

基于 $N:X$ 数据聚合的异构网络数据传输方法

武婧婧, 韦素媛, 齐小刚

(1 兰州大学 信息科学与工程学院, 甘肃 兰州 730000
2 中国人民解放军火箭军工程大学 信息工程系, 陕西 西安 710025;
3 西安电子科技大学 数学与统计学院, 陕西 西安 710126)

摘 要: 针对异构传感器网络, 提出了基于 $N:X$ 数据聚合的数据传输路由算法, 对节点要传输的数据按照 $N:X$ ($X=1,2,3$) 的聚合比例进行聚合以达到延长网络寿命的目的. 该算法减小了网络节点传输的数据量, 保护了目的节点附近的能量消耗. 仿真结果表明, 基于数据聚合的数据传输算法在异构网络中能更好地延长网络寿命, 提高网络的性能.

关键词: 无线传感器网络; 异构网络; 数据聚合; 路由传输; 环境监测

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)03-0104-06

$N:X$ -based Data Aggregation of Heterogeneous Network Data Transmission Method

WU Jing-jing, WEI Su-yuan, QI Xiao-gang

(1 School of Information Science & Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 710025, China;
2 Department of Information Engineering, Rocket Force Engineering University, Xi'an 710025, China;
3 School of Mathematics and Statistics, Xidian University, Xi'an 710126, China)

Abstract: Aiming at heterogeneous sensor network, $N:X$ -based data aggregation routing algorithm was proposed, data transferred is aggregated by $N:X$ ($X=1,2,3$) to prolong the network life. The algorithm reduces the size of data transferred to protect the nodes near the destination node. The simulation results show that the data transmission algorithm based on data aggregation in the heterogeneous network can prolong the network lifetime better, improve the performance of network.

Key words: wireless sensor networks; heterogeneous network; data aggregation; routing transmission; environmental monitoring

1 引言

异构无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSNs) 中大量不同应用的传感器随机散布、能量小、通信链路带宽受限^[1], 多节点同时传输数据, 容易造成网络拥塞. 相比传统传输算法, 数据聚合能够减少能量消耗, 提高数据传输效率和准确性^[2-5]. 在网络实际设计中, 缩短聚合时延是数据聚

合的最基本要求.

本文针对环境温度和光强监测问题, 对同时部署有温度传感器和光强传感器的异构网络, 通过数据聚合减小网络的传输负荷, 节约节点能量, 从而延长网络寿命. 针对节点随机布撒形成的二叉树网络以及节点根据地理位置部署形成的格状网分别进行研究, 并且设置了不同的网络规模及传感器比例, 分别应用不同的聚合系数, 以研究不同聚合程度对网

收稿日期: 2017-10-09; **修回日期:** 2017-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61572435, 61472305); 陕西省自然科学基金项目 (2015JZ002, 2015JM6311); 浙江省自然科学基金项目 (LZ16F020001); 宁波市自然科学基金项目 (2016A610035)

