有节点的初始能量相同,都为100个能量单位,节点的通信半径为30 m,在Matlab平台实现.

本文算法G-ACA和GA、ACA找到WSN最优移动

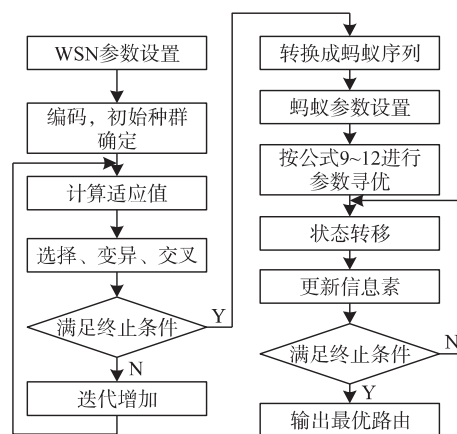


图2 移动代理路由算法流程

Fig.2 The mobile agent routing algorithm process

代理路由的代数如图 3 所示. 遗传算法 GA 在 500 代时找到最优解, 蚁群算法 ACA 在 460 代时找到最优解, 而本文算法在 240 代时就可以找到最优解, 大大提高了 WSN 移动代理路由算法的计算效率.

本文算法和 GA、ACA 的移动代理路由算法的平均网络延时变化如图 4 所示.

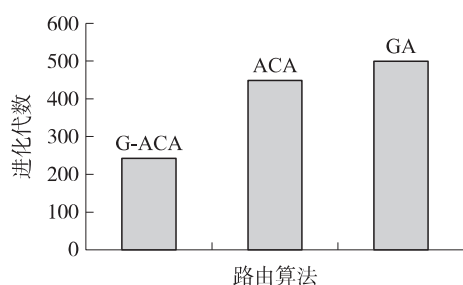


图 3 进化代数比较

Fig. 3 Comparison of the evolution algebra

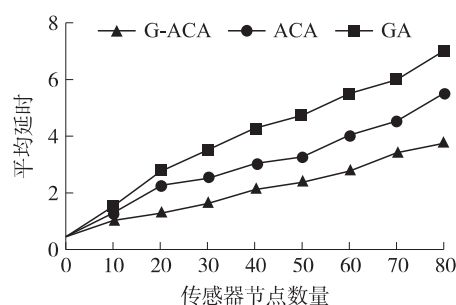


图 4 网络平均延时比较

Fig. 4 Comparison of the average network delay

从图中可知, 本文算法平均网络延时变化较小, 加快了网络移动代理路由的收敛速度, 提高了数据传输率, 减少了网络延时.

4 结束语

本研究提出了一种结合遗传算法和蚁群算法的无线传感网络移动代理路由的算法 (G-ACA), 利用该算法中的遗传算法解决全局优化概率搜索问题, 然后利用蚁群算法在较优解附近搜寻, 避免遗传算法过早进入收敛. 在仿真实验中, 与传统遗传算法 (GA) 和蚁群算法 (ACA) 作了性能比较, 结果证明了 G-ACA 算法的有效性, 减少了移动代理在网络中迁移带来的能量消耗和网络延时, 对无线传感网络应用系统的运行效率起到了优化作用.

[参考文献]

- [1] Tilak S, Abu Ghazaleh N B, Heinzelman W. A taxonomy of wireless micro sensor network models [J]. Mobile Computing and Communications Review, 2002, 1(2): 1-8.
- [2] 于飞, 郭静, 胡继珍. 一种无线传感器网络路由协议的研究与仿真 [J]. 青岛科技大学学报: 自然科学版, 2011, 32(1): 95-99.
- [3] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络 [J]. 软件学报, 2011, 14(7): 1282-1291.
- [4] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展 [J]. 计算机研究与发展, 2009, 42(1): 163-174.
- [5] Qi H, Jyengar S S, Chakrabarty K. Multi-resolution data integration using mobile agents in distributed sensor networks [J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, 2001, 31(3): 383-291.
- [6] 郑巍, 刘三阳, 寇晓丽. 动态传感器网络移动代理路由算法 [J]. 控制与决策, 2010, 25(7): 1035-1039.
- [7] 胡建理, 周斌, 吴泉源, 等. ICA: 一种基于混合智能算法的移动 Agent 路由算法 [J]. 小型微型计算机系统, 2010(2): 348-354.
- [8] 徐云剑, 彭沛夫, 郭艾寅, 等. 基于改进蚁群算法的 WSN 移动代理路由算法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(4): 126-130.
- [9] 姚永杰, 席庆彪, 刘慧霞. 基于改进遗传蚁群算法的无人机航路规划 [J]. 计算机仿真, 2011, 28(6): 44-48.
- [10] 方旺盛, 黎飞龙. WSN 中基于改进自适应遗传算法的移动代理路由算法 [J]. 计算机与数字工程, 2010, 38(12): 4-7.
- [11] Peotta L, Vanderghyest P. Matching pursuit with block incoherent dictionaries [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2007, 55(9): 4549-4557.
- [12] Corlomi A, Dorigo M, Maniezzo V, et al. Ant system for job-shop scheduling [J]. Belgian J Opera Res Statistic Compute Sci, 1994, 34(1): 34-53.

[责任编辑: 黄 敏]