

基于多层极小支配集聚类的 WSN 算法仿真与分析^{*})

罗光春 卢显良 李 炯

(电子科技大学信息中心 成都 610054)

摘 要 在无线传感器网络技术中,多层极小支配集聚类算法是对随机聚类算法的改进,本文讨论了图论中的极小支配集算法,并根据实际需要提出了一种改进的简化近极小支配集的算法,大大降低了计算极小支配集的复杂程度,然后讨论了极小支配集应用在无线传感器网络的聚类的实现。最后用仿真程序验证了该算法在节能性方面的突出改进。

关键词 无线传感器网络,多层极小支配集,仿真,分析

Validate and Analyse for WSN Arithmetic Based on Novel Multi-level Minimal Dominating Clustering

LUO Guang-Chun LU Xian-Liang LI Jiong

(Information Centre of UEST of China, Chengdu 610054)

Abstract In WSN technology, Mult-level Minimal Dominating Clustering Arithmetic is the reprove of the random clustering arithmetic, this paper discusses the arithmetic of minimal dominating set, and develops a improved predigestion arithmetic of near minimal dominating set, reduces the workload of compute the minimal dominating set, and we discuss the WSN's realization of minimal dominating, and validate the improvement in the energy saving property.

Keywords Wireless sensor system, Mult-level minimal dominating, Validate, Annlyse

无线传感器网络是由一定数量的传感器节点通过某种有线或无线通信协议联结而成的测控系统。这些节点由传感、数据处理和通信等功能模块构成,安放在被测对象内部或附近。通常尺寸很小,具有低成本、低功耗、多功能等特点^[1]。国内外对无线传感器网络已开展了广泛研究,其中包括美国军方的 C4KISR 计划、Smart Sensor Web、灵巧传感器网络通信、无人值守地面传感器群、传感器组网系统、网状传感器系统 CEC 等项目^[2]。

在该技术领域中,降低计算复杂度和节点能耗这一课题,目前受到业界的广泛关注。传统方式下,聚类算法主要是根据每个节点的随机数进行决策,即所谓的“概率分布定理”,根据该定理可以推导出,随机数决策产生的 header 节点(在统计学上)均匀地分布在无线传感器网络体系中。实际应用中,在统计学上的均匀分布意味着,在网络的部分区域 header 节点的分布过密集,不能发挥最大效用;而在另外一些区域里,header 节点的分布过稀疏,节点的能源消耗往往过大。这些问题表明,我们需要从无线传感器网络的拓扑结构上构造多层聚类的 header 节点,并考虑 header 节点的能量因素^[3,4]。

本文提出了极小支配集聚类算法来解决上述问题,该算法在复杂程度和节能性方面有较大改善,最后用仿真程序加以了验证,并进行了数据分析。

1 多层极小支配集聚类算法在 WSN 中的应用

定义 1 支配集(Dominating Set)定义如下:

对于图 $G=(V,E)$, G 中的任何顶点要么属于支配集,要么与支配集的一个顶点相邻。

定义 2 极小支配集的定义如下:

DS 是图 $G=(V,E)$ 顶点 V 的一个子集,若满足下面两个条件,则 DS 为图 G 的极小支配集。

- 1) DS 集是图的支配集;
- 2) 从 DS 集中任意取走一个顶点,则 DS 集不再是支配集。

如图 1 所示,集合 $DS_1=\{V_1, V_5\}$ 是图的一个极小支配集,集合 $DS_2=\{V_2, V_3, V_6\}$ 也是图的一个极小支配集,集合 $DS_3=\{V_4\}$ 也是图的一个极小支配集。

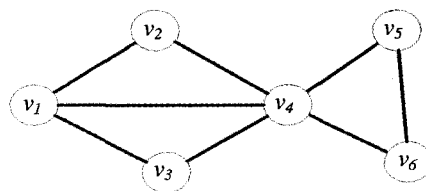


图 1 极小支配集

根据图论中的相关定义、公式和逻辑运算,可以求出相应的极小支配集^[5]。限于篇幅,具体计算方法和过程从略。

2 多层极小支配集聚类算法的设计

多层聚类路由分为这样的步骤:

