

定向扩散路由无线传感器网络行为仿真^①

郑明才¹, 李勇帆¹, 赵小超², 周 辉¹

¹(湖南第一师范学院 信息科学与工程系, 长沙 410205)

²(湖南第一师范学院 教育科学系, 长沙 410002)

摘 要: 为改善定向扩散路由无线传感器网络性能, 利用 MATLAB 仿真软件对其网络行为进行了仿真. 根据网络运行规则建立了节点分布模型、定向扩散梯度场模型、数据汇聚模型以及特征统计模型. 给出了主要仿真算法, 并以图形化方式给出了仿真结果. 理论分析和仿真结果表明, 现有无线传感器网络的定向扩散路由存在缺陷, 需要改进, 并给出了改进方向.

关键词: 无线传感器网络; 定向扩散; 网络行为; 仿真; 行为特征

Behavior Simulation for Wireless Sensor Networks Based on Directed Diffusion

ZHENG Ming-Cai¹, LI Yong-Fan¹, ZHAO Xiao-Chao², ZHOU Hui¹

¹(Department of Information Science and Engineering, Hunan First Normal University, Changsha 410205, China)

²(Department of Education Science, Hunan First Normal University, Changsha 410002, China)

Abstract: In order to improve the performances of wireless sensor networks based on directed diffusion, the simulation for network behavior was completed. The models of node distribution, directed diffusion gradient field, data aggregation and statistical characteristics were given. In addition, the main simulation algorithms and the simulation results in graphical way were presented. The theoretic analysis and simulation results illustrated that there were still defects within the original directed diffusion protocols in wireless sensor networks, and the improvement direction was indicated.

Key words: wireless sensor networks; directed diffusion; network behavior; simulation; behavior characteristics

传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由大量集成了传感器、数据处理单元和通信模块的微小节点构成的全分布式自组织网络, 由于具有易扩展、自组织、分布式结构、健壮性和实时性等特点, 使其能很好地满足泛在感知、测控信息服务的需求, 具有广泛的应用前景, 是当前全球的研究热点. 信息感知、传送和处理应用是传感器网络的主要任务, 由于实际应用模式的特殊性, 传感器网络中的信息传送具有方向特性, 定向扩散(Directed Diffusion, DD)路由协议^[1]不仅适合传感器网络中信息传送的方向性特点, 而且具有路径最短、时延最小、能耗最少的潜在优势^[2], 在传感器网络研究中具有很高的历史地位, 曾被认为是传感器网络研究的里程碑, 其中文献[3]描述的基于跳数的定向扩散路由协议是其典型代表. 在后续的研究

中, 为改善网络性能, 不断有改进型定向扩散路由协议^[4-7]被提出. 但由于现有传感器网络定向扩散路由协议依然存在不少缺陷, 迄今为止未能在实际应用中得到大规模推广使用. 本文拟对定向扩散路由无线传感器网络的行为进行仿真, 以图形化的方式揭示其妨碍网络性能提升的行为, 为定向扩散路由无线传感器网络的进一步改进提供方向和依据.

1 定向扩散路由

文献[3]提出的定向扩散路由以节点距 sink 节点的跳数距离为依据建立定向扩散梯度场(Directed Diffusion Gradient Field, DDGF), 网络的运行过程分为两个主要阶段: 查询分组传送阶段和数据分组传送阶段, 即定向扩散梯度场建立阶段和数据汇聚阶段.

① 基金项目:湖南省高校科技创新团队支持计划(湘教通[2010]212 号);湖南省科技计划(2011FJ3079);湖南省教育厅科学研究项目(11C0298);湖南省教育科学“十二五”规划课题(XJK011CXJ005);湖南省自然科学基金(12JJ6056)

收稿时间:2012-09-17;收到修改稿时间:2012-10-21

1.1 定向扩散梯度场建立阶段

在查询分组传送阶段, sink 节点启动查询分组传送, 查询分组在网络节点布撒区域中以“按 1 逐跳递增”的受限 flooding 方式向远离 sink 节点的方向逐跳扩散, 一方面向网络节点分配任务, 另一方面建立基于“跳数”的定向扩散梯度场. 查询分组传送及定向扩散梯度场建立过程如图 1 所示, 查询分组沿 sink→A、B→C、D、E、F→I、J、K 逐跳传送, 各节点标记跳数梯度值的同时建立起定向扩散梯度场.

