

基于航空遥感图像灾害区域定位系统设计

张春华

(内蒙古自治区航空遥感测绘院, 呼和浩特 010010)

摘要: 灾害发生时为缩小所获取定位区域与实发区域间的位置误差, 提升遥感灾害定位的实时准确性, 设计基于航空遥感图像灾害区域定位系统; 选取关键的遥感定位信号, 借助 CC2430/2431 结构, 将其分享至航空传感器协调器、增强型 8051 内核两类元件应用结构之中, 完成灾害区域定位系统的硬件执行环境搭建; 按照遥感影像区域计算法则, 完成直角坐标系的旋转变换, 再通过检测图像边缘的方式, 完成基于航空遥感的灾害区域图像处理; 在此基础上, 设置区域修正节点与遥感盲节点, 以用于验证定位指令的执行有效性, 联合上级硬件设备结构, 实现基于航空遥感图像灾害区域定位系统的应用; 实例分析结果表明, 在 X 轴、Y 轴两个方向上, 航空遥感图像定位系统所采集到的灾害区物理坐标值均与实发区域坐标值较为接近, 与 ZigBee 型定位系统相比, 确实能够缩小误差值结果, 实现对灾害发生区域的精确定位。

关键词: 航空遥感图像; 区域定位; 传感器协调器; 影像区域; 空间直角坐标系; 边缘检测

Design of Disaster Area Positioning System Based on Aerial Remote Sensing Images

ZHANG Chunhua

(Inner Mongolia Autonomous Region Institute of Aerial Remote Sensing
Surveying and Mapping, Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to reduce the position error between the obtained positioning area and the actual area, the real-time accuracy of remote sensing disaster positioning is improved, a disaster area positioning system based on aerial remote sensing image is designed. The key remote sensing positioning signals are selected and shared with the application structures of aerial sensor coordinator and enhanced 8051 core with the help of CC2430 / 2431 structure, so as to build the hardware execution environment of disaster area positioning system. According to the calculation rule of remote sensing image area, the rotation transformation of rectangular coordinate system is completed, then the disaster area image processing based on aerial remote sensing is completed by detecting the image edge. On this basis, the regional correction node and remote sensing blind node are set to verify the effectiveness of positioning instructions, and the application of disaster regional positioning system based on aerial remote sensing image is realized by combining the upper hardware structure. The example analysis results show that in the X-axis and Y-axis directions, the physical coordinate values of the disaster area collected by the aerial remote sensing image positioning system are close to the coordinate values of the actual disaster area. Compared with the ZigBee positioning system, it can reduce the error results and realize the accurate positioning of the disaster area.

Keywords: aerial remote sensing image; regional positioning; sensor coordinator; image area; spatial rectangular coordinate system; edge detection

0 引言

航空遥感也称机载遥感, 通常以气球、飞艇、飞机等传感器设备作为运载工具。是一种由航空摄影发展而来的新型多功能探测遥感技术。大多数航空遥感

平台的高度数值都保持在 80 km 以下, 并且在应用过程中, 受到地面限制的影响较小, 即便是在航空平台飞行高度较低的情况下, 也能保持极强的灵活性与机动性。因此, 其调查周期表现时长总是相对较短^[1-2]。

收稿日期: 2021-09-09; 修回日期: 2021-10-19。

作者简介: 张春华(1971-), 女, 内蒙古通辽人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事测绘技术在生产工作中的应用方向的研究。

引用格式: 张春华. 基于航空遥感图像灾害区域定位系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(1): 239-245.

飞机作为航空遥感领域中的主要应用平台,其飞行高度一般可在几百米到几十公里之间不断变化。随着遥感技术的不断发展,航空定位系统所获取到的景象数据,可同时包含视频图像、灰度图像、彩色图像等多种表现形式。