第一步,每个无线传感器网络节点向它的邻点广播自己的 ID。

第二步,每个无线传感器网络的节点都收到其邻点广播的信息,汇总后生成自身的邻点表。

第三步,邻点表通过洪泛传输到 Sink 节点。

第四步, Sink 节点计算出 1~n 层的极小支配集,和支配

^{*}) 本文受电子科技大学青年博士平台基金支持,基金号:05BS01601;同时受 CNGI“无线传感器网络节点研究”项目支持。罗光春 博士,副教授;卢显良 教授,博士生导师;李 炯 博士研究生,工程师。

集节点自己的路由。

第五步: Sink 节点通过洪泛将路由信息告诉每个无线传感器网络节点。

第六步: 节点根据路由信息, 将传感器收集到的数据传输到第一层 header 节点, 第一层的 header 节点将收到的数据连同自身采集的数据进行融合计算。

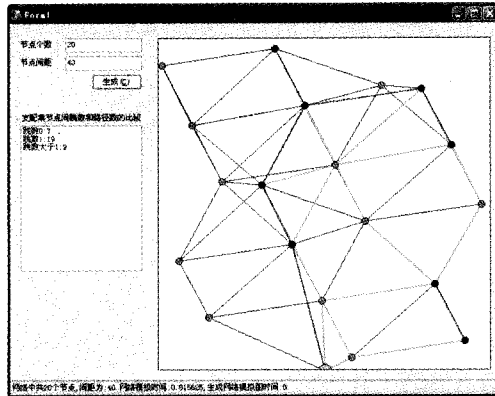
第七步: 第一层的 header 节点将融合后的数据, 传输给第二层的 transfer 节点(我们把中转节点命名为 transfer 节点), transfer 节点经过多次中转以后传输到第二层 header 节点

点, 第二层的 header 节点将所有收到的数据进行融合计算。

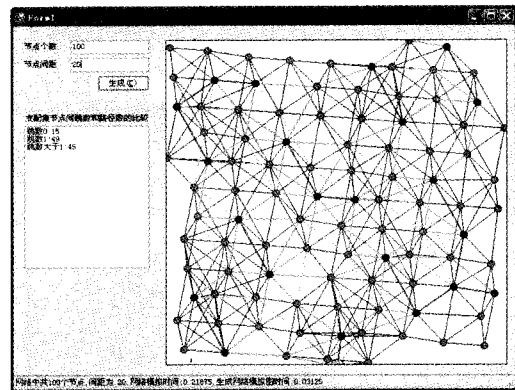
第八步: 类似前面的过程, 第 k 层 header 节点将数据融合以后, 传输到第 $k+1$ 层的 transfer 节点进行中转, 直到传输到第 n 层的 header 节点。