络性能的影响。

2 相关模型

2.1 网络数据聚合意义

图1为简单的树形网络数据聚合示意图,其中a表示不进行数据聚合时,由于节点层级越高传输数据越多,使得目的节点附近的节点负载过重^[6]。

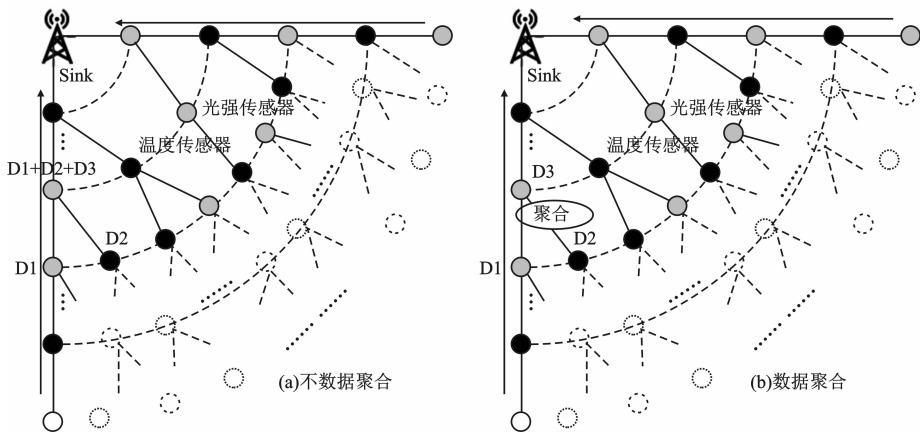


图1 数据聚合示意图

2.2 基础网络模型

与其他网络拓扑相比,格状网络高效直达,方便扩容,能对抗多重失效,备用带宽利用效率更高,树形网络易于扩展和易于隔离障碍,基于上述原因本文考虑两种异构传感器网络环境监测模型,即树形网络和格状网络.如图2所示,黑色圆圈表示温度传感器,灰色圆圈表示光强传感器,一方面采集环境数据,另一方面作为中继节点传输其他节点的数据,数据聚合也在节点上完成,并消耗相应数据的能量^[8],然后按照特定的路由算法进行路由传输.另外,我们将树形网络的节点规模分别设置为64,80,100,128;格状网络的节点规模分别设置为64,81,100,121.并且每种规模的网络中两种传感器节点比例分别为温度传感器:光强传感器——1:3,1:2,1:1,2:1,3:1.

2.3 能量模型

传感器节点在保持传输、休眠状态以及聚合数据时,都要消耗相应的能量^[9].本文采用真实的测试参数,两种节点的总能量均为790 mAh,运行周期设为10分钟.

2.3.1 温度传感器

(1)休眠功耗: $5\text{ }\mu\text{W}=0.005\text{ mW}$,休眠时长为 K 分钟.

(2)收发功耗:30 mW,单次数据发送时间为

(b)表示每个节点在传输数据之前,先将自身收集的数据与收到的其他节点数据进行一定程度上的融合,然后再向上一层节点传输,如此减小了高层节点的负荷,节约了传输能量,延长了网络寿命.并且数据聚合消耗的能量要远远小于传输数据所消耗的能量^[7].

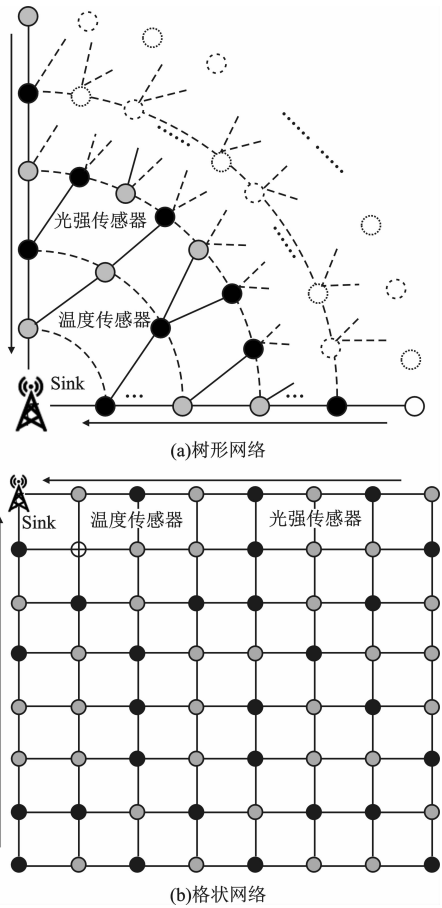


图2 异构网络示意图

0.5 s, 中转节点的收、发时间合计 $0.5\text{ s} \times 2$.

(3) 每 K 分钟为一轮, 耗能如下:

每轮休眠能耗: $0.005\text{ mW} \times K \times 60\text{ s} / 3\text{ V}$, 当 $K=10$ 分钟时, 休眠能耗为 $1\text{ mA} \cdot \text{s}$;

每轮发送温度数据一次的能耗: $30\text{ mW} \times 0.5\text{ s} \times 1/3\text{ V}$, 约为 $5\text{ mA} \cdot \text{s}$;

每轮中转温度数据一次的能耗: $30\text{ mW} \times 0.5\text{ s} \times 2/3\text{ V}$, 约为 $10\text{ mA} \cdot \text{s}$.

