

红外热成像仪林火识别性能测评技术研究*

周宇飞¹ 曾宇² 李小川¹ 钟映霞¹
王振师¹ 吴泽鹏¹ 魏书精¹

(1. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东广州 510520; 2. 广州紫川电子科技有限公司, 广东广州 511458)

摘要 红外热成像仪在森林火灾远程视频监控中应用广泛, 但每种红外热成像仪性能各异, 需要对其林火识别性能进行测评, 以便为红外热成像仪的选型提供依据。文章提出了一种基于红外裸数据的红外热成像仪测评方法。该方法从火点的辨识度和理论可识别距离两方面对不同的红外热成像仪进行性能测评和实验测试, 可客观地评价红外热成像仪对林火的识别能力。

关键词 红外热成像仪; 林火监测; 林火识别; 性能测评

中图分类号: S762.3+2 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 06-0027-05

Research on Performance Evaluation Technology of Forest Fire Identification with Infrared Thermal Imager

ZHOU Yufei¹ ZENG Yu² LI Xiaochuan¹ ZHONG Yinxia¹
WANG Zhenshi¹ WU Zepeng¹ WEI Shujing¹

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Guangzhou Purple-River Electronic Technology Company Limited, Guangzhou, Guangdong 511458, China)

Abstract Infrared thermal imagers are widely used in remote video surveillance of forest fires, but each type of infrared thermal imager has different performances, and their forest fire identification performance need to be assessed so as to provide a basis for the selection of infrared thermal imagers. This paper proposes a method to evaluate infrared thermal imagers based on infrared bare data. This method is implemented for performance evaluation and experimental test of different infrared thermal imagers, from two aspects: fire point identification and theoretical identifiable distance, which can objectively assess the ability of an infrared thermal imager to identify forest fires.

Key words infrared thermal imager; forest fire monitoring; forest fire identification; performance evaluation

利用红外热成像仪对森林火灾进行自动识别和报警已经成为林火远程视频监控系统的重要方法之一^[1-3]。红外热成像仪通常架设在需要进行监控的林地制高点, 用以拍摄监控区域内的红外热

图像, 通常输出与监测区域温度测量值相关的红外辐射量模拟信号, 模拟信号通过模数转换, 可形成用于标准网络传输的红外数字信号^[4], 这些数字信号在进行不同林火识别算法运算后^[5-6], 做

* 基金项目: 国家林业知识产权转化运用项目 (KJZXZC2018006); 中央财政林业科技推广示范项目 (2018GDTK-04)。

第一作者: 周宇飞 (1980—), 男, 高级工程师, 主要从事森林防火及林业信息化研究, E-mail: ttzyftt@163.com。

出是否发生森林火灾的报警判断。

随着红外热成像仪硬件性能的提高和林火识别算法的逐步成熟,越来越多的红外热成像仪开始实地应用于我国森林火灾监测^[2-3,5]。然而每一种型号红外热成像仪由于生产厂家不同,其监测的红外波长、发射率和精密度等五花八门。对于林火远程视频监控相关研究人员而言,急需找到一种方法,对市场上各种类型的红外热成像仪进行检测和评价,选择合适的红外热成像仪,使其更能满足林火监测的研发需要。

本文提出了一种基于红外裸数据对红外热成像仪进行测评的技术和方法,该方法直接通过各类红外热成像仪的裸数据进行运算,只需要相同条件情况下测试红外热成像仪对火点的反应,而无需考虑后期的识别算法,有助于快速实现对不同型号的红外热成像仪进行检测和评价,为红外热成像仪的选型提供依据。

1 红外热成像仪测评概述

在红外热成像仪的性能评价方面目前最常用的是基于最小可辨温差的评价方法^[7-8],用来评价红外热成像仪对温差反应的精密程度。该方法目前已经较为成熟,有专门的测量模型^[9-10]和多种具体测评方法^[11-13],其主要原理是依据温度与辐射量之间存在一定的物理关联,标定好的红外热成像仪首先测出目标的红外辐射量,进而计算出温度,在距离被测物较近的情况下,温度与辐射量相关性较高的情况下可以用这种方法进行检测评价。

而用于林火识别的红外热成像仪则主要是需要检测火点与背景辐射的差别,属于远距离监测,通常在数千米以上的距离,红外辐射在穿过大气到达测量系统时会随距离增加而衰减,对应温度与辐射的相关性大大降低,此时使用基于最小可辨温差的评价方法就难以达到性能评价的目标。针对森林火灾监测中远距离测试评价需求,本研究提出了一种基于红外裸数据的测评方法。

2 基于红外裸数据的测评方法

2.1 测评方法说明

由于从红外热成像仪探测森林火灾的原理来看,无论采用何种算法对森林火灾进行识别,其基础在于通过红外热成像仪的影像将火情与背景影像分离出来^[5-6]。针对红外热成像仪的选型测评

来说,对于同一森林火灾场景,火点与背景辐射区别越大识别效果越好。

本研究采用基于红外裸数据的测评方法对红外热成像仪进行测评。基于红外热成像仪的裸数据技术是利用热成像原理,直接导出红外热成像仪芯片上每个电平点的灰度裸数据,通过在不同物距的海量点火测试计算出每个电平灰度与其对应的辐射量,通过核心算法的开发,计算出不同像源数据之间的差值,设定动态阈值判断火情事件对应的像点间色深/位置的真实变化以进行火情监测。

性能测评应从火点辨识度和理论可识别距离两方面应用入手。以目前市场上常见的用于森林火灾探测的数字远红外热成像仪为例,其影像分辨率一般为 384×288 ,对应110592个电平点,每个电平点都有具体的读数,即像元值。在相同背景条件及测试条件一致的情况下,无需考虑场景的气象、时间段等因素,只需要直接读取这些像元值,当像元值的最大值与最小值之间的差距越大,则说明该红外热成像仪区分火点与背景辐射的效果越好,即火点辨识度越高。

