

基于 WSN 目标跟踪的移动 Agent 路由算法

白星振^{1,2}, 李晓梅², 吴娜²

(1. 同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804; 2. 山东科技大学信息与电气工程学院, 青岛 266510)

摘要:设计一种基于无线传感器网络目标跟踪的移动 Agent 路由算法 OSER。基于传感节点对目标信息的感知强度和节点的剩余能量确定 Agent 的目标跟踪路径, 在有效相邻节点间建立局部网络拓扑, 选择能量度最大的有效邻节点作为 Agent 的下一迁移节点, 依次形成最优路由。实验结果表明, OSER 能量消耗和传输延迟较小, 有利于维持网络的稳定性和延长网络的生命期, 提高目标跟踪效率。

关键词:无线传感器网络; 移动 Agent; 能量度; 路由

Mobile Agent Route Algorithm Based on Object Tracking in WSN

BAI Xing-zhen^{1,2}, LI Xiao-mei², WU Na²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804;

2. College of Information and Electrical Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510)

【Abstract】The mobile Agent routes algorithm based on object-sensing, named OSER, in Wireless Sensor Networks(WSN) is designed in this paper, which is based on the sensing degree of the objective information and remaining energy of the sensor nodes. In the design of the best static route nodes list, the nodes sense their energy degree information and the local network topology are founded among effective neighbour nodes. The neighbour node, which energy degree is best among other neighbour nodes, is selected as the next node for Agent to move. Mobile Agent moves along the nodes list, proceeding information fusion. The analysis of the algorithm indicates that the energy consumption of OSER is less, and its energy consumption equilibrium is well, which is good for keeping stability and prolonging the life of the WSN.

【Key words】Wireless Sensor Network(WSN); mobile Agent; energy degree; route

1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由大量具有无线通信与计算能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统, 能根据环境自主完成指定任务, 在军事、民用和工业生产等领域具有广阔的应用前景, 是当前的研究热点之一^[1-5]。它采用“以数量换质量”的思想, 通过部署数量众多的传感器来组建传感器网络, 以冗余来提高传感器信息感知的精度。然而大规模密集部署产生的冗余信息容易使网路发生拥塞, 消耗大量的节点能量, 并造成延迟, 严重影响网络的稳定性和生命期。

无线传感器网络的数据融合删除冗余、无效和可信度较差的数据, 减少网络的数据传输数量, 从而减少能量消耗。目前, 传感器网络的数据融合算法主要基于传统 C/S(Client/Server)模型^[3,6]。随着网络节点数量的增加, 生命 C/S 模型的网络延迟和能量消耗大, 且节点能量消耗均衡性差。基于移动代理(Mobile Agent, MA)的传感器网络数据融合模型在一定程度上解决了 C/S 模型所带来的问题^[7-12]。移动代理是一能访问路径预设节点, 并对节点数据进行处理的特殊软件模块, 主要包括代理标识、执行代码、访问路径和数据空间 4 个部分。处理节点生成移动代理后, 被分派到传感器网络中, 它能自动地从一个传感节点迁移到另一个传感节点, 并利用携带的信息集成算法在传感节点上进行信息集成, 途中进行动态路由规划, 访问完有效节点后返回处理节点。

在数据融合的过程中, 移动代理访问的节点数和节点的顺序, 即移动 Agent 路由对网络的性能有很大的影响。移动

Agent 路由是一动态最优路由, 其算法是一个 NP 完全问题^[13]。移动 Agent 路由要求以最小系统代价满足应用所需性能, 沿最优路由对有效节点进行数据融合, 避免对大量非有效节点的访问, 减少网络节点能量消耗和延时, 提高目标跟踪的效率。

目前多数移动 Agent 路由算法都是基于静态路由上的动态路由优化方法。移动 Agent 在静态路由规划后派遣, Agent 在迁移中动态优化路由^[13]。处理节点首先依据全局信息计算出移动代理的初始路由, 当网络拓扑发生变化时, 处理节点重新收集信息以计算路由并传送到移动代理。显然, 网络规模增大将耗费大量的能量。此外, 在大规模的传感器网络中, 由于传感器节点失效等意外因素影响网络拓扑变化, 因此要重新路由计算, 这将消耗大量能量, 又影响网络的稳定性。