2.3.2 光强传感器

(1) 休眠功耗: $420\text{ }\mu\text{W} = 0.42\text{ mW}$, 休眠时长为 K 分钟.

(2) 收发功耗: 30 mW , 单次数据发送时间 0.25 s , 中转节点的收、发时间合计 $0.25\text{ s} \times 2$.

(3) 每 K 分钟为一轮, 耗能如下.

每轮休眠能耗: $0.42\text{ mW} \times K \times 60\text{ s} / 3\text{ V}$, 当 $K=10$ 分钟时, 休眠能耗为 $84\text{ mA} \cdot \text{s}$;

每轮发送光强数据一次的能耗: $30\text{ mW} \times 0.25\text{ s} \times 1/3\text{ V}$, 约为 $2.5\text{ mA} \cdot \text{s}$;

每轮中转光强数据一次的能耗: $30\text{ mW} \times 0.25\text{ s} \times 2/3\text{ V}$, 约为 $5\text{ mA} \cdot \text{s}$.

2.4 传输方案

本文针对异构无线传感器网络模型, 提出了基于数据聚合的路由传输方案, 并分别在树形网络与格状网络下对聚合和不聚合的路由方案进行了仿真对比.

2.4.1 不聚合路由传输方案

节点如果将收到的数据全部发送到目的节点, 那么距离目标节点越近的传感器在传输时需要发送的数据会越多, 消耗的能量也更多^[10]. 针对不聚合路由传输方案, 本文采用基于 OLSR 协议的最小 MPR 算法, 下面对不聚合路由传输方案进行阐述.

Step1: 初始化中心节点 i 的 MPR 路径集 P , 且初始化 P 为 $S_1(i)$, 所有节点初始状态为未选定.

Step2: 对于 $S_1(i)$ 中的每一个节点, 分别计算他们在 $S_2(i)$ 中的覆盖, 也即该节点所能覆盖的节点个数;

Step3: 确定 P 中的所有节点, 若已经被选定为 MPR 的节点, 判断其 willness 是否等于 0, 是则优先加入 MPR 集中, 此节点被选定, 完成之后跳转到 Step5.

Step4: 针对 P 中未选定且覆盖度最小的节点, 若 $S_2(i)$ 中仍存在未被 P 中的节点覆盖, 则该节点留在 P 中, 否则将该节点移除.

Step5: 检查 P 中是否还有未被选定的节点, 若

存在则继续进行 Step4, 否则算法结束.

Step6: 节点依据所得到的路径进行路由传输, 直至传输到 Sink 节点.

2.4.2 数据聚合的路由传输方案

考虑到数据冗余, 节点在发送数据时, 不一定要将所有数据全部上传, 而是可以根据一定的规则对数据进行处理, 即数据聚合, 减小数据量之后再继续发送, 由此可以显著降低目的节点附近传感器的传输能耗, 一定程度上平衡所有节点的能耗速度, 延长网络寿命^[11]. 数据聚合传输方案与不聚合路由传输方案类似, 数据聚合的路由传输方案仅仅在数据传输路径节点上增加了数据聚合这一过程.

3 基于 $N:X$ 数据聚合的异构网络传输

3.1 异构网络传输

网络中的传感器分为温度传感器和光强传感器两种, 按照一定的比例均匀部署在监测区域中, 传输过程中, 两类节点一方面各自收集自己的数据, 另一方面接收其他节点发来的数据. 两类传感器可以互相作为中继节点向目的节点发送数据, 并且根据转发数据类型不同消耗相应的能量, 即若光强传感器传输温度数据时, 消耗温度的收发功耗, 而温度传感器传输光强数据时, 消耗光强的收发功耗.

