

文章编号: 2095—0411 (2014) 01 - 0037 - 05

智能家居无线传感网定向扩散协议的优化方法^{*}

马正华, 余 田, 陈岚萍, 周红妹

(常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 定向扩散协议是以数据为中心的平面路由协议, 针对应用于智能家居领域, 提出对定向扩散路由算法的改进, 将节点按房间的顺序规划在不同的矩形监测区域内, 家庭设备节点在线注册保存进入家庭网关 Sink 节点中, Sink 节点识别消息接收节点的源 ID 号并扩散消息到指定的矩形监测区域内, 完成区域节点之间的消息转播, 源节点接收消息完成梯度建立, 以此流程再进行下一个监测区域的工作。将改进算法与传统的泛洪质询算法进行了比较, 结果显示, 改进算法提高网络的能效性, 延长网络生命周期且节省能耗。

关键词: 智能家居; 无线传感网; 定向扩散协议; 矩形分布监测

中图分类号: TP 301.6

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095—0411.2014.01.009

Optimized Method Suitable for Smart Home Wireless Sensor Network Directed Diffusion Protocol

MA Zheng-hua, YU Tian, CHEN lan-ping, ZHOU Hong-mei

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Directed Diffusion protocol is a planar routing protocol with the center of data. Aiming at smart home applications, this design puts forward improvements on Directed Diffusion routing algorithm. According to the order of the rooms, the nodes were arranged in different rectangular monitoring areas. The family equipment nodes register online and store in the Home Gateway Sink node, the Sink node identifies the source IDs and spread the news to the specified rectangle monitoring area. The nodes start to broadcast news reciprocally, Finally, the source node receives news and the gradient was established. The next monitoring area of works as the last process. Compared the improved algorithm with the traditional flooding inquiry algorithm, the results show that the improved algorithm have a good performance in terms of energy efficiency of network. It extends the network life cycle, and saves the energy consumption.

Key words: smart home; wireless sensor network; directed diffusion protocol; rectangular distribution monitoring

智能家居是信息时代带给人们的又一个高科技产物, 将家庭中的各种电子电气设备通过网络连接

起来, 进而实现对这些设备的智能管理、远程监控和资源共享。由此本文引入无线传感网的概念, 将

^{*} 收稿日期: 2013 - 05 - 30

基金项目: 江苏省科技计划项目 (BY2011125); 常州市科技支撑计划项目 (CE20120021); 常州市武进区科技计划项目 (WN201209)

作者简介: 马正华 (1962—), 男, 江苏昆山人, 教授。

智能设备作为节点采用 Ad hoc 方式集合 n 个传感节点和 1 个家庭网关节点组成全静态网络, 这些节点通过无线通信协议连接而成。基于智能家居的范畴, 本文选用无线传感网平面路由协议中的定向扩散路由协议 (Directed Diffusion Protocol), 在这类协议中, 汇聚节点 (sink 节点) 向监测区域的节点 (source 节点) 发出查询命令, 监测区域内的节点收到查询命令后, 向目的节点发送监测数据。文献 [1] 是将定向扩散路由协议中复杂质询过程分成若干个子质询, 每个子质询中的一个节点收到信息后, 根据自身的存储信息解决一部分质询, 而将剩余未解决的质询转发给自己的一个相邻节点, 但是算法中分成的若干个子质询是由网络中的节点数量决定的, 其能耗与更新频率有关, 这样的时效性和应用性并不广泛; 文献 [2] 将节点间距离、节点剩余能量和路径跳数引入路径选择函数中以实现最优路径的建立, 并在数据传输过程中利用跨层功率调节技术提高数据传输的能量效率, 但是节点的寿命不是很长; 文献 [3] 根据节点的射频角度来发送兴趣, 邻居节点只有在射频角度范围内的才可以扩散兴趣, 否则拒绝扩散兴趣, 缩小了兴趣报文泛洪的范围, 减少了参与兴趣扩散的节点数目, 但是射频角度计算不精确, 造成节点的漏发和漏接收。基于目前采用的路由查询机制存在一系列的耗能多, 稳定性差, 生命周期短, 适应范围窄的特点, 本文以定向扩散协议为背景, 在此基础上改进

