

文章编号:1001-5078(2023)09-1388-05

· 光纤传感及光通讯技术 ·

基于数据分析算法的多目标覆盖无人机网络 布局方法研究

柳学斌¹, 李翰山²

(1. 西安工业大学机电工程学院, 陕西 西安 710021; 2. 西安工业大学电子信息工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要:多目标叠加是一个新的综合性概念,它能满足多个约束条件和性能指标,同时具有多个独立于系统的目标函数,在军事、航天、工业等领域有着广泛的应用。同时,可以满足不同情况下对系统资源和安全性的各种要求。本文首先分析了数据分析方法在无人机网络布局方法中的应用,主要是对采集到的数据进行数据筛选、数据预处理、决策树分类,然后利用决策树分类进行无人机网络规划;其次介绍了无人机传感器多目标覆盖模型,并介绍了两种常用模型;最后,本文研究了基于数据分析算法的多目标覆盖无人机网络布局方法。

关键词:数据分析方法;多目标覆盖;无人机网络布局方法

中图分类号:TP212;TP319 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2023.09.013

Research on multi-target coverage UAV network layout method based on data analysis algorithm

LIU Xue-bin¹, LI Han-shan²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Technology University, Xi'an 710021, China;

2. School of Electronic Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Multi-objective overlay is a new comprehensive concept that satisfies multiple constraints and performance metrics while having multiple objective functions independent of the system and is widely used in many fields such as military, aerospace and industry. At the same time, it can meet various requirements for system resources and security in different situations. Firstly, the application of data analysis method in UAV network layout method is analyzed, which mainly performs data screening, data pre-processing, decision tree classification on the collected data, and then plans the UAV network by decision tree classification. Secondly, the multi-objective coverage model of UAV sensors is introduced and two commonly used models are presented. Finally, the multi-target coverage UAV network layout method based on data analysis algorithm is investigated.

Keywords: data analysis methods; multi-target coverage; UAV network layout methods

1 引言

多目标网络是相互连接的多个节点具有连通性和无约束、独立访问控制和资源共享功能的网络,具

有独立运动的能力^[1]。多目标覆盖是一种高效、经济、有效的提高系统性能和整体效率的新技术,它是一种具有自主学习能力的网络,能够为不同的目标

作者简介:柳学斌(1983-),男,博士研究生,高级软件工程师,主要从事智能控制、机器视觉和大数据分析方面的研究。

E-mail:344601319@qq.com

通讯作者:李翰山(1978-),男,教授,博士生导师,主要从事靶场测试技术,光电检测与测控技术方面的研究。

E-mail:1764100164@e.gzhu.edu.cn

收稿日期:2022-09-23;修订日期:2022-11-16

用户提供独立的访问控制服务。多目标覆盖无人机网络布局方法有很多优点:首先,在不同地理环境下,目标覆盖无人机具有独立的访问控制功能,可以有效解决单个目标用户在不同网络环境下无法访问控制区域的问题,同时可以根据实际情况调整各节点之间的距离,从而提高系统性能;其次,在进行多目标网络布局时,可以根据实际情况确定目标节点的数量,同时通过多用户访问控制策略对每个任务进行调度^[2-3]。但由于地面环境受地理条件影响更大、制约更多,对生命安全和经济利益也存在严重威胁,难以大规模推进开发,因此对现有技术的改进十分必要^[4]。

2 数据分析算法在无人机网络布局中的应用

数据分析算法在飞机布局优化过程中起着非常重要的作用,主要是利用计算机模拟实际飞行环境,然后对获取的信息进行处理。由于各种因素的影响,测量数据存在误差,可能导致最终的数据结果与实际情况存在差异,因此在自由网络均衡之前,根据数理统计的原理将数据划分为数据均值的置信区间。通过加权平均得到最终的数据分布,然后对得到的结果进行精度评估,再利用GPS RTU 得到无人机在空中和地面平台的实时动态覆盖情况^[5]。