3.2 数据聚合方案

为了体现聚合的优越性, 我们将节点的数据聚合比例设置为 $N:X$ ($X=1, 2, 3, N$), 其中 N 为一个节点要传输的数据总量, X 为聚合后的数据量, 当 X 为 N 时, 即为不聚合的情况. 将三种聚合情况与不聚合的方案分别在树形网络和格状网络进行仿真实现, 进而体现数据聚合在网络性能方面的优势. 数据聚合的过程也要消耗一定的能量^[12], 我们假设每周期内, 聚合比例为 $N:1$ 时, 聚合消耗能量为 $1.5\text{ mA} \cdot \text{s}$; 聚合比例为 $N:2$ 时, 聚合消耗能量为 $0.8\text{ mA} \cdot \text{s}$; 聚合比例为 $N:3$ 时, 聚合消耗能量为 $0.5\text{ mA} \cdot \text{s}$. 即聚合程度越高, 聚合消耗的能量越多, 不过由于聚合的能量消耗在一个周期内所占的比重很小, 因此其不会对网络起到很大的作用, 在研究过程中我们不考虑聚合过程中的能耗对网络的影响.

3.3 基于数据聚合的异构网络路由算法

节点传输的数据主要是自身收集的数据与其他节点的中继数据. 基于数据聚合的路由算法将路由过程中的节点状态分为休眠状态、聚合状态和传输状态, 将接收到的数据进行聚合能够减小节点传输

数据的能量消耗,延长网络寿命.

本文采用 PEGASIS 协议进行数据聚合,该算法描述如下.

- Step1:依据 PEGASIS 协议确定数据传输路径.
- Step2:温度传感器和光强传感器节点采集环境数据,按照并按照 PEGASIS 协议确定的路径进行数据传输.
- Step3:数据传输路径上的节点将自身采集数据与接收数据进行 $N:X$ 数据聚合,减小数据冗余,降低数据传输量.
- Step4:判断下一跳节点是否为 Sink 节点. 若为 Sink 节点,则数据传输完成,否则跳转到 step3.
- 异构网络数据聚合的流程参见图 3.

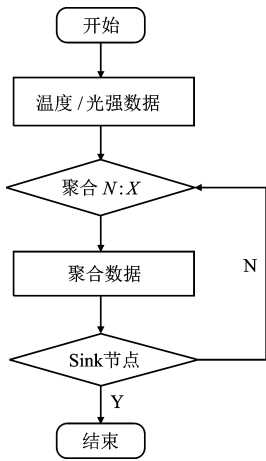


图 3 异构网络数据聚合

4 性能仿真评估

4.1 仿真环境

本文使用 omnet++4.6 对算法进行仿真实现. 基础网络为不同比例的温度与光强传感器组成的树形网络与网格状网络,单跳最大传输距离为 30 m,节点的初始能量均为 790 mAh,通过不同聚合系数下与不聚合网络的性能进行比较,验证了本文算法的优越性. 表 1 和表 2 分别展示了树形网络和格状网络的相关参数.

表 1 树形网络仿真参数

参数	参数值
部署区域	1/4 圆
区域半径	150/180/210/240 m
部署分布	二叉树分布
相邻层次节点距离	30 m
节点个数	64/80/100/128 个
sink 节点	圆心处,1 个
传感器比例(温:光)	1:3/1:2/1:1/2:1/3:1

表 2 格状网络仿真参数

参数	参数值
部署区域	正方形
区域变长	210/240/270/300 m
部署分布	网格状均匀分布
节点距离	30 m
节点个数	64/81/100/121 个
sink 节点	区域角处,1 个
传感器比例(温:光)	1:3/1:2/1:1/2:1/3:1

4.2 评价指标

4.2.1 平均剩余能量

中继节点的平均剩余能量越多,网络寿命越长. 但若平均剩余能量过多,则意味着网络节点没有得到充分利用.

4.2.2 剩余能量标准差

使用剩余能量标准差量化整个网络的能量平均程度,标准差越高,则节点消耗能量越不均匀.

4.2.3 网络寿命

网络的寿命定义为目的节点无法接收数据的时间^[13],网络寿命越长,能量消耗越平均,网络分割出现得越晚.

4.3 仿真描述

本文仿真针对实际网络环境中温度传感器与光强传感器混合监测某一区域,并周期性地发送数据到目的节点的过程,分别将节点按照不同半径部署形成树形网络,以及根据位置布设格状网络进行算法实现,并且对不同网络规模、不同的节点比例都进行了比较. 两种网络假设目的节点(Sink)的能量是无限的,或其电源可以人工更换,不考虑能量耗尽的问题^[14].