成适用于智能家居路由最优化选择及数据最优化融合与传输机制, 重点讨论规范和改进节点间转发路由传播方式及消息的格式和内容, 缩短选择最佳路由时间, 减少路由能耗。

1 定向扩散协议分析

定向扩散路由协议是专门为无线传感网络设计的一种路由协议, 以下简称 DD 协议。在协议中, 汇聚节点向整个网络发送传感任务, 任务被称为“兴趣”。沿途节点对“兴趣”进行保存、合并和计算, 创建“兴趣”梯度。其主要特点是在数据传送过程中, 会计算出几条代价较低的数据通路, 进行方向明确的数据传输。在兴趣扩散阶段^[4], 如图 1 (a) 所示, 汇聚节点创建一个查询“兴趣”, 并周期性地向邻节点广播, 搜寻是否有适当的响应节点。在梯度建立阶段, 如图 1 (b) 所示, 网络的每个节点都有一个任务缓冲区 interest cache。当一个节点收到从邻节点传送过来的一个“兴趣”后, 搜寻自己的 interest cache 是否存在与之对应的任务入口 interest entry。如果存在, 搜集环境信息, 发送信息至 interest entry; 计算所有输出梯度中的最高数据发送率, 否则继续等待消息。在路径加强和数据传输阶段, 如图 1 (c) 所示, 以输出梯度中的最高数据发送速率向 interest entry 中记录的梯度所指的目标邻节点发送观测到的事件。

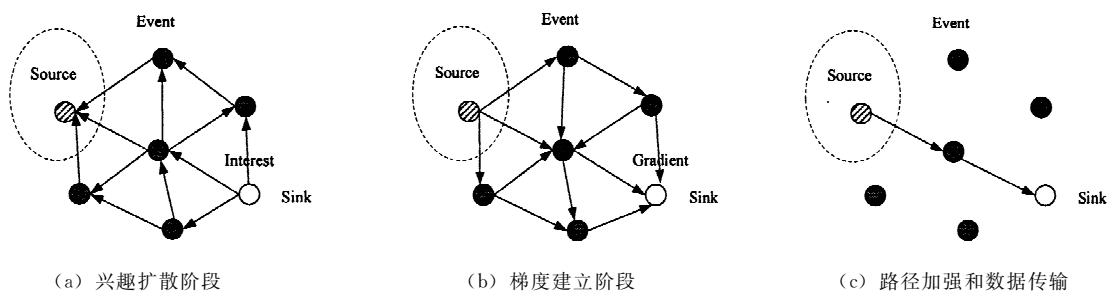


图 1 定向扩散路由过程

Fig. 1 Directed diffusion routing process

2 智能家居无线传感网组网设计

2.1 智能家居无线传输模型

在无线传输中, 发射功率的衰减随着传输距离的增大而呈指数衰减。当发送节点和接收节点之间的距离小于某个值 $d/2$ 时 (d 为发送节点和接收节点之间的距离), 采用自由空间模型, 发射功率呈 d^2 衰减; 否则采用多路径衰减模型, 发射功率呈

d^4 衰减。本文采用自由空间模型。

2.2 智能家居无线传感网络布局

本文基于 Zigbee 技术的无线通信, 以家庭网关为中央连接点, 其他家用设备在线注册进入家庭网关数据库^[5], 如智能交互式一体机, 网络电话 IP Phone, 智能空调, 智能窗帘, 家用生理参数采集终端等, 如表 1 所示。无线传感网的网络协议由应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层 5

个层次由高到低组成。目前重点主要集中在网络层中的路由协议和数据链路层中的 MAC 层协议上。

表 1 家庭设备类别码定义参数

设置类别值代码	设备名称	报文中变量
01H	交互式一体机	D_INTERACTIVE
02H	空调	D_AIR
⋮	⋮	⋮
09H	安防终端	D_SAFE
0EFH	家庭网关	D_GATEWAY

原协议工作方式为沿途节点按需对汇聚节点发布的各 Interest 进行缓存与合并, 并根据 Interest 计算、创建包含数据上报率、下跳延等信息的梯度, 从而建立多条指向汇聚节点的路径, 这样所有节点之间不断地转播及接收, 各节点都会大量地消耗能量, 缩短了网络生命周期, 基于以上不足, 本文将原协议算法进行了一些改进, 将广播的范围、方式及内容进行适当的优化, 基于针对应用于智能家居的环境下, 根据智能家居节点的特有位置分布规律, 将节点按房间的顺序规划不同的相邻且不重叠的矩形区域, 如图 2 (a) 所示, 本文称改进后