物联网定位系统被誉为继互联网平台后的又一次遥感技术发展浪潮,原有的互联网平台只能将网络节点简单地连接起来,并形成独立的图片影像传输环境,虽然这种定位网络应用结构体,具有极为广泛的覆盖空间,但其对于目标事物的感知敏感性较差,在灾害发生时所能得到的区域节点定位结果也过于泛泛^[3]。ZigBee 型定位系统是在物联网体系的基础上,衍生出来的网络结构型区域节点定位机制,与物联网定位系统相比,该类型系统可进一步提升定位结果的精度数值,但其所得数值依然与实发区域位置存在明显的精度误差^[4]。为解决上述问题,对所获航空遥感图像进行加工以及处理,并以此为基础,设计一种新型的灾害区域定位系统。

1 系统硬件实现

基于航空遥感图像灾害区域定位系统的硬件执行体系,可在完成遥感定位信号选取后,借助 CC2430/2431 结构、航空传感器协调器等应用性设备,对已知信号进行检测与分辨,具体搭建方法如下。

1.1 遥感定位信号选取

基于航空遥感图像的定位信号选取需要同时兼顾获取成本低、信号覆盖范围广、提取精度高等条件,因此,在设计灾害区域定位系统的过程中,首先应充分结合各项应用需求,再将已获取信号与待测对象结合起来,从而最大化缩小定位节点坐标与实发区域节点坐标之间的物理差值^[5]。

在待测灾害区域中,以图 1 所示的航空遥感图像作为待测对象,借助遥感区域选取框,将整个图像分成多个相互独立的结构体,并且要求每一分割部分都必须能够完全反映该区域环境中的灾害地貌特征。出于全局性考虑,关键灾害节点应尽量位于遥感图像中部,一方面在上下左右 4 个方位上保留足够的可筛选余地,使得最终定位结果的真实性水平得到提升;另一方面也可便于后续定位匹配指令的顺利实施^[6]。

图 2 为按需选取后的灾害区域遥感定位信号图像。根据上图得知,与图 1 相比,图 2 在内核元件的



图 1 待选取的灾害区域遥感图像

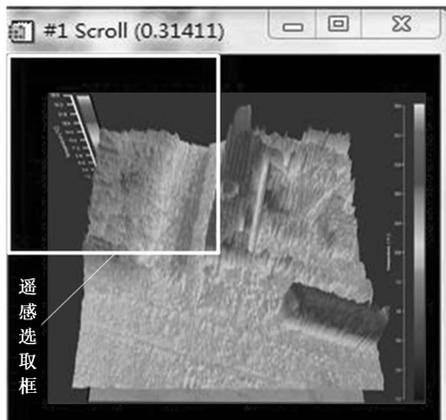


图 2 灾害区域的遥感定位信号选取图像

作用下,针对不同对象景观进行了灰度锐化处理。一般来说,处理后图像的灰度水平越高,则代表该区域距离实发灾害位置越近,而灰度水平越低,则表示该区域距离实发灾害位置越远,若出现“零”灰度图像节点,则可认为该位置处并无实发性灾害行为出现。

1.2 CC2430/2431 结构

CC2430/2431 结构是灾害区域定位系统的最基本单元,负责完成航空遥感图像的采集以及处理,并可借助传感器协调器,实现对已选取遥感定位信号的定向筛查,从而最大化缩小灾害定位区域与实发区域间的位置误差数值。整个元件结构体由电源开关、复位按键、定位芯片等多个组织单元共同组成,具体结构形式如图 3 所示。电源开关与系统主电路元件相连,其闭合与断开行为能够直接决定已选取遥感定位信号的输入与否^[7]。复位按键能够根据航空遥感图像的分布情况,判断定位节点中所获取图像信息是否具有使用价值,在判断结果为否的情况下,复位按键自动复原为原始状态,并删除已存储的所有航空遥感图

像信息。编程口作为已生成灾害区域定位指令的传输通道，能够以数据流的形式，将这些信息反馈至航空传感器协调器、增强型 8051 内核等下级应用元件之中。CC2430 通信口、CC2431 通信口是两个保持互通连接状态物理结构，前者负责采集灾害实发区域的坐标数值，后者负责采集航空遥感图像中的坐标数值，通过完成多次采集处理后，两个通信口完全打开，存储于其中的坐标信息也可以进行自发交换^[8]。定位芯片负责制定灾害区域定位系统中的传输指令，并可对其进行暂时存储，以供其他连接元件的调取以及应用。指示灯仅显示 CC2430/2431 结构的现有连接状态。