4.4 仿真过程

在仿真过程中,我们分别对树形网络和网格状网络进行了仿真,树形网络的节点个数为 64,80,100,128 个,网格状网络的节点个数分别为 64,81,100,121 个,并且在两种网络的温度与光强传感器节点比例为 1:3,1:2,1:1,2:1,3:1 的情况下分别进行了实现. 而这些情况分别设置节点不进行聚合,以及按照 $N:1$, $N:2$, $N:3$ 聚合进行了仿真. 仿真结果描述如下.

图 4 分别描述了树形与格状网络 4 种算法在不同传感器节点比例时的平均剩余能量情况. 可见,不聚合的情况下,网络节点的平均剩余能量远远大于聚合时的三种情况,聚合程度越高,网络剩余能量越

多;由于网络是异构的,温度传感器与光强传感器传输不同类型数据时,消耗的能量是不同的,因此两种传感器节点的比例对网络平均剩余能量也有一定的影响.

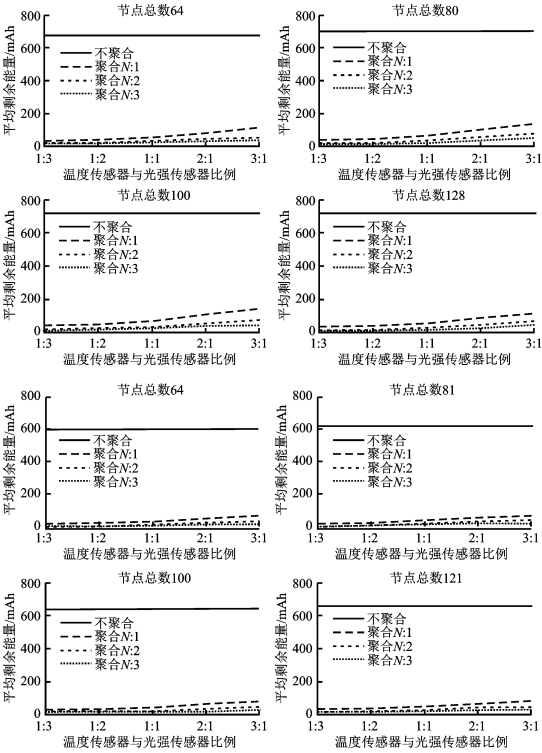


图 4 树形网络(上)/格状网络(下)平均剩余能量

图 5 分别展示了树形与网格网络在节点规模为 64,温度与传感器比例为 3 : 1 时,不聚合和聚合比例为 $N : 1$ 的剩余能量地图. 可以更形象地看出聚合后的节点剩余能量更加平均,而且不聚合时节点能量还有很多时网络已经死亡,证实了聚合的必要性和正确性.

图 6 中分别对比了树形与格状网络 4 种算法在不同传感器节点比例时的剩余能量标准差. 对数据进行聚合传输,一定程度上平衡了整个网络节点的能量消耗,因此聚合情况下的剩余能量标准差远低于不聚合的情况. 另外,可以看出由于不同传感器参数的不同,传感器比例也对该指标有一定的影响.

图 7 所示为树形与格状网络 4 种算法在不同传感器节点比例时的网络寿命,不聚合时的网络寿命很短,随着聚合系数的变化,聚合程度越高,网络寿命约长,而且在不同的传感器比例下,由于每个周期内,温度传感器消耗的能量更少,因此随着温度传感器比例的增大,网络寿命也相应变长了.