的协议为 DD - REC (Directed Diffusion - Rectangle), 用属性/值对命名数据, 汇聚节点使用查询驱动机制按需建立路由, 改进协议采用汇聚节点泛洪广播 Interest, 按地理位置将节点划分成各个矩形区域并按顺序进行编号 (1, 2, 3, 4, 5⋯N), 向节点发布的 Interest 将区域号加在家庭设备的源 ID 号 (设备节点的编号) 前面, 如表 2 所示, 空调的源 ID 本为 02H, 因为空调处于矩形区域 1, 所以现在的源 ID 号为 102H, 家庭网关与设备节点直线双向联通, 有效减少网络中消息传输的次数, 节省节点接收及转播时消耗的能量, 最大程度地节省能量和融合数据。具体广播的 Interest 包格式如表 2, 其中, 类别名为家用设备的变量名^[6], 源 ID 即为设备节点的编号, 接收站 ID 为网关节点编号, 信息位为命令属性 (00H 为关, 01H 为开, 02H 传送设备参数, 03H 设备工作时长, 04H 设备定时), 时间戳为接收到反馈信息的时刻, 校验位为检验是否和接收站编号匹配。

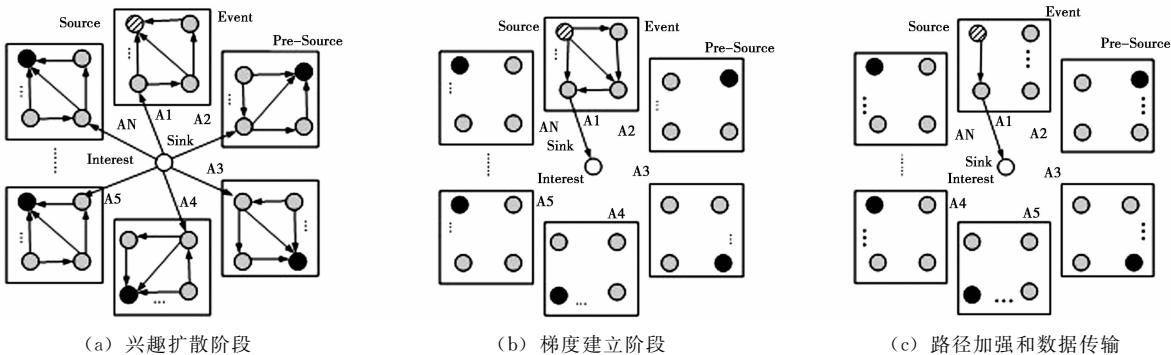


图 2 改进定向扩散路由过程

Fig. 2 The improved directed diffusion routing process

表 2 Interest 广播的包格式

Table 2 Interest Broadcast packet format

类别名	源 ID	接收站 ID	信息位	时间戳	校验位
空调	102H	0EFH	01H	2013-05-15T21:42:56	01H

2.3 改进协议具体工作过程

如图 2 (a) 所示, 汇聚节点按照区域顺序发布 Interest, 监测区域中有一个源节点 Source, 即图中标注的条纹节点, 黑色为第二批预备工作的源节点 Pre - Source, 即每个监测区域内待工作的节点, 浅灰色点即为其他剩余节点, 矩形区域内的节点将构成集合 $A_1, A_2, A_3 \cdots A_n$ 。传统的定向扩散协议最优路径是探测数据在网络中扩散过程中逐跳建立的, 基站要通过增强包进行确认才能最终确

立最优路径。在改进后的协议中, 当有一个触发事件发生时, 根据监测区域的矩形分布顺序区域编号 (1, 2, 3, 4, 5⋯N) 逐一扩散 Interest, 集合 A_1 内的节点源 ID 具有相同的区域号, 同一集合内的节点的相互转发和接收 Interest, 而位于不同集合的节点因为区域号的不同无法启动转发和接收 Interest, 如图 2 (b) 所示, 在集合内, 收到 Interest 的节点将任务纳入缓冲区进行查询验证数据节点所关心的事件, 也就是与之匹配的数据, 如果缓冲区存在相同的命令就激活命令属性, 如图 2 (b) 所示, 根据 Interest 计算、创建包含数据上报率、下跳延等信息的梯度, 建立多条指向汇聚节点的路径, 查询如果没有相同的命令, 则在缓冲区内加入一条新记录, 散播并激活到监测区域的其他节点,