数据处理过程包括:数据过滤、数据预处理、决策树分类等。数据过滤是一种高效、快速的数据处理技术,其主要功能是对获取的目标进行过滤,以获得最优解。本文主要采用数据分析算法进行数据筛选,首先对目标区域的网络拓扑结构和数据采集情况进行分析,通过建立模型得到各节点在网络中所扮演的角色以及各决策单元与调度中心之间的权重,然后根据实际情况计算出每个特定位置下对应的两个最优解个数并分配给两个用户。数据预处理是指对获取的原始数据进行预处理的过程,即从大量的冗余信息中提取出需要分析描述的特征,并将这些特征按照一定的规则进行分类,以获得有效信息。该方法首先对数据进行预处理,将其划分为有限块,然后建立模型,利用合适的方法计算出目标区域内网络的节点数、平均相对密度和权重比等特征参数。最后,利用加权贴进度法确定最小化代价函数和综合最优因子权重,得到多级(最短距离)覆盖效果的最

优解,并根据得到的优化结果导出各优化决策表和决策树。决策树分类算法是一种利用先验信息的不确定性来预测树分类模型中每个识别个体在特定条件下可能发生的动态变化,并基于这种趋势进行决策,从而达到全局最优或局部最优的方法^[6]。

3 无人机传感器多目标覆盖模型

3.1 无线传感器网络

无线传感器网络(WSN)主要由传感器节点、感知网络 and 用户三部分组成,在实际应用中具有非常重要的地位。无线传感器网络是由节点相互连接的,每个节点可以通过与其他三个单元进行数据传输,因此节点间的相互通信成为无线传感器网络研究中的一个非常重要的内容。传感器节点包括普通节点、聚合节点和管理节点,与聚合节点的通信是不同的。一般在普通节点和管理节点之间进行数据传输时不会发生冲突,但在管理节点和聚合节点之间进行数据传输时容易发生冲突,所以在实际的无线传感器网络研究中,可以将 WSN 作为多目标覆盖系统。该系统主要用于解决远距离环境下地面信息无法获取、难以对实时地理位置做出有效判断等问题,也可应用于无人机巡航监测和无人驾驶应用,实现多目标覆盖构建和优化调度^[7]。WSN 体系结构如图 1 所示。

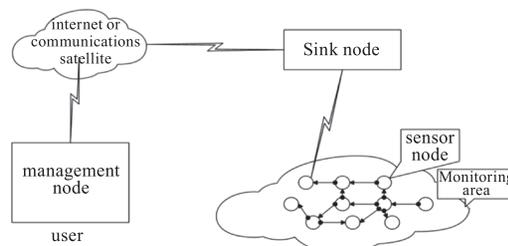


图 1 无线传感器网络体系结构

Fig. 1 Wireless sensor network architecture

3.2 传感器节点组成

传感器节点是无线传感器网络中重要的基础构件,其性能直接影响到无线传感器网络的可靠性和有效性。传感器节点的工作就是收集数据信息,并将处理后的数据信息传递给终端,从而实现无线传感器网络节点之间的通信。传感器节点的优点是体积小、重量轻、易于布置,可以有效地提高节点的效率,降低网络成本。传感器节点之间可以通过协议等方式进行通信,实现多目标覆盖。传感器节点的基本组成部分(如图 2 所示)包括:电源部分、数据采集、数据和信号处理、无线射频单元。