第九步: 第 n 层 header 节点将数据汇总融合以后, 通过第 n 层的 transfer 节点传输到 sink 节点, 完成数据的传输。

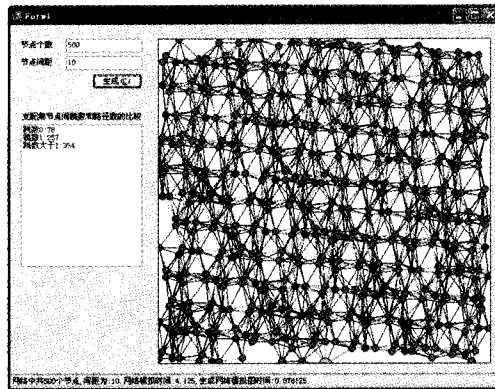
第十步: 定期地重复上述过程, 以保证整个网络的能量消耗均衡且抛弃坏节点。



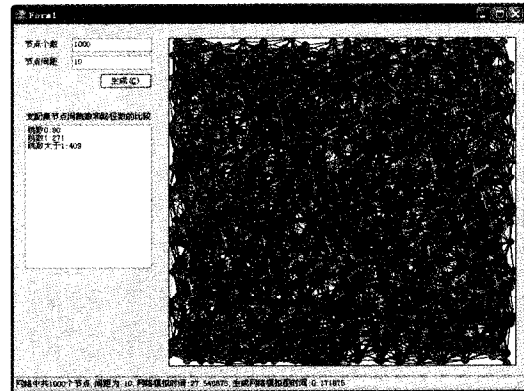
(a) 20 个节点



(b) 100 个节点



(c) 500 个节点



(d) 1000 个节点

图 2 极小支配集的生成

3 多层极小支配集聚类算法的仿真验证

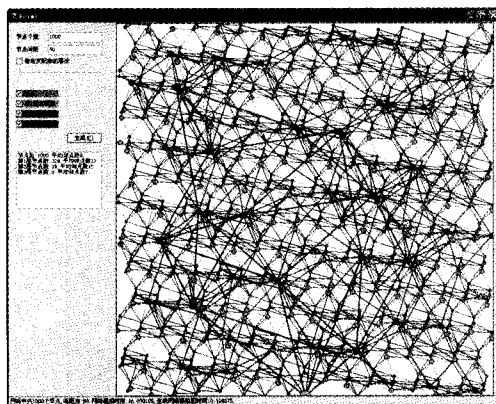


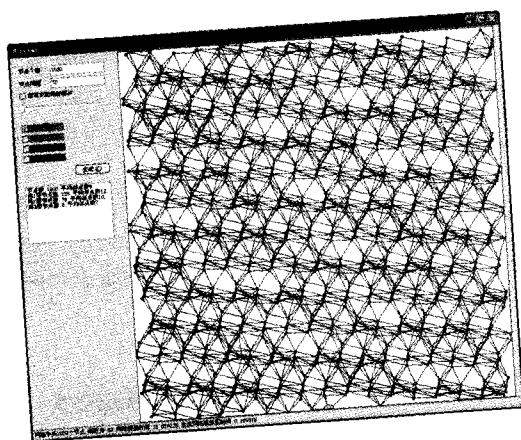
图 3 多层极小支配集聚类算法仿真

本文开发了 WSNsimulate 系统, 对以上算法进行了仿真

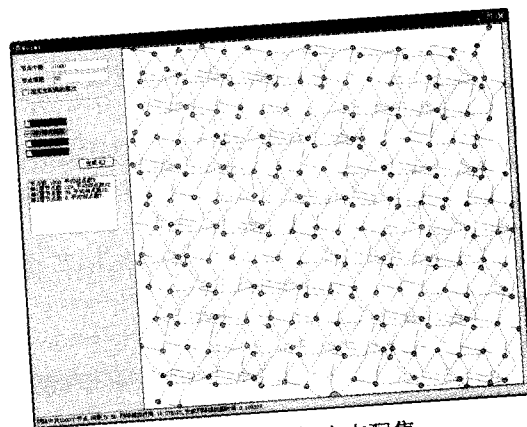
实验, 使用了前面讨论的简化算法, 该算法在实际应用中, 可以完全等价于极小支配集算法。限于篇幅, 相关数据结构定义和程序代码从略。

如图 2 所示, 图中红色的点是极小支配集中的节点, 绿色的点为非极小支配集中的节点, 黑色的线表示从普通节点向 header 节点传输数据的路径, 红色、橙色和紫色的线表示 header 节点之间的数据传输, 其中, 红色线表示 header 节点直接相连, 黄色线表示 header 节点间隔一个普通节点相连, 紫色线表示 header 节点间隔两个普通节点相连。从图 2(d) 中可以很明显看出, 支配集的节点很均匀地分布在无线传感器网络中。接下来, 系统将生成多层的极小支配集, 如图 3 所示, 绿色节点为普通节点, 黄色节点为第一层极小支配集, 紫色为第二层极小支配集, 红色为第三层极小支配集。

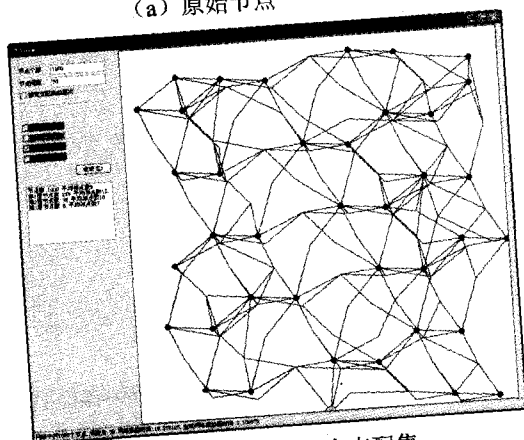
图 4 是分解以后的极小支配集的效果, 可以看出, 进行了多层运算的极小支配集仍然比较均匀地分布在无线传感器网络中。