重复上述的转发和接收 Interest 的过程, 传感网络最后计算出最佳路径选择方案, 加强某条路径, 如图 2 (c) 所示, 所以数据传输的梯度方向规律为源节点——矩形区域集合节——汇聚节点。

3 智能家居网络系统生命周期分析

本文对定向扩散协议改进目标是最大化网络生命周期, 这里的网络生命周期是第一个触发事件开始的那一刻到出现第一个能量耗尽的节点为止所经历的周期数, 而周期是指所有节点感知一次数据并发送到汇聚节点的过程。假设 t 代表时间, v_i ($i=1, 2, 3, 4 \cdots n$, i 表示每个节点的序号) 表示任意一个设备节点, $C_{\text{node}}(t, v_i)$ 表示设备节点 v_i 的生命周期, $C_{\text{net}}(t)$ 表示网络的生命周期, 则网络周期数最大化函数可以表示为:

$$\max C_{\text{net}}(t) = \max \left\{ \min_{i=1, 2 \cdots n} \{C_{\text{node}}(t, v_i)\} \right\} \quad (1)$$

假设 $E(v_i)$ 表示网络总能量, k 表示接收数据的次数, e_r 表示一个节点接收数据一次的消耗能量, e_t 表示一个节点发送数据一次的消耗能量, 那么每个周期内 v_i 接收和发送数据所消耗能量分别为 $n \times k \times e_r$ 和 $(n+1) \times k \times e_t$, 所以:

$$C_{\text{node}}(t, v_i) = \left[\frac{E(V_i)}{n \times k \times e_r + (n+1) \times k \times e_t} \right] \quad (2)$$

网络生命周期可以表示为:

$$\max C_{\text{net}}(t) = \max \left\{ \min_{i=1, 2 \cdots n} \left\{ \frac{E(V_i)}{n \times k \times e_r + (n+1) \times k \times e_t} \right\} \right\} \quad (3)$$

由公式 (3) 可知, 以目标源节点为根的子树越大, 能量耗散的越快, 原协议中汇聚节点扩散兴趣后将网络中所有节点都参与接收和转播, 路径繁多, 能量消耗迅速, 为了延长网络生命周期, 必须减小子树的大小^[7], 于是提出的改进方案将所有节点分布在区域大致相同的矩形监测区域, 汇聚节点散播的 Interest 只需根据监测区域的矩形分布顺序区域编号 (1, 2, 3, 4, 5...N) 逐一扩散, 而不同的矩形监测区域内的节点互不转发和接收消息, 这样就减少了每个周期内 v_i 接收和发送数据所消耗能量即公式 (3) 里面的分母大小, 同时, 网络能量的大小在相同的时间内较原协议消耗的的缓慢, 因此改进的方案大大延迟了网络的生命周期。

上述公式分析了改进方案在生命周期上取得的

成效, 类比之下设计了定量指标将对路由协议进行仿真评估: 平均剩余能量 (Average Residual Energy), 平均消耗量 $E_{\text{ave}}(t)$ 是衡量一个节点平均在一次事件中所做的工作量, 它反映了一个传感器网络的生命周期^[8]。计算方法如下:

$$E_{\text{ave}}(t) = \min_{i=1, 2 \cdots n} \left\{ \frac{E(V_i)}{n \times k \times e_r + (n+1) \times k \times e_t} \right\} \quad (4)$$

式中 n 是网络规模节点个数, 数据量是数据源节点产生的数据包和汇聚节点发出兴趣的总和, 本文将在下节仿真与性能分析里面仿真出协议改进前后平均剩余能量和网络吞吐量随着节点数的变化。

4 仿真与性能分析

利用 UC Berkeley 开发的网络仿真器 NS2 进行仿真。仿真工作主要针对改进协议前后两个性能的对比, 前提是都在同一时刻: ①节点平均剩余能量, ②网络吞吐量的对比。节点的能量模型设置为: MAC 协议采用 1.6Mb/s 速率的 802.11 协议, 其中具体实验场景的配置为: Sink 节点数目为 1 个, Source 源节点数目为 5 个, 网络节点数目分别为 50, 100, 150, 200, 250 个。将节点随机布置在 100m * 100m 的平面中, 设置网关节点每 60s 发送一个探索数据分组, 其数据包的大小被设定为 64 字节; 它们的能量最初是 1 000J, 接收节点能量损耗 0.395J, 发送节点能量损耗 0.662J。编写 awk 程序对仿真跟踪文件进行分析, 用 gunplot 生成结果^[9]。图 3 是协议改进前后平均剩余能量随着节点变化的仿真图, 图 4 是在 30s 内仿真时间内网络平均吞吐量对比。