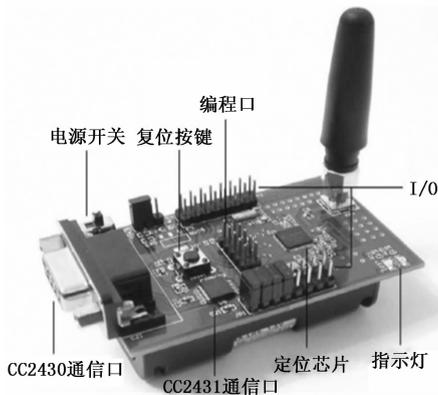


图 3 CC2430/2431 结构示意图

总的来说，灾害实发区域的覆盖面积越大，CC2430/2431 结构所承担的指令转换状态也就越明显。

1.3 航空传感器协调器

航空传感器协调器作为灾害区域定位系统的核心部分，主要负责根据遥感元件中所显示出的各项指标参数，对待测图像与显示图像进行调试，从而使得定位传感器中的信息参量能够与外部航空遥感元件的表现形式保持一致，一方面为微处理器提供大量的可参考灾害区域定位坐标值，另一方面实现对遥感信息参量的按需归纳，具体结构如图 4。协调主板作为航空传感器协调器中的核心控制元件，能够同时支配接口电路、航空遥感元件、内部协调结构与外部传感器设备^[9-10]。其具体工作流程为：首先协调主板同时向接口电路、航空遥感元件传输连接电子，然后 CC2430/2431 结构开启转换状态，在此过程中，生成原始的灾害区域航空遥感待测图像，接着在满足信号选取需求的同时，利用微处理器、存储器及遥感模块对图像进

行二次加工，并生成最终的灾害区域定位显示图像。

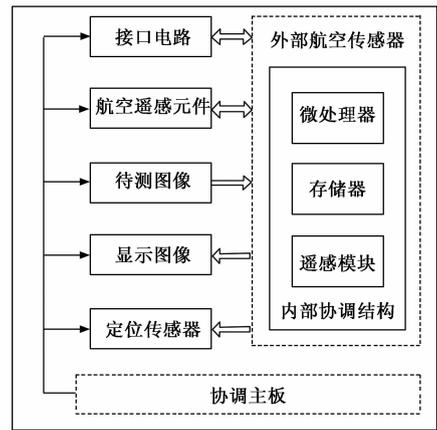


图 4 航空传感器协调器结构图

在系统运行过程中，航空传感器协调器保持连续供电状态，且所有图像信息只有在经过结构体的暂时存储之后，才能够具备快速传输的能力。

1.4 增强型 8051 内核

GND 芯片作为增强型 8051 内核的中控元件，在灾害区域定位系统中，可根据航空遥感图像的表现形式，对隐藏于其中的定位节点进行选取与筛查，并借助内核边缘覆盖的 40 个独立接口组织，将这些节点信息反馈至核心定位主机中，以便于生成更为真实的灾害区域航空遥感图像，具体结构形式如图 5 所示。在应用过程中，GND 芯片采用 8051 的指令集实现操作，其指令中的每一个独立时钟周期都与一个接口组织相对应，且由于 8051 指令的高度集成性，定位系统直接取消了所有无用的总线状态，一方面可避免在多次传输过程中，灾害发生定位区域的物理坐标数值出现较大的偏差，另一方面也能够在一个指令周期时间内完成所有单字节信息的设置与标注^[11-12]。为保证航空传感器协调器的应用平衡能力，8051 型 GND 内核能够准确记录遥感定位信号的传输形式，且在信号选取结果出现较大偏差时，可通过闭合或断开接口组织的形式，对传输信号进行及时调试。