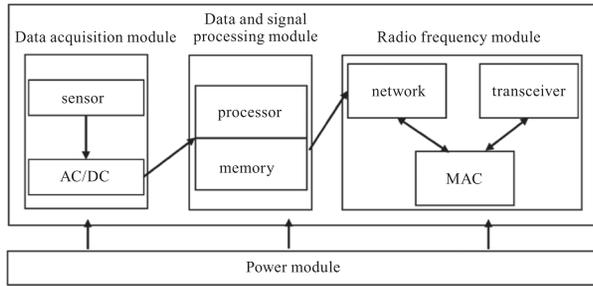


图 2 传感器节点基本构造块

Fig. 2 Basic building blocks for sensor nodes

供电部分是无线传感器网络的核心部分,可以保证整个设备系统的正常运行,而无线接入网为其提供了很好的保障。数据采集模块分为传感器和 AC/DC 两部分,主要用于采集目标数据,并将采集到的数据通过网络传输给数据和信号处理模块。数据与信号处理模块分为处理器和存储器两部分,完成对目标数据的处理,从而实现无线传感器网络与多用户无线接入网的通信,提高系统资源的利用率。无线射频模块将传感器节点之间的无线信号汇聚,通过网络传输给控制器模块,实现目标数据与传感器节点之间的信息交换^[8]。

3.3 无线传感器网络覆盖

无线传感器网络是一种分布式、低能量密度、高功耗的网络节点,可以在任何地方使用。它可以用来感知周围的环境,并通过通信链路转发给周围。目标覆盖无人机的主要任务来自以下三个方面:首先,它得保证地面设备与导航系统之间的正常通信,以保证无人机在空中的导航系统能够正常工作;其次是对地面终端进行有效控制,协调处理等工作,然后是对其周边环境进行合理有效的管理;最后,对地面终端设备进行合理的管理。最后,对地面终端设备进行有效的布局,保证无人机能够在空中正常飞行,最终实现整个系统网络结构的高效。

3.3.1 覆盖的感知模型

在实际应用中,不同的目标覆盖也会产生不同类型的感知体验,如根据目标覆盖分为均匀分布、局部离散和混合高斯三种,而根据不同目标覆盖模型的不同特点又可以分为混合高斯和网络密度。基于无线传感器规划中多采用的数据分析算法,实际应用中由于环境因素、实时时间等的影响,存在多种优化方案,常用的有几种典型模型:布尔感知模型和概率感知模型等^[9]。

布尔感知模型是一种区域内节点覆盖的模型,

其核心思想是将一个网络抽象为若干个节点,每两个相邻的单个节点共同构成一个整体。在这种分布式树状图下进行网格划分时,首先确定各顶点通过相邻网格元素相互建立互联关系,实现整个拓扑的构建,然后通过划分网格确定各节点之间相对独立的连接关系,最后在此网络中进行计算。布尔感知模型的数学表达式如方程(1)所示:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, d(i,j) \leq r_i \\ 0, d(i,j) \geq r_i \end{cases} \quad (1)$$

其中,点 i 是目标区域中的一个点; $d(i,j)$ 是点 j 到传感器节点 i 的欧几里得距离。点 j 被点 i 覆盖,或者不仅被感知的距离 r 所覆盖,而且被 $d(i,j)$ 之间的大小所覆盖。当 $d(i,j) \leq r_i$ 时,节点 j 可被节点 i 感测,并标记为 1。反之,当 $d(i,j) \geq r_i$ 时,节点 j 与节点 i 之间的距离超过节点 i 的感知距离,节点 j 不能被感知并标记为 0。

概率感知模型是在认知理论和现代计算技术基础上发展起来的预测方法。它将人类对不确定性因素影响的识别转化为能够描述未知事物或现象之间联系和变化规律的东西,并能够从这些已知信息中提取有用的数据。模型目标被感知的概率不是一个常数,而是由目标到节点的距离以及节点的其他物理特性等多种因素决定的变量。当节点 i 上不存在邻居节点时,节点 i 在当前检测区域中感测另一节点 j 的概率示于等式(2),(3)和(4):

$$p_{ij} = e^{-\alpha d(i,j)} \quad (2)$$

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, d(i,j) \leq r_1 \\ e^{-\alpha[d(i,j)-r_1]}, r_1 < d(i,j) \leq r_2 \\ 0, r_2 < d(i,j) \end{cases} \quad (3)$$