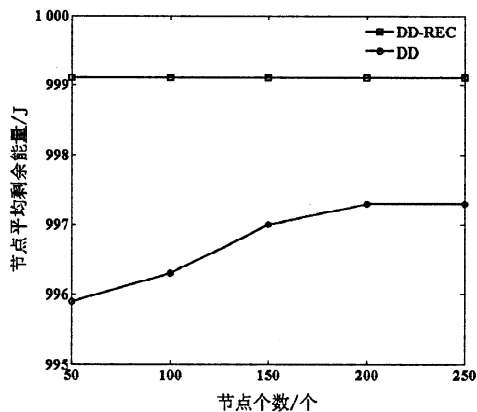


图 3 节点平均剩余能量对比

Fig. 3 Node average remaining energy contrast

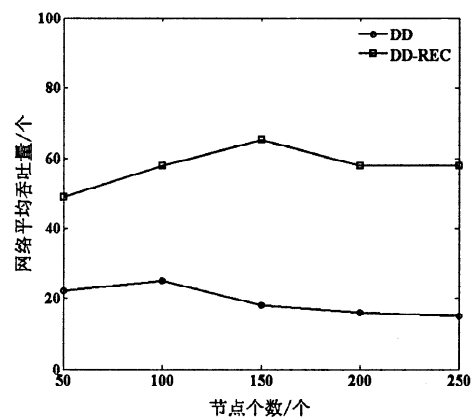


图 4 网络吞吐量对比

Fig. 4 Network throughput contrast

从仿真结果来看, 本文提出的 DD - REC 改进协议在性能上有明显的提高节点剩余能量比 DD 协议平均水平高, 较为平稳, 在一定时间内的网络吞吐量也较 DD 协议数量更大。

5 总 结

本文针对应用于智能家居环境的定向扩散协议提出了改进方案, 原始的定向扩散能量开销大, 周期性的泛洪广播兴趣能耗较大, 步骤繁琐紊乱。改进的算法在路径处理上提高了效率, 网关节点的泛洪传播分散到各监测区域的源节点上, 很大程度上缩小了兴趣泛洪的范围, 减少了参与泛洪节点数目, 从而节省了节点能量, 延长了整个网络的生命周期。基于 NS2 的网络性能仿真结果表明, 与原

DD 协议相比, DD - REC 协议的网络节点平均剩余能量和吞吐量有明显提高, 网络性能良好。

参考文献:

- [1] 王宇翔. WSN 中基于定向扩散协议路由算法的研究 [J]. 电子测试, 2011, 10 (10): 26 - 30.
- [2] 周晓芳, 屈玉贵. 一种基于多优化函数的跨层定向扩散路由协议 [J]. 中国科学技术大学学报, 2009, 8 (8): 798 - 803.
- [3] 李应娣, 单志龙. 无线传感器网络定向扩散路由协议研究 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 9 (9): 40 - 43.
- [4] 戴思思, 唐俊华, 张爱新. 基于 Gossip 算法的定向扩散协议研究 [J]. 通信技术, 2006, 20 (4): 44 - 49.
- [5] 苏兵. 基于 IPv6 的家庭网关的设计 [J]. 应用技术与研究, 2010, 12 (5): 63 - 65.
- [6] 王卫亚. 基于定向扩散的双向路由协议 [J]. 计算机工程, 2009, 35 (3): 123 - 125.
- [7] Ibrahim S I Abuhaiba, Huda B Hubboub. Swarm Flooding Attack Against Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks [J]. International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS), 2012, 4 (12): 18 - 30.
- [8] Jiun - Huei Ho, Hong - Chi Shih, Bin - Yih Liao, et al. A ladder diffusion algorithm using ant colony optimization for wireless sensor networks [J]. Information Science, 2012 (192): 204 - 212.
- [9] 马正华, 曹中, 周炯如. 基于频率偏差抵消的 TDOA 无线定位新方案 [J]. 常州大学学报: 自然科学版, 2013, 25 (1): 51 - 55.