由图 8 和图 9 可以看出,不聚合的情况下,随着节点个数的增多,由于目的节点附近的传感器需要

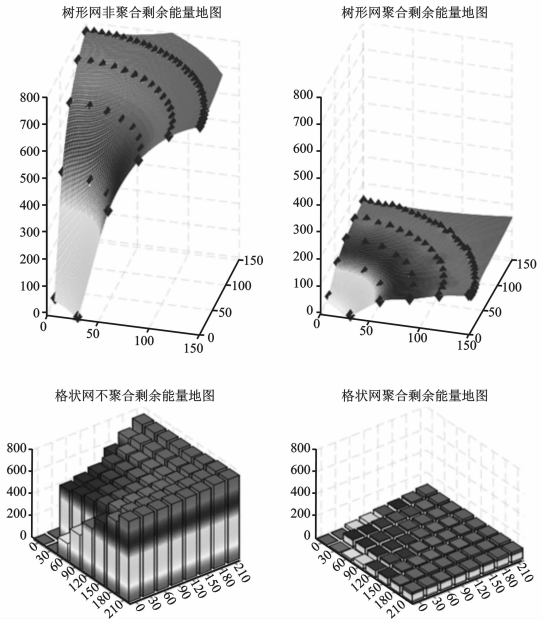


图 5 树形网络(上)/格状网络(下)剩余能量地图

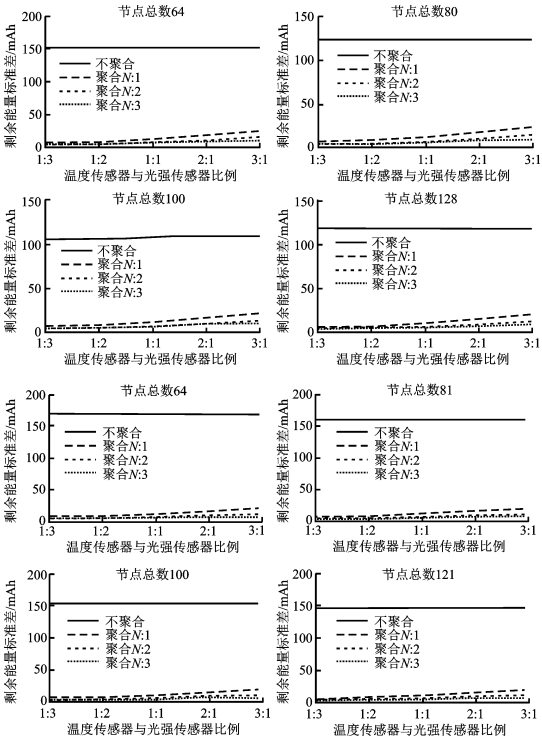


图 6 树形网络(上)/格状网络(下)剩余能量标准差

处理更多的数据,因此网络寿命会越来越低;而聚合的情况下,网络的寿命基本不随节点个数的变化而改变. 这也证明了聚合方案对网络规模的普适性和可扩展性.