由于灾害区域定位指令仅在一个周期时长内保持较高的准确性水平，因此，增强型 8051 内核边缘接口组织之间的设置距离不宜过大。

2 基于航空遥感的灾害区域图像处理

借助已连接的硬件设备结构，计算遥感影像区域的实际覆盖面积，再通过旋转变换直角坐标系的方

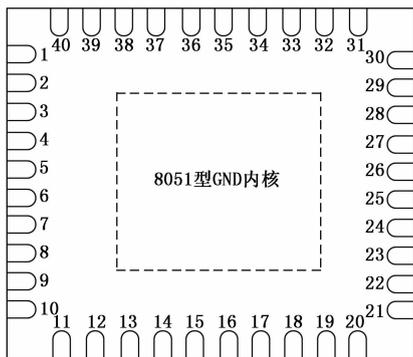


图 5 增强型 8 051 内核示意图

式，得到灾害区域图像的边缘检测结果，完成基于航空遥感的灾害区域图像处理。

2.1 遥感影像区域计算

首先，通过一些数据对灾害定位区域与事发区域的重叠面积进行估计，这些数据包括航空飞机飞行速度、姿势及所处位置^[13]。假设向东的飞行速度为 V_e ，向北的飞行速度为 V_n ，定为节点的采样时间间距为 ΔT ，则可将此时刻的正东面位移偏移量 S_e 、正北面位移偏移量 S_n 表示为：

$$\begin{cases} S_e = V_e * \Delta T \\ S_n = V_n * \Delta T \end{cases} \quad (1)$$

分别用 O_1 、 O_2 表示两张连续的灾害区域图像，在定位过程中它们之间存在明显的相对偏移量与重叠区域。第一幅灾害区域图像的行数与列数可分别表示为 M_1 、 N_1 ，第二幅灾害区域图像的行数与列数可分别表示为 M_2 、 N_2 。在图 6 中，暗色区域 A_0 表示两幅图像的完全重叠部分， A 表示系统在重叠图像中选取的一个小区域。

规定航空飞机的飞行高度为 H ，遥感成像机的焦距数值为 λ ，规定每幅图像中的基本像素宽度都为 ϵ ，则可将定位仪器的实际分辨力 U 表示为：

$$U = \epsilon \frac{H}{\lambda} \quad (2)$$

在既定时间 ΔT 内，航空遥感图像的东面像素偏移量 W_e 、背面像素偏移量 W_n 表示为：

$$\begin{cases} W_e = \frac{S_e}{U} \\ W_n = \frac{S_n}{U} \end{cases} \quad (3)$$

联立上述物理量，可将图 6 中重叠遥感影像区域 A 的数值计算式表示为：

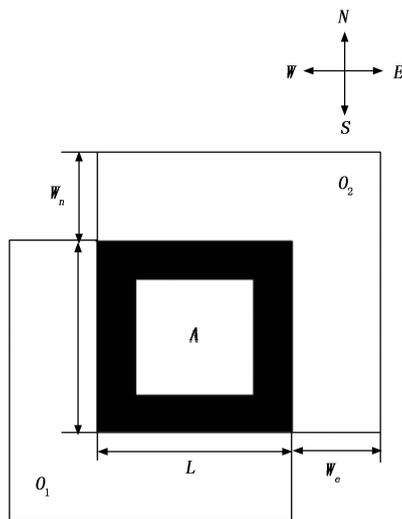


图 6 灾害定位区域与事发区域的重叠图像

$$L_A = \frac{(M_1 + M_2)W_e \cdot W_n}{N_1 + N_2} \quad (4)$$

因为灾害区域定位图像、灾害区域事发图像始终被限制在一个相对较小的数值范围内，所以能够有效缩小定位系统在实施图像匹配过程中所产生的位置系数误差。

2.2 直角坐标系的旋转变换

定位节点的空间直角坐标旋转变换就是指航空遥感图像空间坐标与定位图像辅助坐标之间的变换，一般表现为正交变换的存在形式，一个原始坐标点按需旋转两个角度，就能变换成另一坐标系中原节点的同原点^[14-15]。

设原始点 P 在航空遥感坐标系中的物理坐标为 (x_0, y_0) ，在灾害区域定位图像中的辅助坐标为 (x', y') ，二者之间的数值变换关系可表示为：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = L_A \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

