

基于多传感器数据融合技术的小麦病虫害阈值决策算法设计

李 冰¹ 李纪云¹

LI Bing LI Jiyun

摘 要

小麦病虫害种类繁多,且不同病虫害的症状可能相似,导致在小麦病虫害阈值决策过程中可能出现数据信息的丢失、误判或冗余,进而影响阈值设定的准确性。传感器数据融合技术具有准确区分不同病虫害类型的潜力,其小麦病虫害阈值的准确性较高。鉴于此,设计了一种基于多传感器数据融合技术的小麦病虫害阈值决策算法。通过选择和布设多种探测传感器,利用多传感器数据融合技术,将来自不同传感器的数据进行整合,实现了对小麦病虫害的危害程度与产量损失率的精确测定。基于这些测定结果,制定了计算小麦病虫害阈值的规则,并通过混合方法优化了小麦病虫害阈值决策过程,最终确定了更加准确合理的小麦病虫害的阈值。案例分析表明,所设计的算法响应时间较短,能够更快地处理数据并作出决策;所得结果与实际结果的误差平均值仅为 3.4%,显示出小麦病虫害检测结果的高度准确性和可靠性,通过所提出的方法能够有效提升决策的效率和精确度。

关键词

多种传感器;数据融合技术;小麦病虫害;阈值决策;产量损失率

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.09.013

0 引言

随着现代农业的快速发展,小麦已经成为世界上最主要的经济作物之一,其产量和品质对世界粮食安全有着重大作用^[1]。然而,在小麦生长过程中,病虫害问题始终是个巨大问题。病虫害的发生不仅会影响小麦的正常生长,还可能导致产量的大幅下降,甚至影响小麦的品质和安全性。因此,对小麦病虫害进行及时、准确的监测和控制,对于保障小麦的高产和优质具有至关重要的意义。

为实现这一目标,众多研究团队致力于利用数据融合算法,对小麦病虫害阈值决策进行深入的研究。例如,文献[2]使用了贝叶斯方法对计算小麦病虫害阈值决策进行了融合。贝叶斯方法可以根据不同的病虫害种类、作物品种、种植环境等因素进行调整和优化,以适应不同条件下的防治需求。在该算法中,小麦病虫害阈值决策依赖于单一融合方法,这种方法可能对输入数据的微小变化过度敏感。因此,当遭遇数据噪声或异常值时,该方法可能展现出较低的鲁棒性,进而影响阈值决策的准确性。文献[3]则使用概率统计方法对小麦病虫害阈值决策算法进行了融合设计。概率统计方法基于大量数据的统计分析,能够客观地反映病虫害发生的规律和趋势。该算法中,小麦病虫害阈值决策采用单一融合方法。在实际应用中,数据中可能会包含异常值或噪声。单一融合方法可能无法有效地处理这些

异常值,导致决策结果不准确。

为了解决上述计算复杂和决策结果不够准确的问题,本文提出一种基于多传感器数据融合技术的小麦病虫害阈值决策算法。该算法通过选择和布设多种探测传感器,收集小麦生长环境、病虫害发生情况等数据,利用多传感器数据融合技术将这些数据整合,形成全面、准确的信息源。基于整合后的数据,制定计算小麦病虫害阈值的规则,并通过数据融合技术优化小麦病虫害阈值决策过程,确保阈值设定的准确性。案例分析表明,本研究设计的算法在实际应用中显示出高度准确性和可靠性,所得结果与实际结果的误差平均值为 3.4%,证明了多传感器数据融合技术在小麦病虫害阈值决策中的有效性。

1 基于多传感器数据融合技术的小麦病虫害阈值决策算法

1.1 传感器选择与布置

传感器能够实时地监测小麦生长环境和病虫害发生情况,提供即时的数据反馈。这对于及时发现病虫害并作出相应的防控措施至关重要。不同的传感器能够监测到小麦生长环境中不同方面的信息。通过选择多种传感器,可以确保收集到的数据具有全面性和准确性,从而更准确地反映小麦生长状态和病虫害发生情况。

在选择小麦病虫害探测传感器的过程中,选取了高精度和高灵敏度的颜色传感器、电阻式半导体气体传感器以及无线多媒体传感器。

颜色传感器采用了管道锥状头封装仪与 LED 灯相结合的方式,使得传感器能够接收光信号^[4]。传感器头会发出电流脉冲照射到小麦表面,并通过光接收装置将反射回的光进行

