

自适应多传感器网络覆盖节点部署技术研究

王改香¹, 高太平²

(1 山西金融职业学院, 山西 太原 030008; 2 山西大学 计算机科学与信息技术学院 山西 太原 030006)

摘要: 基于多传感器节点圆形数据采集区域相切形成一系列相似三角形在几何原理上的有效性和可行性, 提出了一种基于相似三角形的网络节点协同控制节点部署技术. 首先把数据采集区域分割为多个几何相似的三角形, 保证对监测区域无缝覆盖的同时聚集最少的传感器节点; 其次在簇首节点与分簇区域内的传感器节点之间构建高效拓扑; 然后建立一种自适应节点失效重建网络拓扑控制机制. 仿真实验表明, 该节点部署算法可以对监测区域实现完全无缝覆盖, 保持网络整体性能高效以及数据传输的可靠性.

关键词: 多传感器网络; 协同控制; 节点部署; 自适应

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)07-0190-05

Research of an Adaptive Node Deployment Technology for Multi-sensor Networks

WANG Gai-xiang¹, GAO Tai-ping²

(1 Shanxi Professional College of Finance, Taiyuan 030008, China;

2 School of Computer & Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Based on multi-sensor node circular data acquisition area form a series of similar triangle tangent in geometrical on the effectiveness and feasibility, this paper puts forward a method based on similarity triangular network node coordination control nodes deployed technology. First put data acquisition regional segmentation for multiple geometric similar, guarantee the triangle of monitoring area seamless coverage while gathered least sensor node. Secondly in cluster head nodes and clumping area between the sensor node constructing efficient topological. Then build a kind of adaptive node failure rebuild network topology control mechanism. Simulation experiments show that the nodes deployed algorithm is able to monitor the area completely seamless coverage, keep the overall performance of data transmission efficiency and reliability.

Key words: multi-sensor networks; cooperative control; sensor nodes deployment; adaptive

1 引言

随着传感器技术、嵌入式技术和无线通信技术的发展, 多传感器网络得到广泛应用, 例如: 环境监控、军事监控、地震监测和天气预报等领域. 然而, 传感器节点的感知能力、通信能力和节点能量等极为有限, 给应用于不同场景下的节点部署带来了许多困难. 因此多传感器网络中节点的协同控制、部署算法成为广大研究人员的重要课题之一, 并已取得了

一定的研究成果^[1-3]. 文献[1]给出了一种可将平面区域离散为简单几何单纯体集合的 Voronoi 网格技术, 用于多传感器网络覆盖. 文献[2]和[3]分别基于 Voronoi 网格, 研究了多传感器网络中最短路径和最优路径覆盖算法. 但仍存在一些不足.

文中提出了一种基于相似三角形的网络节点协同控制节点部署技术. 旨在建立一种自适应多传感器网络协同控制中的节点部署方案, 在保证网络完全、无缝覆盖, 实时数据传输同时降低网络整体能

收稿日期: 2010-10-10; **修回日期:** 2010-11-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(60803034)

耗.仿真实验表明,该节点部署算法可以对监测区域实现完全无缝覆盖,保持网络整体性能高效以及数据传输的可靠性.

2 传感器网络节点部署原理

传统的无线传感器网络的节点部署有两种基本策略,一种是大规模的随机抛撒(scattering),另一种是针对特定的用途进行有计划布置(planning).在大规模的随机抛撒策略下,为了取得较好的网络覆盖性能,必须投入大量的冗余节点以达到必要的节点密度.对于功能简单、成本较低的低端传感器节点而言,冗余部署很容易实施.但对于具有采集音视频媒体能力的高端传感器节点而言,成本相对较高,大量冗余部署实施有一定的困难,从目前可获得的文献资料来看,在监测环境可知、可达的情况下,多媒体传感器节点(尤其是音视频节点)通常采用有计划布置的方式.但往往对于环境恶劣或人员不可达的情况,我们必须采用随机部署策略.如何在保证网络覆盖质量的同时,降低网络中的节点部署成本成为迫切需要研究和解决的问题.多传感器网络协同控制中,传感器节点部署技术是多传感器网络使用寿命和通信性能的关键技术之一.本节首先分别分析、研究并建立了基于相似三角形几何原理的传感器节点部署、簇首节点部署及其相互之间数据传输的网络拓扑控制机制;然后提出一种节点失效后重新构建网络拓扑的自适应节点部署机制.