在灾害区域的定位图像中，原始坐标点的两次旋转变换行为，一次是针对横向 X 轴坐标，另一次是针对纵向 Y 轴坐标。

2.3 图像边缘检测

边缘检测能够反映灾害区域航空遥感图像的最基本特征，作为原始遥感图像与实际定位图像的属性区域交接处，能够清晰标注图像属性发生突变的地方，由于定位指令的实施具有较强的不确定性，所以图像边缘一定包含大量的可检测信息。常见的检测流程主

要包括如下几个步骤。

1) 微分定位算子计算：

微分定位算子计算是实施图像边缘检测的重要处理环节，可在直角坐标系旋转变换原理的作用下，确定一幅完整的航空遥感图像中所包含的定位算子个数水平，并可借助 CC2430/2431 结构、航空传感器协调整器、增强型 8 051 内核等硬件设备元件，将这些节点规划成几个相互独立的应用体系，其中一部分用于缩小灾害区域定位图像坐标与原始坐标之间的数值差，另一部分则可作为输出节点，实现对数据信息参数的连续互传^[16]。

2) 一个边缘节点只能与一个原始像素点对应：

在灾害区域定位系统中，所得到的航空遥感图像不能暴露检测节点的真实边缘，也不能突出显示任何一个非边缘节点^[17]。在直角坐标系旋转变换原理的作用下，航空遥感图像的所有边缘节点都只能保持顺向关联的分布形式，而随着灾害区域覆盖面积的增大，节点之间的原有排列顺序极易被打破，一般来讲，若将边缘节点与原始像素点一一对应起来，不但能够避免航空遥感图像检测节点的过度暴露问题，也可以使计算所得的定位区域坐标值结果具备更强的真实性。

3 关联软件设计

按照航空遥感图像处理原则，分别定义区域修正节点与遥感盲节点，完成关联定位软件设计，再联合各级硬件设备结构，实现灾害区域定位系统的顺利应用。

3.1 区域修正节点

区域修正节点设计需要考虑到定位系统对于航空遥感图像的协调处理能力，在初始阶段，应将节点分布于系统的各个测算层级组织之中，一方面可保证定位系统在面对大规模灾害区域时具备较强的遥感图像检测能力，另一方面也能够较好缩小定位图像与实时图像之间的坐标差数值^[18-19]。将原始点 $P(x', y')$ 置于航空遥感图像中部，规定在满足区域修正节点筛查原理的基础上，可将定位节点的运动行为分解为 X 轴、 Y 轴两部分，设 φ_x 表示区域修正节点在 X 轴上的运动行为向量， φ_y 表示区域修正节点在 Y 轴上的运动行为向量，联系公式 (5)，可将灾害区域定位系统的区域修正节点定义原则表示为：

$$\begin{cases} \varphi_x = \frac{\delta_x \cdot x'}{|\bar{X}|^2} \\ \varphi_y = \frac{\delta_y \cdot y'}{|\bar{Y}|^2} \end{cases} \quad (6)$$

其中： δ_x 代表一区域修正节点的横向运动系数， \bar{X} — X 轴方向上的基向量均值， δ_y —区域修正节点的纵向运动系数， \bar{Y} — Y 轴方向上的基向量均值。

3.2 遥感官节点

遥感官节点即为待定位的区域节点，一般总是随机分布于航空遥感图像之中，且并不与区域修正节点相重合。根据待测边缘所包含图像节点数量的不同，遥感官节点的实际数值水平也有所不同，大体上符合灾害区域覆盖面积越大，节点数量值越大的变化规律^[20-21]。设 σ 代表航空遥感图像中灾害区域定位节点的递归数值， β 代表遥感官节点在 X 轴上的定位导向量， ψ 代表遥感官节点在 Y 轴上的定位导向量，联立公式 (5)，可将灾害区域定位系统的遥感官节点定义原则表示为：

$$D_{P(x', y')} = \frac{\left(\frac{1}{|\beta x'^2 - \bar{X}^2|} \right)^2}{\sum_{\sigma=1}^{+\infty} \left(\frac{1}{|\psi y'^2 - \bar{Y}^2|} \right)^\sigma} \quad (7)$$