本文提出基于目标感知节点能量度的路由方案, 在 Agent 迁移过程中, 根据节点感知跟踪目标信息的强度和节点剩余能量来选择有效访问节点, 避免了 Agent 路由规划及网络拓扑变化时路由重复规划的能量消耗。

2 基于目标感知节点能量度的路由算法

移动 Agent 路由确定 Agent 在网络迁移中的待访问节点集及先后顺序。根据节点所在局部网络拓扑中各待访问节点

基金项目:上海市国际科技合作基金资助项目(075107005); 山东科技大学“春雷计划”基金资助项目(2008BWZ047)

作者简介:白星振(1977 -), 男, 讲师、博士研究生, 主研方向: 无线传感器网络的信息融合; 李晓梅, 副教授; 吴娜, 讲师、硕士

收稿日期:2008-09-08 **E-mail:** xzbai@163.com

的能量度信息(即节点的有效性信息)选择 Agent 访问的节点, 仅依赖 Agent 迁移过程中局部网络信息。

2.1 移动 Agent 路由算法

2.1.1 相关定义

定义 1(节点能量度) 节点能量度考虑节点目标信息感知强度和节点的剩余能量, 使 Agent 沿着剩余能量超过阈值(保证节点工作的可靠能量供给), 且离目标较近的节点迁移(保证感知目标信息的精度), 以完成 Agent 局部目标信息融合。

传感节点 i 的能量度为 $E_i(t) = p \cdot e_i^\alpha(t) R_i^\beta(t)$, 其中, $e_i(t)$ 为节点 i 感知目标信息强度; $R_i(t)$ 为节点 i 的剩余能量标识。若 $(E_{remaining}/E_{initial}) \times 10^2 > \delta$ (δ 为节点能量阈值), 则 $R_i=1$, 否则, $R_i=0$ 。

定义 2(有效节点) 当节点 i 的能量度 $E_i(t) > 0$ 时, 节点 i 在 t 时刻为有效节点。

定义 3(局部网络拓扑) $T(i, t)$ 是有效节点 i 的有效邻居节点 $j(j=1, 2, \dots, m)$ 在 t 时刻组成有效节点 i 的局部网络拓扑。

2.1.2 节点能量信息表设计

Agent 路由节点选择要根据节点的能量度信息, 在 Agent 访问前由节点初始化完成, 其主要因素有: 传感节点 ID, 节点目标信息感知强度, 节点剩余能量, 节点能量度等信息。每个节点生成 3 个信息表: 节点基本信息表, 邻节点能量信息表和局部拓扑节点信息表, 由节点构建局部网络拓扑时生成。节点实时感知目标信息, 生成节点基本信息表, 并向邻节点广播; 邻节点能量表记录邻居节点的能量度等信息, 局部拓扑节点信息表为有效邻节点构成的局部网络拓扑节点的能量度信息。

(1) 节点基本信息表 $NEIT(i, t)$ 如图 1 所示。

NID	POS	TIM	NEL	$NERE$	$NEST$	NET	AID
-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	-------

图 1 节点基本信息表 $NEIT(i, t)$

其中, NID 表示节点的编号; POS 表示节点的位置; TIM 表示节点信息时间戳; NEL 表示节点检测到的目标信号强度; $NERE$ 表示表示节点剩余能量 $E_{remaining}$; $NEST$ 表示节点能量度; NET 表示节点剩余能量阈值 E_{th} ; AID 表示有效节点标识, 1 为有效节点, 0 为无效节点。