1.2 数据汇聚阶段

在数据汇聚阶段, 数据源节点感知的数据分组在定向扩散梯度场中以“按 1 逐跳递减”的受控 flooding 方式向 sink 节点方向扩散, 直至汇聚到 sink 节点. 数据分组的汇聚过程如图 2 所示, 感知数据从数据源节点 I→E→A、B→sink 沿定向扩散梯度场逐跳汇聚.

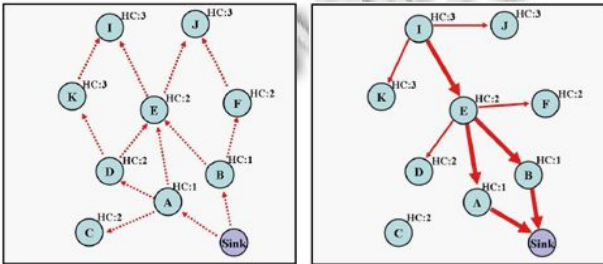


图 1 查询分组传送及 DDGF 建立 图 2 数据分组传送

2 网络模型

定向扩散路由传感器网络中的节点地位平等, 网络逻辑拓扑结构为平面型.

2.1 网络节点分布模型

传感器网络中的节点一般在感知区域内随机布撒, 在网络覆盖区域内近似服从均匀分布^[8], 在平面网络中, 为叙述方便, 给每个网络节点分配一个二维的逻辑序号(i, j), 网络节点分布模型可用节点的 X 坐标矩阵和 Y 坐标矩阵分别描述, 如:

$$X = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & x(i, j) & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Y = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & y(i, j) & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, x(i, j)、y(i, j) 分别表示节点(i, j)的横坐标值和纵坐标值, 在节点近似均匀分布网络中, 可用随机函数 rand()模拟给节点坐标赋值.

$$x(i, j) = rand(0, L) \quad (3)$$

$$y(i, j) = rand(0, L) \quad (4)$$

其中, L 为网络覆盖区域最大边长或直径.

2.2 定向扩散梯度场模型

定向扩散路由传感器网络中, 节点(i, j)的定向扩散梯度值为节点距 sink 节点的跳数距离, 用 H(i, j)表示. 定向扩散梯度场模型可用节点定向扩散梯度值矩阵 H 表示.

$$H = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & H(i, j) & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (5)$$

在节点(i, j)加入梯度场前, H(i, j) = ∞, sink 节点的定向扩散梯度值为 H(0,0) = 0, 其它节点按距 sink 节点的跳数距离依次加入定向扩散梯度场, 获取或更新其定向扩散梯度值为:

$$H(i, j) = H(i', j') + 1, \begin{cases} d_{(i',j)}(i, j) \leq R(i', j') \\ H(i', j') < H(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

其中, (i', j')为查询分组传送节点, d_(i',j)(i, j)表示节点(i, j)距节点(i', j')的几何距离, R(i', j')为节点(i', j')的通讯距离.

定向扩散梯度场呈现为以 sink 节点为最低梯度的逐跳递增的阶梯状, 梯度场建立过程为 sink 节点启动的逐跳“造梯”、“爬梯”过程.

2.3 数据汇聚模型

在数据汇聚过程中, 某个数据源节点的感知数据汇聚模型可由节点的数据汇聚梯度值矩阵 HD 描述.

$$HD = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & H_D(i, j) & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (7)$$

H_D(i, j) 表示节点(i, j)的数据汇聚梯度值, 不参与数据分组传送时 H_D(i, j) = -1. 若数据源节点为 (IS, JS), 则其 H_D(IS, JS) = H(IS, JS), 其它参与数据分组转发的下一跳节点(i, j)的数据汇聚梯度值按(8)式

确定。

$$H_D(i, j) = H(i, j), \begin{cases} H_D(i', j') > 0 \\ d_{(i', j')} < R(i', j') \\ H(i, j) = H(i', j') - 1 \end{cases} \quad (8)$$