1. 河南职业技术学院现代信息技术学院 河南郑州 450046

[基金项目] 河南省科技厅科技攻关(242102111190);河南省高等学校重点科研项目(24B520017)

吸收。随后,中央控制系统利用3个光电二极管及相应的滤光器对反射光的颜色刺激值进行分析。这种方式能够检测小麦的颜色形状和纹理变化,从而识别出因病虫害导致的叶片变色、枯萎或斑点等症状,进而判断病虫害的发生情况。

电阻式半导体气体传感器则通过其表面的活性位点吸附气体分子。当传感器的半导体材料捕捉到氧气分子时,它们会被转化为氧离子,从而改变导电层的电阻。通过读取电阻数值的变化,能够检测小麦周围有害气体的浓度。一些病虫害在发生过程中会释放出特定的挥发性有机化合物,通过这一机制,可以对病虫害情况进行观测^[5]。

无线多媒体传感器融合了传感器技术、嵌入式运算技术和无线通信技术。通过对小麦的光谱特征和植被指数的变化进行监测,评估小麦的病虫害程度。为实现这一目标,传感器以矩形阵列形式布置,两侧设有激励源,中间部分则为传感器阵列,每个传感器都安装在稳固可靠的支架上。随后,通过连接数据采集设备并对传感器进行校准测试,确保它们能够正常工作并准确传输数据,从而完成小麦病虫害探测传感器的选择和布置工作,最终为病虫害监测提供全面而精确的数据支持。

1.2 病虫害为害当量与产量损失率测定

在完成多种小麦病虫害探测传感器的选择和布置后,利用多传感器数据融合技术将来自不同传感器的数据进行整合,以消除单一传感器数据中的噪声和不确定性,从而提高整体数据的质量和可靠性。这些融合后的数据被用于分析小麦病虫害的为害当量和产量损失率。为害当量涵盖了病虫害的严重程度、发生范围以及持续时间等信息;而产量损失率则直接反映了病虫害对小麦产量的实际影响。这些精确的测定结果将为后续阈值的制定提供重要依据。

在处理过程中,首先通过传感器收集小麦生长的环境参数和生理指标数据,然后进行数据融合处理。在融合之前,对原始数据进行清洗、筛选和校准等预处理步骤,以确保数据的准确性和完整性^[6]。接下来,采用 Bayes 估计算法对数据进行融合和综合分析。由于不同传感器的工作原理和采集到的信号特征参数存在差异^[7-8],还需要对不同的数据信号进行归一化处理,以便进行有效的数据融合。归一化处理公式为:

$$A = \begin{cases} 1 & b \geq cD \\ \frac{b - e \times fG}{cD - fG} & b < cD \end{cases} \quad (1)$$

式中: A 代表输入参数的归一化结果,当输入值 b 大于等于信号采集长度 c 和参数归一化自相关系数 D 的计算结果时,归一化结果等于1; e 代表归一化的变化率参数的极值; f 和 G 分别代表信号复杂程度和优化后的信号值。将归一化的传感器信号数据进行 Bayes 估计的正态分布信号融合处理,其公式为:

$$H(J=j|A=a) = \frac{1}{\alpha\sqrt{2\pi}} - \frac{(a-j)^2}{2\alpha^2} \quad (2)$$

式中: H 代表融合后的信号数据; J 则代表网络节点的变量; α 表示探测信号数据存在的不确定性。经过多传感器数据融合处理后,需要对融合后的数据进行加权平均误差比计算。一旦满足误差控制要求,这些数据即可用于精确计算小麦病虫害的为害当量和产量损失率。

为了进一步分析病虫害的影响,将土地划分为两个部分:一部分是不进行病虫害防治的自然土地,另一部分则是实施病虫害防治的防治土地。基于这两部分土地的数据,建立一个病虫害危害数量的数学模型,测定病虫害为害当量与产量损失率。数学模型公式为:

$$\begin{cases} z = x - y \\ Z = H \frac{\sum X - \sum Y}{\sum X \times 100\%} \\ k = H \frac{i - r}{i} 100\% \end{cases} \quad (3)$$