2.1 基于相似三角形的网络节点部署算法

由文献[4]可知,若所有传感器节点的数据采集区域为圆形,则节点最大有效覆盖面积为数据采集区域内两两相邻的三个传感器节点部署后的网络拓扑结构必须满足:

(1) 三个传感器节点数据采集圆形区域圆周相互交于一点,并且圆心构成一个等边三角形;

(2) 当任意两两相邻三个传感器节点部署后的监测区域网络拓扑结构形如图1,则传感器节点有效覆盖面积达到最大.

2.1.1 传感器节点部署及其控制

本文假设多传感器网络,传感器节点监测区域为矩形且记为:MS(width, height),传感器节点数据采集圆形区域的覆盖范围均为:半径为R的圆形.

为了保证可以实现完全地、无缝地覆盖监测区域MS,该区域边界附近也必须在覆盖范围内.图1是传感器节点的部署方案之一:假设圆C1、圆C2、圆

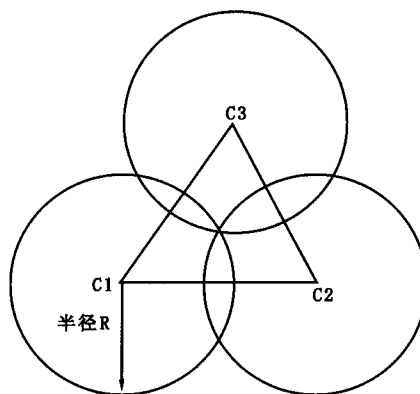


图1 三个传感器节点圆形区域
最大有效覆盖面积

C3为三个相邻传感器节点数据采集覆盖区域的圆周,圆C1、圆C2相切于N两点,圆C1、圆C3相切于M点,圆C2、圆C3相切于P点.三个节点的部署形式尚未满足上文所述的2个要求.因此,在圆C1、圆C2、圆C3中间加入一个节点,其监测区域的圆周长记为圆C4.将圆C1、圆C2和圆C3的三个圆心连接起来,成为一个三角形 $\triangle C_1C_2C_3$,要求圆C4的圆心C4与圆C1、圆C2和圆C3的三个圆心的距离相同,则将圆C4的圆心C4与圆C1、圆C2和圆C3的三个圆心相连,则三角形 $\triangle C_1C_2C_3$ 被分割为三个等腰三角形,分别为

- (1) $\triangle C_1C_3C_4$ 且有一条边过圆C1与圆C3的切点M;
- (2) $\triangle C_1C_2C_4$ 且有一条边过圆C1与圆C2的切点N;
- (3) $\triangle C_2C_3C_4$ 且有一条边过圆C2与圆C3的切点P.

水平方向过O点作线段OX,垂直方向过O点作线段OY,此时,OX以上、OY右侧监测区域实现了无缝覆盖,数据完全采集没有死角.综上,设OX为数据采集监测区域下边界,OY为数据采集监测区域左边界.监测区域内的传感器节点按照上文所述两条要求进行部署并建立网络拓扑,同时消灭数据采集监测区域MS右边界和上边界附近的盲区.在给定的数据采集区域内,基于三角形几何原理的网络协同控制节点覆盖的部署方案,可以对监测区域建立完全无缝覆盖及网络拓扑,并使节点的有效覆盖面积最大.

根据图2,建立三个传感器节点圆形监测区域的几何关系,可得出监测区域MS为了达到完全且无缝覆盖整个区域构建网络拓扑时所需的最小传感器节点数如下.