其中, (i', j') 为数据分组传送节点。

数据汇聚过程呈现为自数据源节点向 sink 节点逐跳下梯的过程, 直到数据分组汇聚到 sink 节点。

在数据分组汇聚过程中, 数据汇聚流特征与节点的邻居节点数有关, 且在梯度场中, 节点的“1 跳”邻居节点也被梯度化, 将其中梯度值低“1 跳”的节点称为其源端邻居节点, 梯度值高“1 跳”的节点称为其目的端邻居节点。节点 (i, j) 的源端邻居节点数 $N_{DS}(i, j)$ 、目的端邻居节点数 $N_{DD}(i, j)$ 的统计模型分别为:

$$N_{DS}(i, j) = N_{DS}(i, j) + 1, \begin{cases} d_{(i', j')} < R(i, j) \\ H(i', j') = H(i, j) - 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$N_{DD}(i, j) = N_{DD}(i, j) + 1, \begin{cases} d_{(i', j')} < R(i', j') \\ H(i', j') = H(i, j) + 1 \end{cases} \quad (10)$$

节点的源端邻居节点数反映数据汇聚流的大小, 也反映数据汇聚的可靠性保证; 节点的目的端邻居节点数反映数据汇聚过程中节点承担转发负载的轻重, 也反映网络中产生“热点”节点的可能性。

3 网络行为仿真

仿真场景为约 500 个节点近似均匀分布在 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 的矩形区域内, 节点密度约为 0.002 个/ m^2 , 节点通讯半径约为 $R=80\text{m}$, sink 节点位于网络区域的左下角。借助 MATLAB 仿真软件强大的数据处理和图形化功能, 对定向扩散路由传感器网络的理论行为进行仿真, 部分仿真算法及伪程序如图 3 所示。

```

1.网络节点布撒
for i=1:1:Ni, j=1:1:Nj
    {x(i,j)=rand(0,L)
    y(i,j)=rand(0,L) }
2.定向扩散梯度场建立
hopmax=3L/R
for h=1:1:hopmax
    {for i=1:1:Ni, j=1:1:Nj
        {if H(i,j)=h-1
            {for i'=1:1:Ni, j'=1:1:Nj

```

```

                {if d(i,j)(i',j')<R, H(i',j')=h} }
            }
3.数据汇聚链路建立
hopsourc=H(IS,JS)
HD(IS,JS)=H(IS,JS)
for h= hopsourc:-1:1
    {for i=1:1:Ni, j=1:1:Nj
        {if HD(i,j)=h
            {for i'=1:1:Ni, j'=1:1:Nj
                {if (d(i,j)(i',j')<R )&( H(i',j')=h-1) {HD(i',j')=h-1} } }
            }
4.定向扩散梯度场通信链路记录
k=1
for h=1:1:hopmax
    {for i=1:1:Ni, j=1:1:Nj
        {if H(i,j)=h
            { for i'=1:1:Ni, j'=1:1:Nj
                { if H(T',j')=h+1
                    {XL(k,1)=x(i,j);XL(k,2)=x(i',j')
                    YL(k,1)=y(i,j);YL(k,2)=y(i',j')
                    HL(k,1)=H(i,j);HL(k,2)=H(i',j')
                    k=k+1 } } }
            }
5.数据汇聚链路记录
k=1
for h=hopsourc:-1:1
    {for i=1:1:Ni, j=1:1:Nj
        {if HD(i,j)=h
            { for i'=1:1:Ni, j'=1:1:Nj
                { if HD(T',j')=h-1
                    {XD(k,1)=x(i,j);XD(k,2)=x(i',j')
                    YD(k,1)=y(i,j);YD(k,2)=y(i',j')
                    HD(k,1)=H(i,j);HD(k,2)=H(i',j')
                    k=k+1 } } }
            }
6.数据汇聚特征统计
for i=1:1:Ni, j=1:1:Nj
    {NDS(i,j)=0; NDD(i,j)=0
    for i'=1:1:Ni, j'=1:1:Nj
        { if (d(i,j)(i',j')<R )&( H(i',j')=h-1)
            NDS(i,j)= NDS(i,j)+1
            if (d(i,j)(i',j')<R )&( H(i',j')=h+1)
                NDD(i,j)= NDD(i,j)+1 }
        }
    }
for h=1:1:hopsourc
    {NF(h)=0
    for i=1:1:Ni, j=1:1:Nj
        {if HD(i,j)=h
            NF(h)=NF(h)+1} }