式中: z 代表各病虫害的实际为害当量; x 和 y 分别代表自然土地和防治土地的病虫害数量当量; Z 代表综合防控效果 X 和 Y 分别代表自然土地和防治土地的病虫害数量; k 代表产量损失率 i 和 r 代表自然土地和防治土地的产量。

1.3 制定小麦病虫害阈值规则

基于病虫害为害当量和产量损失率的测定结果,结合历史数据、专家经验和作物生长模型,制定计算小麦病虫害阈值的规则。在小麦的生长过程中,苗期、返青期、孕穗期和灌浆期是对病虫害最为敏感的阶段。在这些关键时期,需要对小麦的条锈病、赤霉病、全蚀病、麦蚜和麦蜘蛛等病虫害进行分级,以便更准确地制定病虫害阈值。

分级依据病害的感染率、病情指数以及虫口密度等指标,以小麦条锈病为例,将其发生程度分为轻、中、重三个等级,对应的病叶率分别为低于5%、在5%~20%之间、超过20%。接下来,分析各种不同病虫害发生程度与小麦产量之间的相关性,设定初步的病虫害阈值^[9]。考虑到综合防控成本和小麦的市场价格,引入校正系数 $L=2$,并将这些因素带入到小麦病虫害阈值的计算公式中:

$$\begin{cases} W = tL/Ziv \times 100\% \\ \partial = \frac{W - k}{z} \end{cases} \quad (4)$$

式中: t 和 v 分别代表综合防控成本和小麦的市场价格; ∂ 代表小麦病虫害阈值。

1.4 优化小麦病虫害阈值决策过程

当实际监测数据超过这些阈值时,将多个决策因素(如不同病虫害的阈值、不同生长阶段的阈值等)进行融合,以形成一个综合的决策方案。

为实现这一目标,选择混合方法对小麦病虫害阈值决策级

进行融合。与单一融合方法不同，本文采用的混合方法结合了最大联合概率融合法和模糊集理论。这种方法能够整合不同技术的优点，提供更全面、准确的决策支持，同时降低由于单一信息源或决策模型带来的风险。混合方法的过程如图1所示。

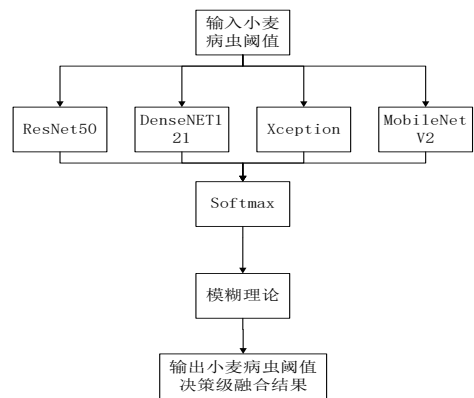


图1 混合方法实现小麦病虫害阈值决策级融合

在混合方法中，最大联合概率融合法通过多个卷积神经网络（CNN）的softmax输出最大概率值，再利用模糊理论将这些大率值组合成概率模糊集合。多个病虫害风险概率被整理成向量矩阵：

$$\beta = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \cdots & \mu_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中： β 表示模糊矩阵中推断的决策可能性； μ 为关系向量； m 、 n 分别为不同病虫害的组别和最大联合概率融合法计算出的概率情况。

接着，确定模糊集合的隶属度函数，并使用神经模糊推理方法对模糊集合进行模糊变化。在初始阶段，通过比较所有输入变量和隶属度函数，计算获得每种小麦病虫害阈值的激发量。将所有有效激发量进行叠加，形成一条明确的输出结果，由此进行对小麦病虫害阈值决策的融合，最终得出小麦病虫害的阈值。

2 案例分析

2.1 案例选择

本文的算法测试选择长江中下游麦区的Z小麦种植基地作为测试用地，整个种植基地地势平坦，土壤主要为黄棕淋溶土。长江中下游麦区是中国小麦的重要产区之一^[10]，经过调查，Z小麦种植基地属于亚热带季风气候，年降雨量在800～1500 mm之间，土壤有机质含量在1%左右。案例选择单作的小麦种植模式，这种模式能实现一年两熟，Z种植基地小麦在11月上旬播种，5月下旬至6月初收获。

将Z种植基地的小麦种植区域划分成自然土地和防治土地两个部分。两部分土地分别划分成十个小组，采用接虫接

病的方式感染小麦，每个小组接种不同密度的病虫，第一个小组不接种病虫。分区大棚遮盖，避免开放式的田间病虫自然入侵感染，影响数据的准确性。每个小组实验田面积均为100 m²，保持其他栽培措施全部一致。