采用上述处理方法，能够准确、可靠地定位灾害区域所处的实际位置，且由于航空遥感图像的存在，所获定位图像与实际图像之间的坐标差值水平也相对较低。

4 实例分析

选取面积大于 $100 \times 100 \text{ m}^2$ 的灾害区域作为实验背景环境（如图 7 所示），规定其水平方向为 X 定位轴所在方向、竖直方向为 Y 定位轴所在方向，利用遥感框截取不同的实验区域，多次调节遥感框大小，使得所截取实验区面积分别为 $10 \times 10 \text{ m}^2$ 、 $20 \times 20 \text{ m}^2$ 、 $30 \times 30 \text{ m}^2$ 、 $40 \times 40 \text{ m}^2$ 、 $50 \times 50 \text{ m}^2$ 、 $60 \times 60 \text{ m}^2$ 、 $70 \times 70 \text{ m}^2$ 、 $80 \times 80 \text{ m}^2$ 、 $90 \times 90 \text{ m}^2$ 、 $100 \times 100 \text{ m}^2$ 。分别利用基于航空遥感图像灾害区域定位系统、Zig-Bee 型定位系统对所选实验区域进行定位检测，其中前者作为实验组、后者作为对照组。

本次实验从 X 轴、 Y 轴两个方向同时进行，规定检测点所显示的 X 轴坐标、 Y 轴坐标均为灾害定位区域的终点坐标数值。

图 8 为实验组、对照组 X 轴实际定位坐标与灾

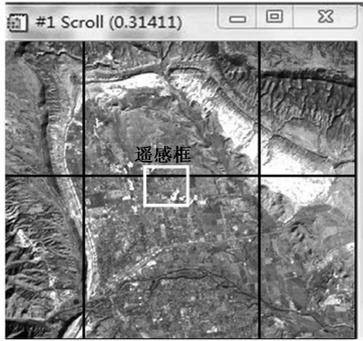


图 7 灾害实发区域的遥感图像

害实发区域 X 轴定位坐标的对比情况。

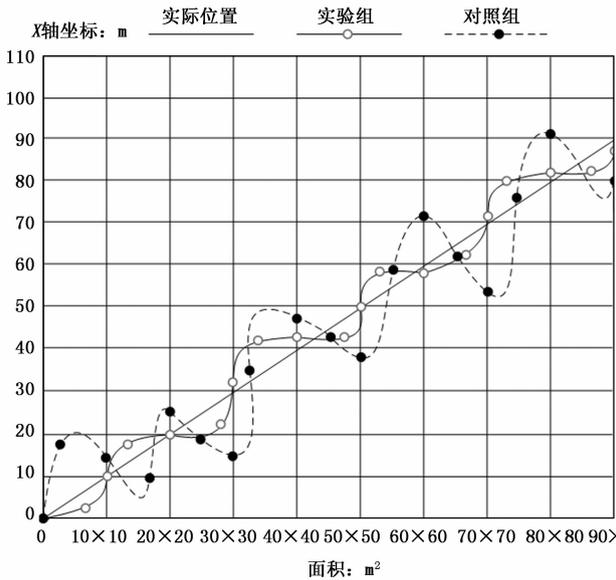


图 8 X 轴定位坐标对比

分析图 8 可知，灾害实发区域定位曲线为一条规律性变化直线，每一面积节点处的 X 轴坐标都与该点的实际坐标完全相等。实验组、对照组灾害区域定位曲线都是波动性变化直线，在区域面积数值等于 $20 \times 20 \text{ m}^2$ 之前，实验组曲线在理想曲线两端的数值变化规律完全对称，且在区域面积数值等于 $20 \times 20 \text{ m}^2$ 之时，实验组定位坐标值结果也与实际坐标结果完全一致，后续实验过程中，实验组 X 轴定位坐标虽然不能与实际坐标数值完全一致，但二者之间的差值水平始终相对较小。对照组曲线在区域面积数值等于 $10 \times 10 \text{ m}^2$ 、 $20 \times 20 \text{ m}^2$ 时，与理想曲线的差值结果最小，但其差值结果依然大于实验组。