5 结束语

本文针对异构传感器网络,提出了基于数据聚

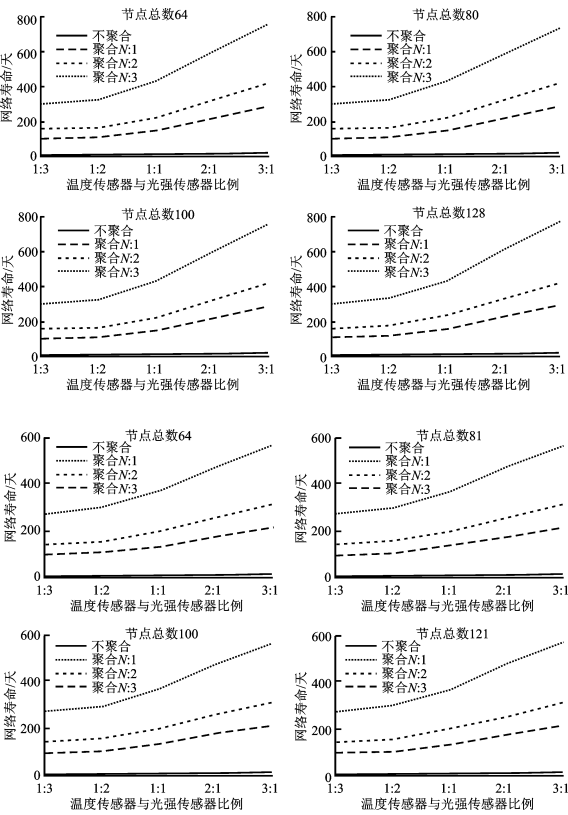


图 7 树形网络(左)/格状网络(右)寿命

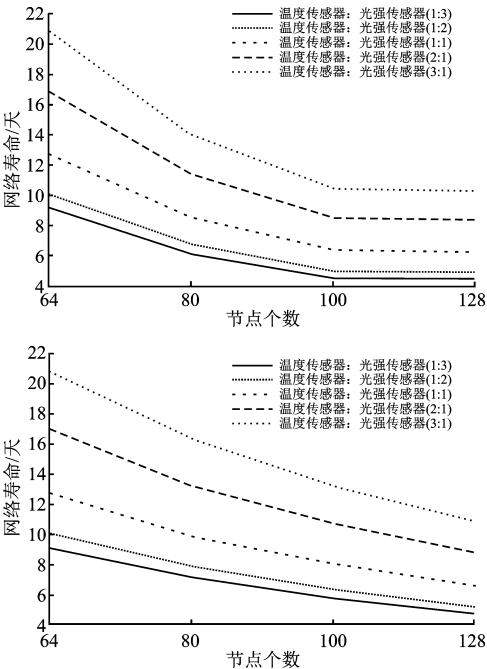


图 8 树形网(上)/格状网(下)不聚合网络
寿命随节点个数增加而减小

合的路由传输算法。算法将节点接收到的不同数据进行聚合,减小了数据传输冗余,节约了节点传输能量,大大延长了网络寿命。并且在不同的聚合系数下,网络寿命也不相同,聚合程度越高,网络寿命越

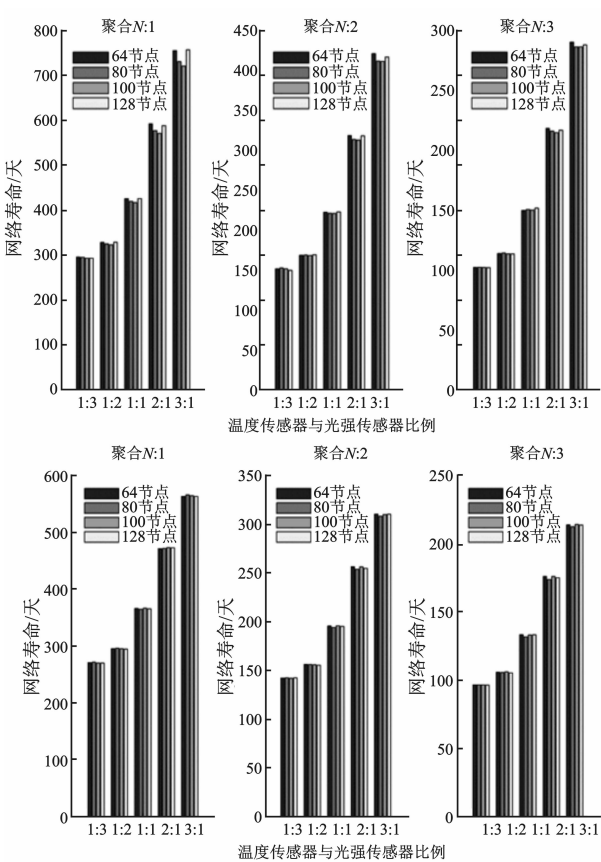


图 9 树形网(上)/格状网(下)聚合情况下

网络寿命随节点个数基本不变长。通过对随机网络和格状网络分别进行仿真实验,证明了算法的有效性和实用性。

参考文献:

[1] Wireless sensor networks: Current status and future trends[M]. CRC Press, 2016.

[2] 乔俊峰,刘三阳,贺慧敏. 一种基于图形密铺的传感器网络分簇算法[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2014,37(4):535-539.

[3] 齐小刚,刘三阳. 无线传感器网络动态路由研究与展望[J]. 计算机科学, 2009, 36(8):1-2.

[4] Rezvani M, Ignjatovic A, Bertino E, et al. Secure data aggregation technique for wireless sensor networks in the presence of collusion attacks[J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2015, 12(1): 98-110.

[5] 罗艺华,张昱,裴旭明,等. 无线传感器网络快速节点唤醒方法与系统设计[J]. 计算机工程, 2016,42(12):17-18.

[6] 左朝树,雷仕英,李云. 机会网络中一种提高 TCP 性能的跨层改进算法[J]. 智能系统学报, 2011, 6(2): 152-159.

有效提升. 因此,本文算法适用于对水印载荷需求高的矢量地图版权保护场合.