对部分土壤的病虫害发生情况使用人工巡查的方法进行记录，自小麦播种起每7天进行一次定点定丛观察记录以及抽样调查，记录土地的病虫发生危害数据，成熟期小麦土地病虫发生危害数据统计表如表1和表2所示。

表1 成熟期小麦自然土地病虫发生危害数据统计表

组别	麦蚜 / (头·百丛 ⁻¹)	麦蜘蛛 / (头·百丛 ⁻¹)	赤霉病丛病率 / %	小麦白粉病丛病率 / %	总产量 / (kg·m ²)	为害当量	产量损失率 / %
1	0	0	0	0	0.61	0	0
2	88	29	0.59	4.55	0.59	19.48	3.2
3	191	85	1.79	9.38	0.55	21.74	9.8
4	272	130	2.58	11.32	0.52	32.08	14.7
5	398	174	3.84	18.74	0.41	49.43	32.7
6	425	251	4.15	24.85	0.37	54.78	43.8
7	571	318	5.66	31.91	0.30	57.54	56.1
8	698	390	6.23	39.99	0.21	59.41	73.6
9	880	426	7.58	49.54	0.11	67.15	82.2
10	971	503	8.18	52.31	0.04	73.38	93.4

表2 成熟期小麦防治土地病虫发生危害数据统计表

组别	麦蚜 / 头	麦蜘蛛 / 头	赤霉病丛病率 / %	小麦白粉病丛病率 / %	总产量 / (kg·m ²)	为害当量	产量损失率 / %
1	0	0	0	0	0.62	0	0
2	8	2	0	1.2	0.62	1.21	0
3	45	33	0.45	2.3	0.60	8.36	3
4	150	108	0.97	5.2	0.57	13.88	8
5	210	168	2.11	11.59	0.55	20.13	11
6	322	211	3.45	17.63	0.46	27.82	25
7	498	285	4.79	23.85	0.41	36.15	38
8	582	324	5.04	31.15	0.37	47.82	43
9	694	380	5.81	42.36	0.31	56.38	57
10	777	432	6.32	53.23	0.21	68.25	66

根据对表1和表2的分析可以看出，在接种病虫的密度在第五组时，自然土地整体产量明显断崖式下降，损失率大增多。防治土地出现此现象则在第六组。

在实地测试开始前，进行了八次小麦病虫害阈值的计算，分别采用了本文提出的基于多传感器数据融合技术的小麦病虫害阈值决策算法、文献[2]中描述的基于贝叶斯方法计算小麦病虫害阈值的算法，以及文献[3]中提到的概率统计算法。将这三种算法计算得到的阈值与实际情况进行了对比，以观察并比较不同方法在准确性和可信度方面的性能。

2.2 结果分析

为了评估不同小麦病虫害阈值决策算法的实时性和效率，本研究通过测量和比较这些算法从数据收集到得出决策

结果所需的时间。实验中，首先设置算法运行的起始时间戳，并使用时间记录设备记录当前时间。随后，启动算法，并将实时收集的数据作为输入传入。算法随即开始运行，对输入数据进行处理和分析，以得出小麦病虫害阈值决策结果。当算法运行完成并得出决策结果时，再次记录当前时间戳。通过时间记录设备计算出的总时间，即响应时间，反映了算法从数据收集到得出决策结果的效率。不同算法的对比结果如图2所示。

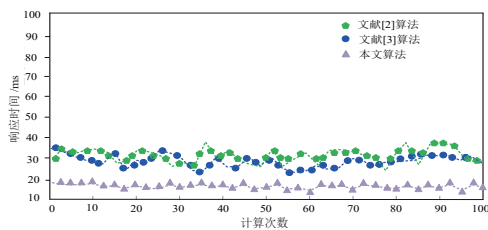


图2 不同算法的响应时间对比

分析图2可知，与其他两种算法相比，本文所设计的决策算法响应时间较短，意味着所设计算法能够更快地处理数据并作出决策，这对于需要快速响应的农业病虫害监测和防治系统来说至关重要。较短的响应时间有助于提高系统的实时性，使得农民或农业技术人员能够及时采取措施来应对病虫害问题。