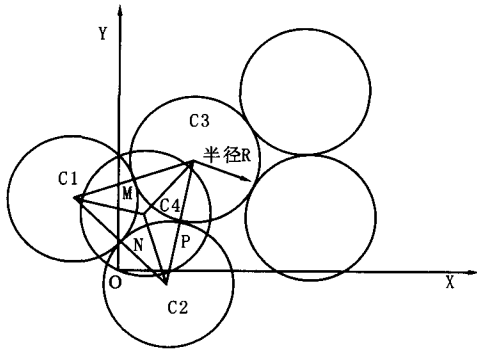


图2 监测区域边界节点部署方案

$$\text{Node}_{\min} = \text{size} \left\lceil \frac{\text{width}}{2R} \right\rceil \cdot \text{size} \left\lceil \frac{\text{height} - R}{\sqrt{3}R} \right\rceil \quad (1)$$

其中, $\text{size} \left\lceil \frac{\text{width}}{2R} \right\rceil$ 表示不大于表达式 $\frac{\text{width}}{2R}$ 的最大整数; $\text{size} \left\lceil \frac{\text{height} - R}{\sqrt{3}R} \right\rceil$ 表示不大于 $\frac{\text{height} - R}{\sqrt{3}R}$ 表达式的最大整数。

2.1.2 簇首节点部署及其控制

对多传感器网络进行分簇操作后, 每个分簇中的簇首节点的部署及其节点控制机制直接影响整个多传感器网络的通信性能和网络通信能耗。文中假设, 所有簇首节点通信区域是通信半径为 R_{cluster} 的圆形区域。

图3可以看出, 部署簇首节点的原则与2.1.1中部署传感器节点的方案相似, 因此相似三角形几何原理同样适用于簇首节点部署。

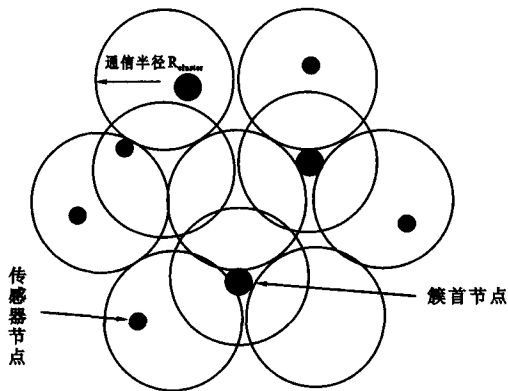


图3 簇首节点通信拓扑控制

为了在数据采集监测区域上构建完全的、无缝的网络连通拓扑, 任意两两相邻的三个簇首节点之间的圆形数据采集区域相切, 圆心相连后都要构成相似三角形, 如图4所示。

从图4中可以看出, 两两相邻的三个簇首节点圆形区域相切后, 三个圆心相连构成一系列相似三角形, 三个簇首节点形成的三角形区域, 再加入一个簇首节点, 依次累加, 可以形成一系列二级簇首节

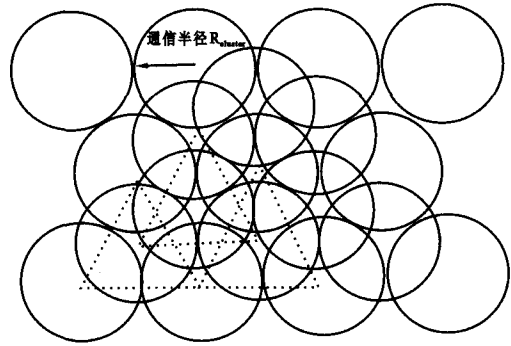


图4 簇首节点部署方案

点。因此基于相似三角形几何原理, 可以构建一跳路由网络拓扑, 二跳路由网络拓扑等。从图4所示的相似三角形几何关系可得出监测区域MS为了达到完全且无缝覆盖整个区域且所有簇首节点可以完全、实时收集来自各分簇监测区域内所有传感器节点发来的数据而构建的网络拓扑结构时, 所需的最小簇首节点数如下:

$$\text{Node}_{\text{cluster}_{\min}} = \text{size} \left\lceil \frac{\text{width}}{2R_{\text{cluster}}} \right\rceil \cdot \text{size} \left\lceil \frac{\text{height} - R_{\text{cluster}}}{\sqrt{3}R_{\text{cluster}}} \right\rceil \quad (2)$$