图 9 为实验组、对照组 Y 轴实际定位坐标与灾害实发区域 Y 轴定位坐标的对比情况。

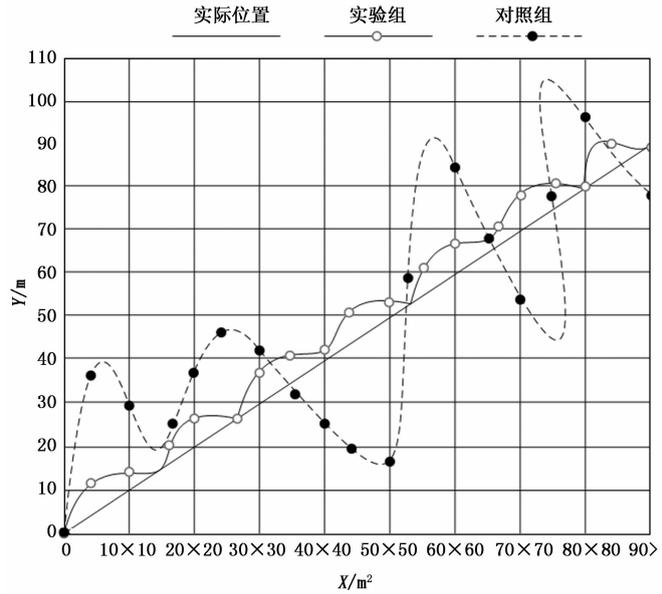


图 9 Y 轴定位坐标对比

分析图 9 可知，实验组、对照组灾害区域的 Y 轴定位曲线也都是波动性变化直线，在整个实验过程中，实验组定位数值与实际坐标数值相比明显偏大，但在区域面积数值等于 $80 \times 80 \text{ m}^2$ 与 $90 \times 90 \text{ m}^2$ 时，实验组的 Y 轴定位坐标值都与实际坐标数值完全一致。对照组定位数值与实际坐标数值相比，同时存在偏大与偏小的实值结果，在区域面积数值等于 $20 \times 20 \text{ m}^2$ 、 $90 \times 90 \text{ m}^2$ 时，对照组的 Y 轴定位坐标值的误差值水平相对较低，前者实测数值为 38 m、后者实测数值为 79 m，与标准值 20 m 与 90 m 相比，误差值分别为 18 m 和 11 m，远高于实验组差值结果。

综上所述，随着基于航空遥感图像灾害区域定位系统应用，所得定位区域 X 轴坐标、Y 轴坐标与实发区域坐标之间的差值结果明显缩小，这对于提升遥感灾害定位的实施准确性，具有较强促进作用。

5 结束语

与 ZigBee 型定位系统相比，新型灾害区域定位系统借助已选取的遥感定位信号，对灾害区域的特征图像进行细致处理，再联合 CC2430/2431 结构、航空传感器协调器等设备元件，确定遥感影像区域的实际面积，并以此为基础，有序安排区域修正节点与遥感盲节点。从实用性角度来看，最终所获灾害区域定位图像与实发区域对比，X 轴、Y 轴两个方向上的位置误差值结果都出现了明显缩小，较好符合了提升遥

感灾害定位实施准确性的实际应用需求。

参考文献:

- [1] 刘学吉, 丁亚林, 李 锋, 等. 航空遥感相机 Ronchi 光栅自准直检焦模型分析与验证 [J]. 光学精密工程, 2020, 28 (6): 1236 - 1244.
- [2] 刘 晨, 郑恩让, 张 桐. 基于最优区域生成的深度多尺度融合遥感飞机检测方法 [J]. 科学技术与工程, 2019, 19 (30): 258 - 262.
- [3] 刘顺财, 卢志雄, 林胜青. 基于红外技术的物联网异常节点智能定位系统设计 [J]. 激光杂志, 2020, 41 (12): 104 - 109.
- [4] 黄一才, 李森森, 鲍博武, 等. 面向 ZigBee 网络节点安全定位的消息签名方案 [J]. 电子与信息学报, 2019, 41 (3): 702 - 708.
- [5] 景振华, 胡秀清, 殷德奎. TG-2 多角度偏振成像仪遥感影像地理定位与误差订正 [J]. 遥感技术与应用, 2020, 35 (2): 345 - 354.
- [6] 麻德明, 刘焱雄, 金永德, 等. 面向对象的无人机遥感影像海岸线提取方法研究 [J]. 海洋科学, 2020, 44 (10): 46 - 51.
- [7] 徐伟伟, 张黎明, 李 鑫, 等. 高分辨率光学遥感卫星小目标法在轨辐射定标 [J]. 应用光学, 2019, 40 (6): 951 - 957.
- [8] 孟祥超, 孙伟伟, 任 凯, 等. 基于多分辨率分析的 GF-5 和 GF-1 遥感影像空一谱融合 [J]. 遥感学报, 2020, 24 (4): 379 - 387.
- [9] 刘 伟, 杜佳鸿, 贾素玲, 等. 能量有效的无线传感器网络分簇路由协议 [J]. 北京航空航天大学学报, 2019, 45 (1): 50 - 56.
- [10] 王 伟, 王 倩, 陈义成, 等. 基于预测模型切换的航发传感器主动容错控制 [J]. 电光与控制, 2019, 26 (11): 31 - 36, 40.

(上接第 238 页)

- [29] HUANG G, MA Q. Research on Path Planning Algorithm of Autonomous Vehicles Based on Improved RRT Algorithm [J]. International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 2021: 1 - 11.
- [30] 张 鹏. 基于改进 A* 算法的全局动态路径规划研究 [D]. 太原: 中北大学, 2021.
- [31] 蔡 诚, 梁利东, 贾文友, 等. 基于节点优化的 A* 算法路径规划 [J]. 唐山师范学院学报, 2021, 43 (3): 76 - 79.

- [11] 孙 鹏, 肖 经, 赵海盟, 等. 基于 DSP 的无人机遥感影像 SIFT 算法设计与实现 [J]. 计算机应用, 2020, 40 (4): 1237 - 1242.
- [12] 王克军, 董吉洪, 李 威, 等. 空间遥感器线阵与面阵探测器共基板焦面组件设计 [J]. 红外与激光工程, 2020, 49 (5): 81 - 87.
- [13] 白 鑫, 卫 琳. 基于 IHS 变换与自适应区域特征的遥感图像融合算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33 (2): 161 - 167.
- [14] 林秀秀, 卞鸿巍, 王荣颖, 等. 一种极区统一坐标系及其导航参数转换方法 [J]. 火力与指挥控制, 2019, 44 (11): 137 - 142.
- [15] 刘 玉, 王建军, 陈立强, 等. 低压转子初始弯曲双转子系统跨坐标系建模方法 [J]. 振动与冲击, 2020, 39 (3): 60 - 68.
- [16] 余 震, 何留杰, 王振飞. 基于中智理论与方向 α -均值的图像边缘检测算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34 (3): 43 - 50.
- [17] 宋 浒, 张 利, 许梦晗, 等. 基于形态学和小波变换的图像边缘检测方法 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2020, 42 (4): 105 - 111.
- [18] 赵建新, 张宏映, 陈 兵, 等. 基于最优化的广域雷场空间多节点坐标修正算法 [J]. 火力与指挥控制, 2019, 44 (1): 110 - 113.
- [19] 陶志勇, 李 艳. 基于变量节点更新改进的自修正最小和算法 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2020, 42 (2): 252 - 258.
- [20] 张飞扬, 胡月明, 陈联诚, 等. 耕地质量低空遥感-地面传感双重采集系统研究 [J]. 华南农业大学学报, 2020, 41 (3): 117 - 125.
- [21] 陈元伟, 张国梁, 戎景会. 船载卫星遥感数据接收天线跟踪精确度改进方法 [J]. 航天器工程, 2019, 28 (2): 85 - 90.
- [32] ZHENG T, XU Y, ZHENG D. AGV path planning based on improved A - star algorithm [C] //2019 IEEE 3rd Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC). IEEE, 2019: 1534 - 1538.
- [33] LI X, HU X, WANG Z, et al. Path Planning Based on Combaion of Improved A-STAR Algorithm and DWA Algorithm [C] //2020 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture (AIAM). IEEE, 2020: 99 - 103.