参考文献:

[1] 杨辉, 闵连权, 侯翔. 矢量地图数据数字水印抗拼接算法[J]. 测绘科学技术学报, 2015, 32(1): 91-95.

[2] 曹阳, 肖菁, 张文才. 基于零水印和可逆水印的矢量地图多重水印算法[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2016, 48(3): 69-74.

[3] 张弛, 李安波, 闫国年, 等. 以夹角调制的矢量地图可逆水印算法[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(2): 180-186.

[4] Voigt M, Yang B, Brush C. Reversible watermarking of 2d-vector data [C]// Proceedings of the 2004 Multimedia and Security Workshop on Multimedia and Security. IEEE, 2004: 160-165.

[5] Voigt M, Yang B, Brush C. High-capacity reversible watermarking for 2D vector data [C]// Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. SPIE, 2005, 5681: 409-417.

[6] Wang X T, Shao C Y, Xu X G, et al. Reversible data-hiding scheme for 2-D vector maps based on difference expansion [J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2007, 2(3): 311-320.

[7] 邵承永, 王孝通, 徐晓刚, 等. 矢量地图的无损数据隐藏算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(2): 206-211.

[8] 曹刘娟, 门朝光, 孙建国. 基于空间特征的二维矢量地图可逆水印算法原理[J]. 测绘学报, 2010, 39(4):

422-427.

[9] 曹刘娟, 门朝光, 孙建国. 二维矢量地图双重零水印算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(3): 340-344.

[10] 杨成松, 朱长青, 陶大新. 基于坐标映射的矢量地理数据全盲水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(4): 684-688.

[11] 杨成松, 朱长青. 基于常函数的抗几何变换的矢量地理数据水印算法[J]. 测绘学报, 2011, 40(2): 256-261.

[12] Cao L J, Men C G, Ji R R. High-capacity reversible watermarking scheme of 2D-vector data [J]. Signal, Image and Video Processing, 2015, 9(6): 1387-1394.

[13] Sun J G, Zhang G Y, Yao A H, et al. A reversible digital watermarking algorithm for vector maps [J]. International Journal of Network Security, 2014, 16(1): 40-45.

[14] 林威, 翟信德, 朱长青, 等. 基于 QR 码的遥感影像数字水印算法[J]. 北京邮电大学学报, 2015, 38(1): 26-30.

[15] Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature [J]. Can Cartogr, 1973, 10(2): 112-122.

作者简介:

邱银国 男, (1987-), 博士研究生. 研究方向为地理信息安全. E-mail: qiuyinguo@foxmail.com.

孙久运 男, (1974-), 博士, 副教授. 研究方向为信息隐藏.

张伟 男, (1988-), 博士, 讲师. 研究方向为数字水印.

(上接第 109 页)

[7] 刘雪艳, 李战明. 无线传感器网中基于隐私同态的数据聚合方案[J]. 计算机工程, 2014, 40(8): 102-103.

[8] 岳海兵, 葛洪伟. 基于能量分布的异构传感器网络分簇算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 118-119.

[9] 罗俊. 无线传感器网络性能建模与优化设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

[10] Kuo T W, Lin K C J, Tsai M J. On the construction of data aggregation tree with minimum energy cost in wireless sensor networks: NP-completeness and approximation algorithms [J]. IEEE Transactions on Computers, 2016, 65(10): 3109-3121.

[11] 付帅, 马建峰, 李洪涛, 等. 改进的基于分簇无线传感器网络的数据聚合算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2014, 44(4): 1118-1125.

[12] 付菁波. 无线传感器网络分簇路由算法的研究[D]. 西

安: 西安电子科技大学, 2013.

[13] 高峰. 基于自然计算的 WSN 路由技术研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2011.

[14] 梁俊斌, 李陶深. 无线传感网中基于自适应概率广播的数据保存[J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(10): 2229-2240.

作者简介:

武婧婧 女, (1983-), 硕士研究生, 工程师. 研究方向为模式识别和软件工程. E-mail: 13915292@qq.com.

韦素媛 女, (1971-), 博士, 副教授. 研究方向为计算机网络通信.

齐小刚 男, (1973-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为网络优化与复杂系统建模.