其中, $\text{size} \left\lceil \frac{\text{width}}{2R_{\text{cluster}}} \right\rceil$ 表示不大于表达式 $\frac{\text{width}}{2R_{\text{cluster}}}$ 的最大整数; $\text{size} \left\lceil \frac{\text{height} - R_{\text{cluster}}}{\sqrt{3}R_{\text{cluster}}} \right\rceil$ 表示不大于表达式 $\frac{\text{height} - R_{\text{cluster}}}{\sqrt{3}R_{\text{cluster}}}$ 的最大整数。

2.1.3 传感器节点与簇首节点部署及其网络拓扑控制

多传感器网络中, 传感器节点与簇首节点虽然部署方案及其几何原理类似, 但是各自的通信任务和作用各不相同。为了保证传感器节点和簇首节点数据信息采集的完整性、数据传输的可靠性和实时性, 多传感器网络协同控制、节点控制方案要求, 传感器节点采集到圆形区域内数据信息后, 经最小跳数可将采集到的监测数据发送到簇首节点, 因此传感器节点必须完全无缝覆盖数据采集监测区域, 簇首节点收集数据信息的覆盖范围必须完全覆盖一个个分簇监测区域, 收集来自各个分簇发来的各传感器节点发送的数据, 经一级和二级监控、通信达到对数据采集监测区域的完全无缝覆盖构建多传感器网络协同控制网络拓扑。

结合2.1.1节传感器节点和2.1.2节簇首节点的部署方案, 本节建立了基于相似三角形、圆形区域完全、无缝覆盖多传感器网络节点部署方案。传感器节点和簇首节点在多传感器网络协同控制时, 各节

点监测区域内的高效、节能部署方案如图5所示.其中, $width$ 表示监测区域的长, $height$ 表示监测区域的高;黑点表示传感器节点和簇首节点数据采集圆形区域的圆心, $R_{cluster}$ 表示簇首节点的通信半径,传感器节点的覆盖半径记为 R .

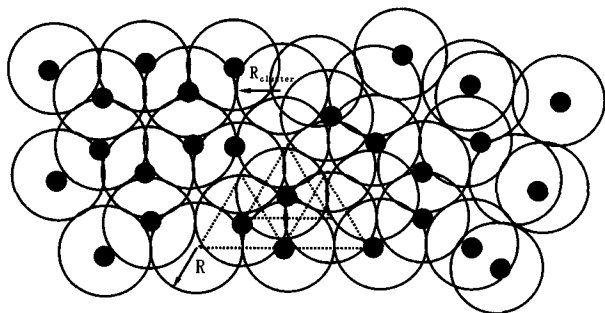


图5 簇首节点部署方案

根据图5中传感器节点和簇首节点在多传感器网络中的部署方案,可以得到在对监测区域实现完全、无缝覆盖时,所需的最小传感器节点数和簇首节点数之和,如式(3)所示:

$$\begin{aligned} \text{Node_cluster}_{\min} = & \text{size} \left\lceil \frac{\text{width}}{2R_{\text{cluster}}} \right\rceil \cdot \text{size} \left\lceil \frac{\text{height} - R_{\text{cluster}}}{\sqrt{3}R_{\text{cluster}}} \right\rceil + \\ & \text{size} \left\lceil \frac{\text{width}}{2R_{\text{cluster}}} \right\rceil \cdot \text{size} \left\lceil \frac{\text{height} - R_{\text{cluster}}}{\sqrt{3}R_{\text{cluster}}} \right\rceil \end{aligned} \quad (3)$$

其中, size 函数及其参数的意义与式(1)和(2)相同.