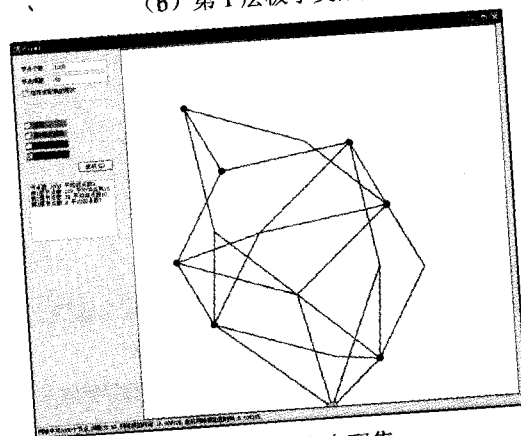
(a) 原始节点



(b) 第1层极小支配集

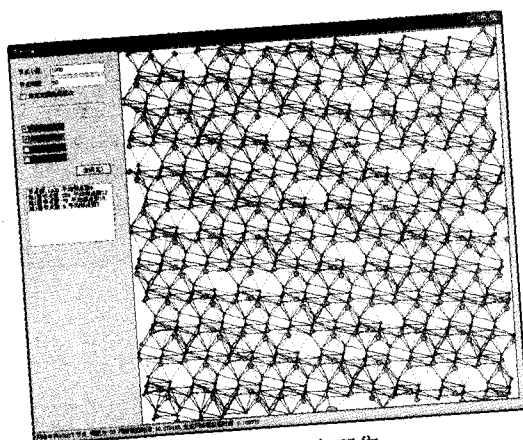


(c) 第2层极小支配集

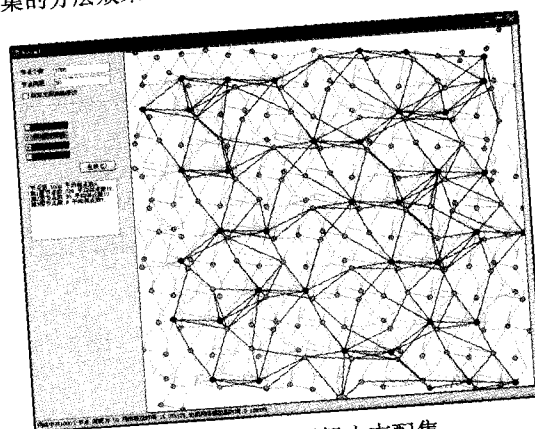


(d) 第3层极小支配集

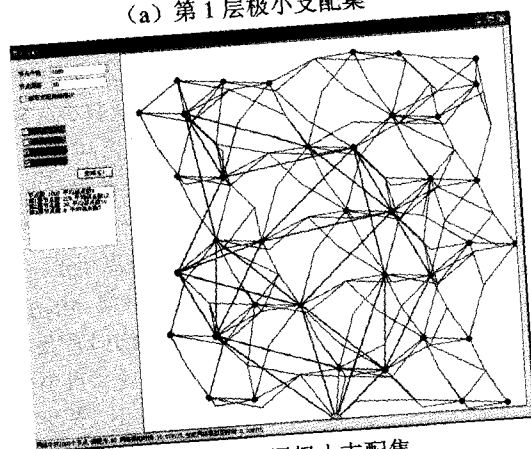
图4 多层极小支配集的分层效果



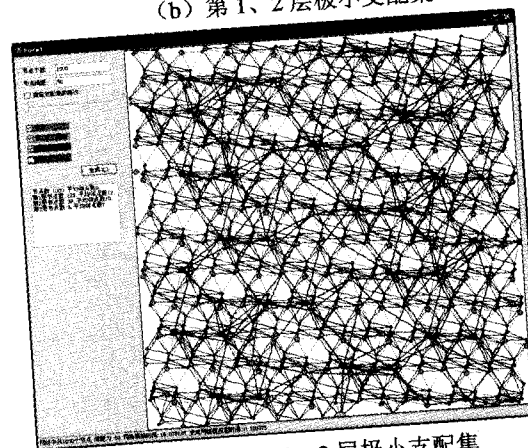
(a) 第1层极小支配集



(b) 第1、2层极小支配集



(c) 第2、3层极小支配集



(d) 第1、2、3层极小支配集

图5 多层极小支配集的分层组合效果

图 5 是极小支配集的分层组合效果,从图中可以很清楚地看出极小支配集是如何组合到一起的。

下面是每层极小支配集的节点个数和邻点个数统计表和节点个数收敛图,这样可以看到极小支配集有效地降低了转发节点的个数,如表 1 和图 6 所示。

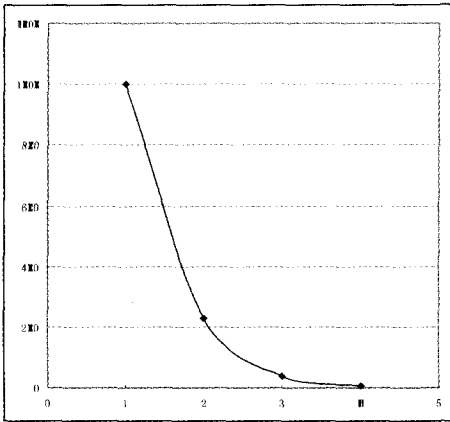


图 6 多层极小支配集节点的收敛图

表 1 节点及邻点个数统计表

支配集	所有节点	第 1 层	第 2 层	第 3 层
节点个数	1000	229	39	8
平均邻点数	9	12	10	7

4 多层极小支配集聚类算法的数据分析

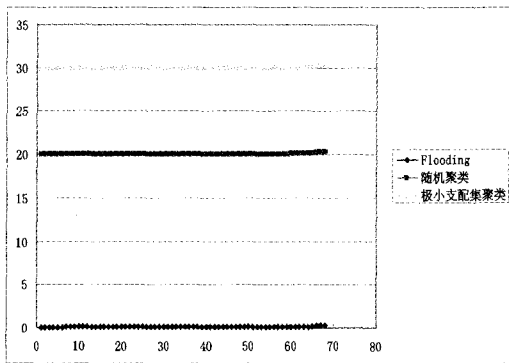


图 7 算法的数据有效率分析

图 7 为多层极小支配集聚类算法的数据有效率分析,横坐标为时间,纵坐标为数据有效性。可以看出,由于极小支配集良好的设计了网络拓扑结构,比随机聚类算法更好地提高

了数据有效率。图 8 表示多层极小支配集聚类算法的延迟时间分析,横坐标为时间,纵坐标为延迟时间,仿真证明了多层极小支配集聚类算法的延迟时间超过洪泛算法 1 倍左右,但比 SPIN 算法的延迟要短。