```

图 3 主要仿真算法及伪程序

图 4~图 9 为仿真结果图. 图 4 显示了网络节点在矩形区域内的近似均匀分布图. 图 5 显示建立完成后的定向扩散梯度场, 可见具有类似“梯田”的分层形状, 节点距 sink 节点距离越远, 定向扩散梯度值越大. 图 6 为梯度场中查询分组传送的链路情况, 可见查询分组传送链路数量巨大, 能保证节点可靠加入梯度场, 但同时也说明了网络不易频繁全新重建定向扩散梯度场, 否则能耗和时延均会很大. 图 7 为某个数据源节点的感知数据汇聚链路, 从中可见, 因受定向扩散梯度场的控制, 数据分组转发节点被限制在网络中的某个区域, 比完全 flooding 方式效率高得多, 但依然存在大量数据分组副本的重复传送, 虽然有利于提高可靠性, 但能耗、时延性能可能降低. 图 8 为数据汇聚过程中, 沿途各跳梯度层次参与转发的节点数, 即沿途数据流的大小, 可见数据汇聚流不均匀, 呈现两头小、中间大的趋势, 图 9 为不同位置节点的梯度化邻居节点数情况, 可见节点的源端邻居节点数和目的端邻居节点数随节点距 sink 节点的距离呈现分段单调的趋势, 源端邻居节点数分段单调减, 目的端邻居节点数分段单调增, 每一个分段正好是定向扩散梯度场中的一个梯度层次, 说明节点在梯度层次中位于不同位置时, 其拥有的源端邻居节点数和目的端邻居节点数不同, 转发数据分组的可靠性和承担转发负载的轻重不同: 节点在某个梯度层次中距 sink 节点近时, 转发数据分组可靠性高、承担的转发负载轻; 相反转发数据分组可靠性低、承担转发负载重.

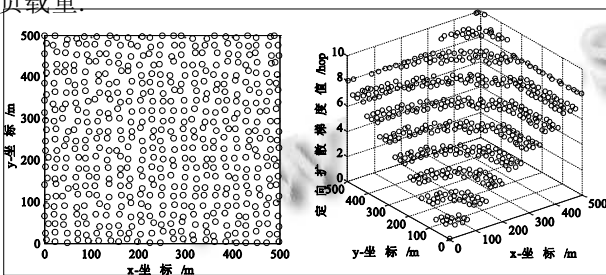


图 4 网络节点分布图 图 5 定向扩散梯度场

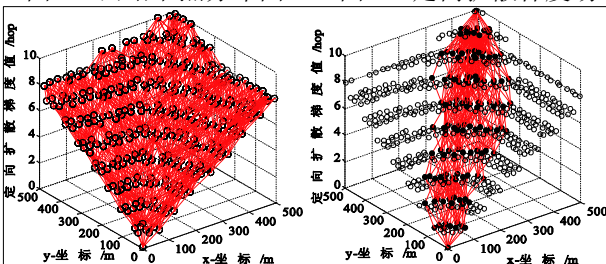


图 6 查询分组链路 图 7 数据汇聚链路

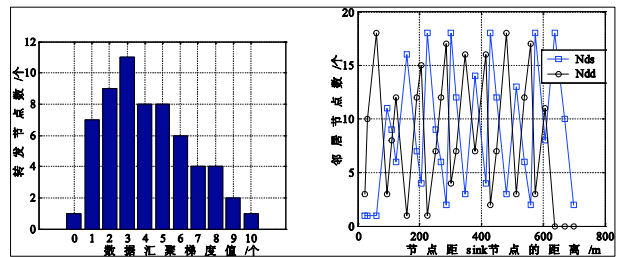


图 8 各跳转发节点数 图 9 节点分类邻居节点数

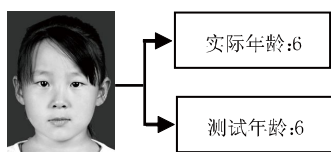
4 结语

传感器网络的动态拓扑结构和节点数量巨大的特性决定传感器网络适宜采用类似 flooding 的粗略路由, 基于梯度场的定向扩散路由以受限 flooding 方式传送查询分组, 以受控 flooding 方式传送数据分组, 限制了 flooding 的广度和深度, 性能优于完全 flooding, 但仍然存在制约其实际应用的缺陷. 从对网络行为仿真结果看, 梯度化邻居节点数和数据汇聚流分布不均匀是导致其缺陷的主要原因. 节点源端邻居节点数影响数据汇聚流的均匀性, 数据汇聚流不均匀导致数据流小时可靠性差而数据流大时能耗、时延大的现象并存. 节点目的端邻居节点数差别大导致目的端邻居节点数大的节点承担的转发负载重, 易产生“热点”节点问题而影响网络的整体寿命. 为进一步改善定向扩散路由由传感器网络性能, 需采取措施对数据汇聚流进行相对精细化的调控, 在粗略路由和精细路由间作出合理的平衡, 如可对定向扩散梯度场的梯度层次宽度进行控制以调节梯度化邻居节点数、借助梯度化邻居节点信息调节节点发射功率、结合 MAC 协议调度转发节点等对路由粒度进行优化.