2.2 自适应节点部署及其控制

上节中基于相似三角形几何原理构建的多传感器网络节点部署方案是基于所有节点圆形数据采集区相切后圆心连接成为相似三角形,但传感器节点初始化阶段随机部署在数据监测区域时,是难以构建几何图形的.因此,本节给出从初始化阶段,移动所有节点逐步使其圆形区域相切形成相似三角形,以便实现对数据监测区域完全、无缝覆盖,构建完整多传感器网络拓扑.该机制同时考虑了节点能耗、通信效率以及路由性能等方面.

为了避免因某个簇首节点失效而导致整个网络瘫痪,本节建立一种自适应节点部署机制.算法描述如下:

(1) 计算监测区域内相似三角形顶点即各节点圆形数据采集区域的圆心的坐标为 $C(j)$. X 和 $C(j)$. Y ;

(2) 初始化阶段.初始化节点部署所需的所有参数和变量,包括:传感器节点数据采集覆盖半径 R ,传感器节点随机部署后坐标 $\text{Node}(j)$. X_{random} 和 $\text{Node}(j)$. Y_{random} ;

(3) 判断相似三角形定点处覆盖度是否达到分簇区域完全覆盖;若未达到,则返回步骤(2);

(4) 若检测到某簇首节点能量耗尽,已经失效,则检测周边处于睡眠状态的节点,激活该节点,返回步骤(2),然后重新建立圆形区域相切,构建相似三角形;

(5) 完成(1)~(4)步操作,直至所有节点包括传感器节点和簇首节点,达到完全、无缝覆盖;

(6) 实时监测各个分簇区域和整个多传感器网络是否有失效节点,若有返回步骤(4).

3 仿真实验与性能分析

本节利用 MATLAB 对上文建立的多传感器网络节点部署算法进行仿真验证.实验中,假设数据监测区域 MS 的 $width = 80$, $height = 100$,所有传感器节点的数据采集圆形区域的通信半径是 6,要求对设定的监测区域实现完全无缝覆盖通信.在该区域内,随机部署传感器节点和簇首节点.仿真参数是基于 Crossbow 公司的使用 ATmega128L 处理器^[5]和 CC1000 射频模块的 Mica2 型节点^[6]的多传感器网络平台^[7],如表1所示.

表1 参数设置

名称	数值
参考点的功率损耗	55dB
发射功率	0dBm
噪声功率	-105dBm
CC1000 电压	3V
ATmega128L 处理器电压	5V
ATmega128L 处理器电流	8mA
CC1000 发射端电流	8.5mA
CC1000 接收端电流	7mA
发射数据速率	38.4kbaud
传感器节点启动能耗	2.5nJ/frame

图6给出了经历32次循环后网络达到完全、无缝覆盖的最终传感器节点部署.可以看出,文中建立的节点部署算法有效地降低了传感器节点能耗,继而有效延长了整个网络生存时间,同时在通信能得到自适应优化控制.因此基于相似正三角形的多传感器网络协同控制节点覆盖部署算法,在实现监测区域的完全无缝覆盖的同时解决了多传感器网络中的能耗问题.