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{[1 + \alpha d(i,j)]^\beta}, d(i,j) \leq r \\ 0, d(i,j) \geq r \end{cases} \quad (4)$$

其中, $d(i,j)$ 为节点 i 与 j 之间的欧几里得距离; α, β 为与传感器物理特性相关的类型参数,覆盖概率在 0 ~ 1 之间。若节点 i 与相邻节点的感知区域重叠面积为 M ,且各节点彼此独立感知目标点,则 M 中任一节点 j 的感知概率如式(5)所示:

$$P_j = 1 - (1 - p_{ij}) \prod_{k=1}^N (1 - p_{kj}) \quad (5)$$

3.3.2 无线传感器网络覆盖算法分类

在实际工程中,通常根据不同的数据处理需求

选择适合无人机规划管理应用需求的覆盖系统。每个区域网络拓扑和节点的各个部分相互影响,形成复杂的网络场景,不同的场景使用不同的覆盖方式,主要的覆盖方式有点覆盖、面覆盖和栅栏覆盖,这三种覆盖方式对应图3中的(a)、(b)、(c),图中的正方形表示目标区域,圆形表示工作节点的感知范围,三角形表示监测目标,黑色实心点表示工作的传感器节点,白色空心点表示休眠的传感器节点。

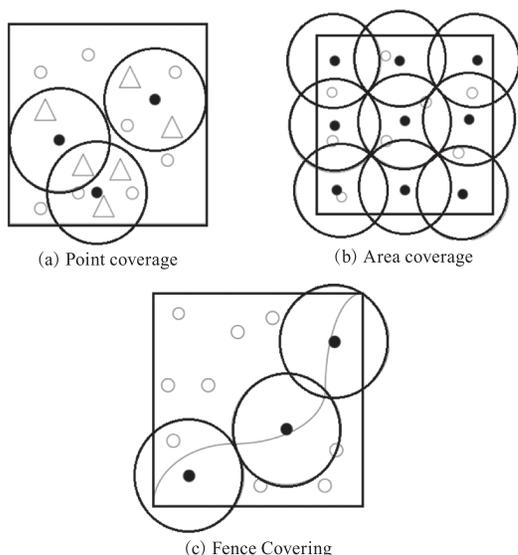


图3 覆盖法

Fig. 3 Coverage method

4 基于数据分析的多目标覆盖无人机网络布局方法

4.1 数学规划算法

合作路径的规划问题实际上是一个基于约束的最优问题,是典型的多目标优化问题。在实际应用中,由于不同地区的网络规模、地理环境和使用情况各不相同,各地区之间的规划应考虑节点自身的条件和约束等方面,制定出最合理、最具成本效益的方案,以达到系统优化的目的。但是,这种方法也有其自身的缺点,它计算量大,过程复杂,并且需要使用相关的软件^[10]。

4.2 动态规划方法

动态规划是求解多步问题的有效方法。由于现实中存在许多不确定性,优化问题的求解往往时间复杂度高、数据量大、处理难度大。动态规划方法是一种解决问题的方法和思路,它不是一种特定的算法。在实际应用中,我们可以通过动态规划的思想,根据具体问题的要求选择最优算法。

4.3 离散搜索法

离散搜索方法主要用于获取复杂场景中两个目标的最短路径,并求解最短路径上的最优解。该算法具有搜索速度快、准确率高、能够快速获取网络拓扑图和资源分配等优点,但也存在一些不足。例如,当目标到达时,需要通过不断调整自身位置或增加服务节点来实现局部优化,以达到最终目标。在实际应用中,由于目标类型和数量的不断增加,不同类型的网络拓扑对其性能有显著影响,因此需要选择合适的节点数量来提高系统效率。同时,还需要考虑多个目标覆盖区域之间存在相关性。