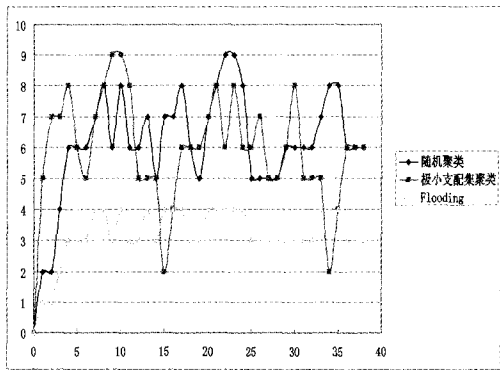


图 8 算法的延迟时间分析

小结 从简单性的角度来看,多层极小支配集聚类算法,将极小支配集的生成工作交给了没有计算资源约束的 sink 节点,解决了随机聚类算法由节点自行选举 header 节点的复杂性问题。

多层极小支配集聚类算法的健壮性较差,在 header 节点发生故障时,不能及时地恢复,只有等到下一轮极小支配集计算时才能修正。

与同类算法相比,多层极小支配集节能性较好,由于数据经过了聚合,并且精确的选择了路由,数据有效率等指标表现很好。多层极小支配集的快速性指标与同类算法相当。

参考文献

- 1 Heinzelman WR, Kulik J, Balakrishnan H. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks . In: Proceedings of the ACM MobiCom' 99. Seattle: ACM Press, 1999. 174~185
- 2 Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: A survey[J]. Computer Networks,2002, 38: 393 ~422
- 3 Shashank M. Distributed Algorithms for TaskingLargeSensor Network[D]. Virginia: The Bradley Department of Electrical and Computer Engineering. Virginia PolytechnicInstitute and State University, 2001
- 4 马祖长, 孙怡宁. 大规模无线传感器网络的路由协议研究. 计算机工程与应用,2004(11)
- 5 卢开澄, 卢华明. 图论及其应用(第二版). 清华大学出版社,2005