结合上述三种算法对小麦病虫害阈值计算的结果与实际情况的对比，各个算法的误差情况如图3所示。

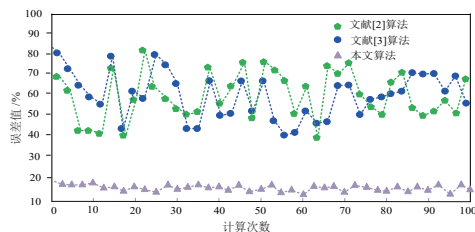


图3 小麦病虫害阈值计算误差

根据图3的计算结果，本文提出的算法在误差控制上表现优异，误差均低于20%，显著优于其他两种算法的误差表现，它们的误差均超过了40%。过高的误差可能会导致防治资源的错误分配，使得病虫害严重的区域无法得到足够的防治资源，从而加剧产量损失。同时，其他两种方法的误差波动较大，这可能会错误地评估病虫害的严重程度，导致不必要的防治措施，增加了农业生产成本；反过来，过度估计病虫害情况，导致防治措施过度，同样增加成本并可能对环境造成不良影响。本文提出的算法通过多传感器同时收集小麦生长环境、病虫害特征等多方面的数据，实现了更全面、准确的信息获取，从而能够更准确地评估病虫害状况。此外，本文算法采用了决策融合技术，该技术通过结合多个不同传感器数据生成一个统一的输出结果，有效提高了模型的精度，减少了单个模型的偏差和不足。借助本文算法所提供的更准确的病虫

害预测和防治决策，农业生产者可以减少农药的滥用和浪费，降低农业生产成本，同时实现小麦产量和质量的提升。这一方法对于促进现代农业的可持续发展具有重要意义。

3 结语

本研究设计的基于多传感器数据融合技术的小麦病虫阈值决策算法，成功实现了对小麦生长环境和病虫害发生情况的实时、准确监测，并精确计算出小麦病虫阈值。该算法显著提高了小麦病虫害防控的精确性和效率。通过该算法，能够更加精准地把握小麦生长状况，为农业生产提供科学、高效的决策支持。展望未来，本研究将进一步探索算法在智能农业设备中的应用，包括与智能灌溉系统、智能施肥系统和智能喷药系统等设备的集成。通过集成，将能够根据病虫害的实时监测结果，自动选择最适药剂和喷药时间，实现精准施药，从而有效降低化学农药的使用量，减少环境污染，同时提升小麦的产量和品质。这一研究将为现代农业的可持续发展提供新的解决方案和路径。

参考文献：

- [1] 李长武,周晓宇,高苇,等.视觉及多传感器数据融合的关键技术研究[J].自动化技术与应用,2024,43(4):103-107.
- [2] 李洪梅.优质小麦高产栽培及病虫绿色防控技术研究[J].新农民,2024(7):100-102.
- [3] 李同业.高产小麦种植及病虫防治关键技术[J].农业开发与装备,2024(2):154-156.
- [4] 桑如明.小麦的高产增产优质种植技术及病虫害防治[J].农业开发与装备,2024(1):199-201.
- [5] 张涛,李倩倩,罗理机.基于多传感器融合的通信网络异常流量监测方法[J].信息技术与信息化,2024(2):176-179.
- [6] 卫少萌,张江民,石慧,等.融合多传感器数据的系统相对密度高维核估计剩余寿命预测[J/OL].计算机集成制造系统,1-22[2024-05-13].<https://doi.org/10.13196/j.cims.2023.0598>.
- [7] 彭道刚,段睿杰,王丹豪.两级融合的多传感器数据融合算法研究[J].仪表技术与传感器,2024(1):87-93.
- [8] 陶洋,冉刚,方文俊.基于混合策略的多传感器数据融合方法[J].电子测量技术,2023,46(22):62-69.
- [9] 李耀青,韩世平,闵红,等.豫中南小麦重大病虫应急防控政府购买服务项目实施情况调查分析[J].中国植保导刊,2023,43(7):99-101.
- [10] 陈一品,郭风勋,单俊奇,等.小麦病虫草专业化统防统治与绿色防控融合技术模式应用及成效[J].基层农技推广,2022,10(6):60-64.

【作者简介】

李冰（1980—），男，河南周口人，硕士，副教授，研究方向：计算机科学与技术。

（收稿日期：2024-06-04）