4 结束语

文中通过数学分析的方法,提出了一种基于相似三角形的多传感器网络协同控制的节点部署机制.该机制将数据采集监测区域分割为若干个相似三角形,

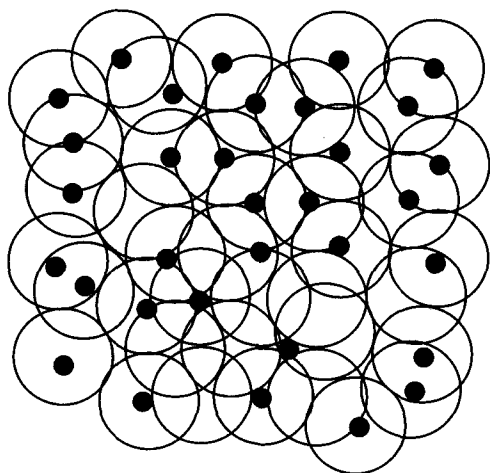


图6 多传感器网络节点部署

当网络中某个节点失效后,可自适应启动睡眠节点,重新建立三角形通信区域,保证可靠、完全、实时和无缝采集、传输数据;并给出所需最小传感器节点和簇首节点的数目。仿真实验表明,该机制是一种高效节能且能够完全覆盖给定监测区域的节点部署方案。

参考文献:

- [1] Wang L, Shen H, Chen zhe et al. Voronoi tessellation based rapid coverage decision algorithm for wireless sensor networks[J]. Computer Science, 2007, 46(11): 495-502.

(上接第 189 页)

进行控制,在离散化过程中丢失了大量的信息,所以分类预测的精度比 Chi merge 和 IED 方法平均低很多。

4 结束语

连续属性离散化方法的研究对于计算机应用的多方面研究与应用有着重要作用。近年来尽管有多种连续属性离散化方法提出,但具有一定影响和一定理论意义的方法并不多。文中提出一种基于信息熵和概率理论的数据离散化方法,该方法综合地考虑了各对合并区间与目标类之间的独立性,能够更合理准确地离散化。

参考文献:

- [1] Dougherty J, Kohavi R, Sahami M. Supervised and unsupervised discretization of continuous feature[C]// Machine learning: Proc. 12th Int'l Conf. Austin, Texas: Morgan Kaufmann Publishers, 1995: 194-202.
- [2] Fayyad U, Irani K. Multi-interval discretization of

- [2] Meguerdichian S. Coverage problem in wireless Ad Hoc sensor networks[C]// Proc of the 20th Annual Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Anchorage, AK, USA: IEEE, 2001 (3): 1380-1387.
- [3] YE F Zhang Honghai, Lu Songwu, et. al. A randomized energy conservation protocol for resilient sensor networks[J]. Wireless Networks, 2006, 12 (5): 637-652.
- [4] 袁辉勇, 阙清贤, 羊四清. 传感器网络中基于能耗均衡的节点优化部署[J]. 计算机仿真, 2010(8): 100-102.
- [5] 汪学清, 等. 无线传感器网络中基于网格的覆盖问题研究[J]. 计算机科学, 2006, 33(11): 38-39.
- [6] 屈斌, 胡访宇. 高效节能的无线传感器网络路由协议研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25(5): 113-116.
- [7] 周永华, 李鹏, 毛宗源. 一种新的混合杂交方法及其在约束优化中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2006: 48-50.

作者简介:

王改香 女, (1970-), 硕士, 讲师. 研究方向为计算机网络技术。

高太平 男, (1970-), 教授, 硕士生导师. 研究方向为图论、网络优化、算法设计与分析。

continuous-valued attributes for classification learning [C]// Proc Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1993. 1022-1027, 1993.

- [3] Kurgan L A, Cios K J, CAIM discretization algorithm [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(2): 145-153.
- [4] Kerber R. ChiMerge: discretization of numeric attributes[C]// Proceedings Ninth National Conference on Artificial Intelligence. [S. l.]: AAAI Press, 1992: 123-128.
- [5] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11 (5): 341-356.
- [6] Hettich S. Bay S D. The UCI KDD archive [DB/OL] [2010-12-01]. <http://kdd.ics.uci.edu/>, 1999.

作者简介:

高建国 男, (1970-), 硕士, 副教授, 研究方向为数据挖掘、模式识别、数据库及数据库应用开发。

崔业勤 女, (1973-), 硕士, 副教授, 研究方向为人工智能、数据挖掘、数据压缩与多媒体应用。