参考文献

- Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks. Pickholtz R. Proceedings of ACM Conference on Mobile Computing and Networking. Boston: Academic Press, 2000, 56-67.
- Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramanian Y. Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks, 2002,38(4): 393-422.
- Han KH, Ko YB, Kim JH. A novel gradient approach for efficient data dissemination in wireless sensor networks. VTC2004-Fall. Washington: IEEE Computer Society, 2004,

(下转第 210 页)



(b) 非学习样本图像年龄估计

图 4 FAID 人脸库中测试示例

表 2 FG-NET 人脸库与 FAID 人脸库年龄测试准确率对比

人脸库	特征维数				
	20	40	100	150	200
FG-NET	38.3%	55.1%	86.2%	90.0%	93.0%
FAID	41.2%	59.5%	89.7%	92.5%	94.3%

从实验结果看到,随着特征维数的增大,识别准确率在逐渐增大,但当维数达到 100 后准确率变化渐趋缓慢.对比表 2 中的数据可知,特征维数相同时,在 FAID 人脸库中的准确率高于 FG-NET 人脸库中的准确率,这是因为:FG-NET 人脸库中的图像是在非受限环境下采集的,噪声较大,其图像的尺度、人脸的姿态及光照等因素变化较大.

4 结语

本文将模糊隶属度引入到人脸图像的年龄估计中,算法简洁,运算量偏小,识别准确率达到 94%,略高于先前的研究.如文献[9]采用 Boosting RBF 神经网络在 FG-NET 人脸库中的年龄估计正确率达到了 86%,文献[4]采用改进的 NMF 方法在 FG-NET 人脸库中的最高识别率达到了 92%.

首先提取 Gabor 特征并降维,其次根据最大隶属

度原则在 FG-NET 人脸库及 FAID 人脸库中进行了测试,取得了良好的效果.但人脸图像的年龄估计目前仍处在理论研究阶段,推导更为有效的算法仍是下一步工作的重点.

参考文献

- 1 张宇,周志华.基于集成的年龄估计方法.自动化学报,2008,34(8):997-1000.
- 2 Lanitis A, Taylor CJ, Cootes T. Toward automatic simulation of aging effects on face image. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2002,24(4):442-455.
- 3 Fu Y, Xu Y, Huang TS. Estimating human age by manifold analysis of face pictures and regression on aging features. The IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME) 2007.
- 4 余庆,杜吉祥.基于一种改进 NMF 算法的人脸年龄估计方法.中国图象图形学报,2008,13(10):1865-1868.
- 5 樊莉静,张建明.基于局域二值模式与支持向量机的年龄估计.计算机工程与应用,2009,45(27):171-173.
- 6 Choi SE, Lee YJ, Lee SJ, et al. Age estimation using a hierarchical classifier based on global and local facial features. Pattern Recognition,2011,44:1262-1281.
- 7 梁保松,曹殿立.模糊数学及其应用.北京:科学出版社,2007.
- 8 陆丽.基于人脸图像的性别识别与年龄估计研究[博士学位论文].上海:上海交通大学,2010.
- 9 胡澜,夏利民.基于 Boosting RBF 神经网络的人脸年龄估计.计算机工程,2006,32(19):199-201.

(上接第 146 页)

- 60(4): 2979-2983.
- 4 Kannammal KE, Purusothaman T. Performance of improved directed diffusion protocol for sensor networks under different mobility models. Journal of Computer Science,2012,8(5): 694-700.
- 5 杨俊刚,史浩山,段爱媛,张龙妹,陆伟.无线传感器网络中基于互斥多路径的改良定向扩散协议.西北工业大学学报,2011,29(5):681-684.

- 6 李戈阳,曹阳,马曦,胡郢.基于遗传优化的无线传感器网络定向扩散协议.湖南大学学报(自然科学版),2009,36(9): 83-86.
- 7 邬春学,叶胤鹏,许博威.基于梯度阈值和时延的定向扩散路由协议.计算机工程,2012,38(7):77-79.
- 8 孙勇进,孙雨耕,陈宝江,房朝晖.无线传感器网络 1 点和 2 点连通可靠性研究.传感技术学报,2004,17(3):379-385.