(2) 邻节点能量信息表 $ABET(i, t)$ 如图 2 所示。

1	2	...	m
$BNID_1$	$BNID_2$...	$BNID_m$
POS_1	POS_2	...	POS_m
E_1	E_2	...	E_m

图 2 邻节点能量信息表 $ABET(i, t)$

其中, $BNID_j$ 为节点 i 的邻节点编号; POS_j 为邻节点的位置; $E_j(j=1, 2, \dots, m)$ 为节点 i 的邻节点 j 的能量度, $E_j = p \cdot e_j^\alpha R_j^\beta$, e_j 表示节点 j 的目标信号感知强度, R_j 表示节点 j 的剩余能量。

(3) 局部拓扑节点信息表 $RCIT(i, t)$ 如图 3 所示。

1	2	...	l
TND_1	TND_2	...	TND_l
E_1	E_2	...	E_l
e_{i1}	e_{i2}	...	e_{il}

图 3 局部拓扑节点信息表 $RCIT(i, t)$

其中, TND_j 表示节点 i 的有效邻节点编号; e_{ij} 表示移动 Agent 从节点 i 迁移到邻节点 j 间的路由耗能^[14], 定义为

$$e_{ij} = 2E_{elec} \times k_{MA} + \epsilon_{amp} \times k_{MA} \times d_{ij}^\beta$$

其中, k_{MA} 为移动代理所携带信息位数, 包括移动代理本身代码长度和携带的数据量。

2.1.3 有效邻节点局部拓扑生成(LTPA)

传感器节点实时感知跟踪目标信息, 并及时更新节点基本信息表, 能量度大于 0, 则为有效节点。节点向邻节点广播能量信息并接收邻居节点的能量信息, 生成邻节点能量表, 并与有效邻节点构建局部网络拓扑, 为 Agent 路由节点的选择创造条件。算法描述如下:

Step1 WSN 中的所有节点 $i(i=1, 2, \dots, n)$ 实时感知跟踪目标信息, 并更新节点基本信息表, 若 $NEIT(i, t).NEST > 0$, 则节点为有效节点; 若 $NEIT(i, t).NEST = 0$, 则节点为无效节点。

Step2 更新邻节点能量表 $ABET(i, t)$, 节点 i 向邻节点广播节点能量度信息, 并接收更新邻居节点 $j(j=1, 2, \dots, m)$ 能量度信息。

Step3 生成节点 i 与有效邻节点 j 的局部网络拓扑 $T(i, t)$ 。若 $E_j > 0$, 则 j 为有效节点, 其能量信息填入节点 i 的局部拓扑信息表, 并计算 Agent 迁移路由耗能 e_{ij} ; 若 $E_j = 0$, 则 j 为无效节点, 不能作为拓扑网络节点。

移动 Agent 路由规划如图 4 所示。

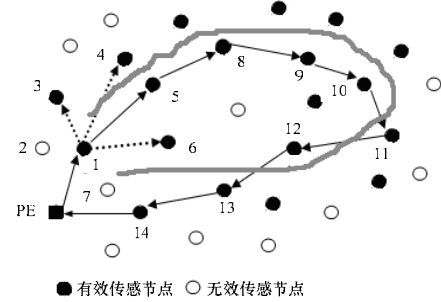


图 4 移动 Agent 路由规划

其中, 曲线表示跟踪目标运动轨迹; 实心圆圈表示有效节点; 空心圆圈表示无效节点。有效节点 1 的邻节点为 2, 3, 4, 5, 6, 7, 节点 2, 7 的能量度为 0, 为无效节点, 并生成节点 1 的局部网络拓扑(拓扑节点为 3, 4, 5, 6)。

2.1.4 Agent 路由节点选择与迁移(ARSA)

移动 Agent 动态选择有效节点迁移, 实时跟踪目标, 在有效节点进行目标信息融合。移动 Agent 在有效邻节点局部网络拓扑中, 选择能量度最大的邻节点为其在此有效节点的下一访问节点, 从处理节点(PE)开始, 依次选择 Agent 访问的有效节点, 构成路由节点序列, 即移动 Agent 的规划路径。算法描述如下:

Step1 假设 t 时刻 Agent 跟踪目标移动到节点 i , Agent 进行目标信息融合。

Step2 在有效节点 i 的局部网络拓扑中, 选择能量度最大的邻居节点作为下一路由节点。

Step3 若有效邻节点的能量度相等, 则选择路由耗能 e_{ij} 最小的节点作为下一路由节点。

从处理节点出发, Agent 实时跟踪目标迁移, 依次形成移动 Agent 迁移节点序列 L_{sb} , 即规划路径。

设图 2 中节点 1 的有效邻节点的能量度 $E_j, j=3, 4, 5, 6$ 中, E_5 最大, 选取有效邻居节点 5 作为 Agent 在节点 1 的下一访

问节点,依次推之,则其目标跟踪生成的 Agent 最优路由 L_{sb} 为 $PE \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow PE$ 。

3 网络性能分析

3.1 能耗分析

基于目标信息感知节点能量度路由算法的网络能量消耗主要有构建局部网络拓扑耗能及 Agent 迁移耗能(包括 Agent 在有效节点进行信息融合的耗能)。网络消耗的能量为

$$E_{tot} = E_{LTPA} + E_{ARSA}$$

其中, E_{LTPA} 为构建局部网络拓扑耗能; E_{ARSA} 为 Agent 迁移耗能。

对有效传感节点 $i(1 \leq i \leq n)$ 而言,忽略节点基本信息感知与计算能量消耗, $E_{LTPA} = E_{NEIT}$, E_{NEIT} 为邻节点间传送点能量信息的耗能。

$$E_{LTPA} = \sum_{i=1}^n E_{LTPA}(i) = \sum_{i=1}^n E_{NEIT}(i)$$

若节点 i 有 j 个相邻节点, $j = m$, 则

$$E_{LTPA}(i) = \sum_{j=1}^m E_{NEIT}(i, j)$$

$$E_{NEIT}(i, j) = 2E_{elec} \times k_{NEIT} + \varepsilon_{amp} \times k_{NEIT} \times d_{ij}^2$$

Agent 迁移耗能为

$$E_{ARSA} = E_{MA} + E_{MAFU}$$

其中, E_{MA} 为有效邻节点间传送移动代理的耗能; E_{MAFU} 为移动 Agent 在有效节点进行信息融合的耗能,与通信耗能相比很小,本文不予考虑。

设路由 L_{sb} 的有效感知节点数为 k , 节点序列为 $\{N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_k\}$, 则

$$E_{ARSA} = \sum_{i=N_1}^{N_k} E_{ARSA}(N_i) = \sum_{i=N_1}^{N_k} E_{MA}(N_i) + E_{MAFU}(N_i)$$

$$E_{MA}(N_i) = 2E_{elec} \times k_{MA} + \varepsilon_{amp} \times k_{MA} \times d_{N_i}^2$$

其中, k_{MA} 为移动代理携带信息位数(括代理本身代码长度和所携带的融合数据量) d_{ij} 为邻节点间的距离; $\varepsilon_{amp} = 100 \text{ pJ}/(\text{b} \cdot \text{m}^2)$; $E_{elec} = 50 \text{ nJ}/(\text{b} \cdot \text{m})$ 。

在基于节点能量度的路由方案中,路由规划在有效节点的局部网络拓扑中选择路由节点,减少大面积泛洪及路由重复规划的能耗。与 C/S 模式不同的是移动 Agent 携带融合数据访问最优路由由节点序列进行目标信息融合,无须遍历所有节点,并剔除冗余信息,减少了通信的数据量,降低了网络通信的耗能和延时。

3.2 实验分析

在本实验中,设传感器节点总数为 1 200,部署在 400×400 的矩形区域中,为便于计算,设 $p=1$, $\alpha=1$, $\beta=1$, $\delta=10$, 移动 Agent 携带的信息量为 1 Kb。为进一步说明本文算法的优越性,在相同的目标跟踪任务下,比较 OSER 算法与 LCF 算法、C/S 模式的能量消耗和延迟。