4.4 智能优化方法

智能优化方法是通过模拟人脑,在一定条件下自动控制系统,使整个系统得到优化的方法。该方法可以实现多参数变量约束的复杂网络问题的求解。它的优点是能够获得全局范围内的所有可行解。其缺点是需要大量人力参与解决计算工作量大、效率低等问题,智能优化算法是一种新发展起来的技术理论和计算机辅助设计理念,在实际应用中具有非常广阔的应用空间和良好的效果。

4.5 人工势场法

人工势场法首次应用于机器人避障路径规划。人工势场法的原理是通过分析目标在环境中的特征来获取目标信息,然后根据数据计算出最优解。然而,人工势场方法存在一些缺陷,如无法得到真实有效的观测实际路径点、节点间距离和方向信息,且由于不同区域之间的相互作用,导致网络拓扑结构复杂多变且难以建立数学模型,无法得到精确的优化解,导致网络性能严重下降。此外,通过解决边缘值问题,可以理解无人机飞行路径,用于多无人机协同覆盖路径规划。

5 结论

本文在对现有几种主流机型的多目标覆盖模型进行数据分析的基础上,研究了一种基于数据分析的多目标覆盖无人机布局方法。该模型以无人机飞机飞行过程中的实际空中气象数据为基础,在不同天气条件下,将不同区域的节点根据各自的不同时间段进行相互协调,形成网络拓扑结构。该方法以无人机飞行过程中天气因素对地面目标覆盖影响最小为约束,

通过模型的建立最终推导出更加合理、经济可行的多目标优化方案。随着数据分析技术的发展,未来或许能有更多无人机在实践中得到应用和推广。

参考文献:

- [1] Xu Zhiyan, Luo Min, Vijayakumar Pandi, et al. Efficient certificateless designated verifier proxy signature scheme using UAV network for sustainable smart city[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, (2): 22 – 26.
- [2] Sunny Jithin S, Patro C Pawan K, et al. Anomaly detection framework for wearables data: a perspective review on data concepts, data analysis algorithms and prospects[J]. Sensors, 2022, (3): 12 – 15.
- [3] Aparna Kumari, Rajesh Gupta, Sudeep Tanwar, et al. A taxonomy of blockchain-enabled softwarization for secure UAV network [J]. Computer Communications, 2020, (1): 161.
- [4] Dhruva Raj Dhakal, Zhenni Pan, Megumi Saito, et al. Dynamic resource allocation in non-orthogonal multiple access using weighted maxim in fairness strategy for a UAV network[J]. Journal of Signal Processing Systems, 2020, (8): 33 – 35.
- [5] Tong Li, Wu Po Yen, Phan John H, et al. Impact of RNA-seq data analysis algorithms on gene expression estimation and downstream prediction[J]. Scientific Reports, 2020, (1): 10 – 13.
- [6] Ferrer-Font Laura, Mayer Johannes U, Old Samuel, et al. High-dimensional data analysis algorithms yield comparable results for mass cytometry and spectral flow cytometry data[J]. Cytometry. Part A: the Journal of the International Society for Analytical Cytology, 2020, (8): 97 – 99.
- [7] Joon Yeop Lee, Woonghee Lee, Hyunsoon Kim, et al. Adaptive TCP transmission adjustment for UAV network infrastructure[J]. Applied Sciences, 2020, (3): 10 – 12.
- [8] Muchlinski David Alan, Siroky David, He Jingrui, et al. Seeing the forest through the trees[J]. Political Analysis, 2019, (1): 27 – 30.
- [9] Marjan Naderan, Mehdi Dehghan, Hossein Pedram. Primal and dual-based algorithms for sensing range adjustment in WSNs[J]. The Journal of Supercomputing, 2013, (2): 64 – 66.
- [10] Sun Zeyu, Tao Rong, Li Longxing, et al. A new energy-efficient multi-target coverage control protocol using event-driven-mechanism in wireless sensor networks[J]. International Journal of Online Engineering (iJOE), 2017, 13 (2): 13 – 18.