随着检测目标信息的增多,3 种算法的能耗都会增大。对 C/S 模式而言,有效节点同时向处理节点输送大量冗余信息,会消耗大量的网络能量,增长的幅度较大。图 5 为在固定的网络部署下,随着时间变化,经过多轮目标信息检测任务后各算法的网络能量消耗。

在 OSER 算法中,移动 Agent 在感知目标信息能量度较大的节点中选择路由节点,避免访问所有节点,减少了通信带宽,降低了网络通信的耗能,能量消耗增长幅度较小。

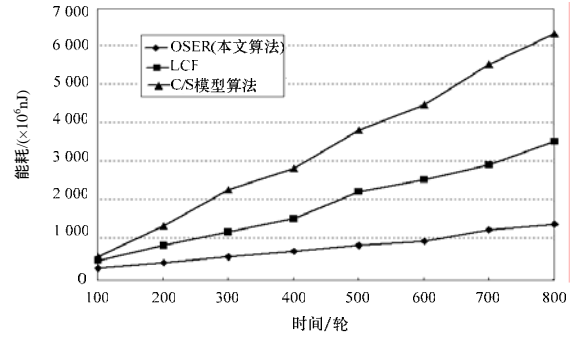


图 5 随时间变化时各算法的能耗

随着跟踪目标的增多,须检测和处理的的数据信息量增大,3 种算法的能量消耗明显增大。图 6 为跟踪目标变化耗能。

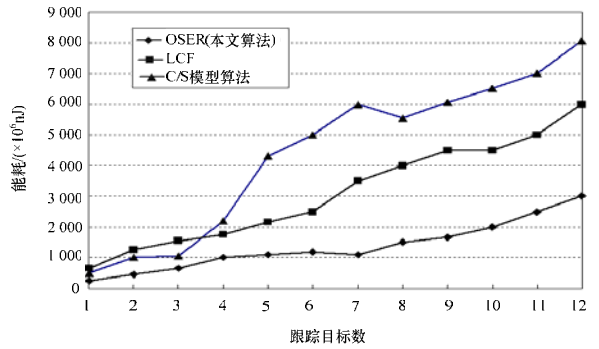


图 6 跟踪目标变化耗能

OSER 算法与 LCF 算法变化较缓,主要是基于移动 Agent 路由算法减少了数据传输量。

在 C/S 模式下,由于处理节点只能顺序接收目标信息,当跟踪目标增多时,检测信息量增大,能量消耗和网络延时增大。图 7 为随着检测目标的增多时,各算法的延时变化。

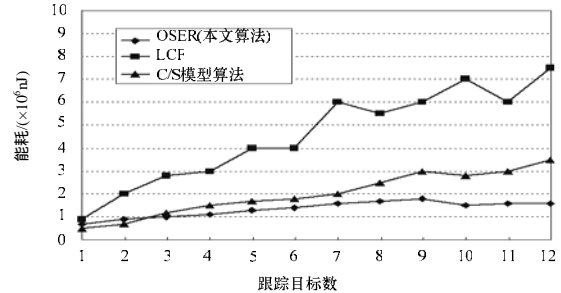


图 7 跟踪目标变化延迟

在 OSER 算法中,移动代理选择部分有效节点融合跟踪目标信息,在保证目标跟踪精度的前提下,减少访问的节点数和数据传输量,节省了数据传输的时间。

由上述实验结果可知,随着目标信息量的增大,OSER 算法的能量消耗相比较 LCF 算法、C/S 模式而言增量最小,且其数据传输时间延迟相对较小。

4 结束语

本文设计的移动 Agent 路由方法是在 Agent 迁移过程中,根据节点的能量度实时选择移动 Agent 的迁移节点,避免了 Agent 路由规划及网络拓扑变化时路由重复规划的能耗。仿真实验结果表明,OSER 算法在能耗和延迟方面相对于 C/S 模式及 LCF 算法较优越,能提高目标跟踪效率,并能降低网络节点平均能耗,增强网络的生命期。(下转第 17 页)