在理论可识别最远距离方面,按照距离依次计算每幅影像裸数据最大值与最小值之间的差值,并依据红外热成像仪的早期林火识别算法,采用最小二乘法求对数曲线对该数据对应图像进行拟合,计算其随距离变化的趋势函数,并最终计算得到该红外热成像仪理论可识别的最远距离。

2.2 测评过程及实验

测试时间为2019年4月7日下午15:00-17:00时,测试期间的气象状况为晴间多云,南风1-2级,气温29℃,相对湿度67%。测试地点位于广州市南沙区龙穴岛海滨,在海滩上点燃约 2 m^2 木质火源,红外热成像仪放置于可移动的渔船上,采用3种型号红外成像仪同时对火源进行观测,测试距离由海上5 km处向海滨逐渐靠近,每隔500 m距离进行一次测试数据记录,每台红外热成像仪同时选取3张影像的裸数据,记录其最大值和最小值。在获取野外测试数据的基础上进行内业处理,包括计算每幅影像裸数据最大值与最小值之间的差值,计算该差值随距离变化的趋势函数,并分别对火点辨识度和理论可识别距离进行评价。

3 结果与分析

经过测试，3种红外热成像仪的测试数据分别如表1-表3所示。这其中，MAX表示红外热成像仪拍摄影像的裸数据的最大值，MIN表示该影像裸数据的最小值，DIF表示该影像裸数据的最大值与最小值之间的差距。

为了减少测试数据的随机误差，将3种红外热成像仪在相同距离测试所得的3幅影像数据的DIF值求平均，得到3种红外热成像仪在不同距离时影像裸数据的DIF平均值，如表4所示。

表4中可以得到3种不同种类红外热成像仪影像裸数据DIF平均值随距离变化的趋势。依据

红外热成像仪的早期林火识别算法，仍然采用最小二乘法求对数曲线对该数据进行拟合^[6]，得到的图像如图1所示。

表5列出了3种红外热成像仪影像裸数据DIF平均值随距离变化的趋势函数，以及通过该函数计算的理论可识别距离。

红外热成像仪的识别效果可以从火点相对于自然背景辐射的可分辨程度和理论上可识别火点的最远距离两方面进行判定。

对于火点相对于自然背景的辨识度来说，在红外热成像仪的识别过程中，在同一距离和环境中，DIF平均值越大表明火点越容易从背景中区分出来，其火点的辨识度越高。从趋势函数来看，

表1 红外热成像仪1的测试数据
Tab.1 Test data of infrared thermal imager 1

距离 /km Distance	影像 1 Image1			影像 2 Image2			影像 3 Image3		
	MAX	MIN	DIF	MAX	MIN	DIF	MAX	MIN	DIF
0.5	62 559	14 660	47 899	62 565	14 664	47 901	62 576	14 671	47 905
1.0	45 405	14 750	30 655	44 810	14 746	30 064	46 274	14 762	31 512
1.5	50 385	14 833	35 552	44 694	14 816	29 878	48 925	14 849	34 076
2.0	29 823	14 914	14 909	27 867	14 904	12 963	28 845	14 909	13 936
2.5	25 451	14 967	10 484	26 400	14 945	11 455	26 460	14 963	11 497
3.0	19 293	13 861	5 432	20 482	13 879	6 603	20 206	13 882	6 324
3.5	16 859	14 027	2 832	16 832	14 010	2 822	16 548	14 006	2 542
4.0	16 687	14 105	2 582	17 025	14 096	2 929	17 456	14 076	3 380
4.5	17 484	14 038	3 446	16 717	14 016	2 701	17 806	14 021	3 785
5.0	18 600	13 987	4 613	17 611	14 015	3 596	17 734	14 010	3 724

表2 红外热成像仪2的测试数据
Tab.2 Test data of infrared thermal imager 2

距离 /km Distance	影像 1 Image1			影像 2 Image2			影像 3 Image3		
	MAX	MIN	DIF	MAX	MIN	DIF	MAX	MIN	DIF
0.5	14 957	-285	15 242	14 941	-283	15 224	17 698	-278	17 976
1.0	7 640	-384	8 024	7 007	-385	7 392	7 082	-383	7 465
1.5	1 900	-224	2 124	3 273	-222	3 495	3 864	-220	4 084
2.0	4 623	-333	4 956	3 937	-330	4 267	5 120	-327	5 447
2.5	1 807	-525	2 332	1 930	-529	2 459	1 778	-530	2 308
3.0	403	-420	823	578	-421	999	354	-424	778
3.5	391	-320	711	158	-317	475	43	-315	358
4.0	385	-490	875	388	-425	813	466	-390	856
4.5	1 293	-254	1 547	680	-252	932	713	-248	961
5.0	1 642	-392	2 034	1 037	-386	1 423	1 340	-389	1 729

表 3 红外热成像仪 3 的测试数据
Tab.3 Test data of infrared thermal imager 3

距离 /km Distance	影像 1 Image1			影像 2 Image2			影像 3 Image3		
	MAX	MIN	DIF	MAX	MIN	DIF	MAX	MIN	DIF
0.5	55 531	15 378	40 153	55 531	15 424	40 107	55 531	15 373	40 158
1.0	53 726	15 591	38 135	50 876	15 584	35 292	50 529	15 543	34 986
1.5	49 273	16 082	33 191	49 446	16 052	33 394	50 379	16 072	34 307
2.0	55 531	15 486	40 045	55 531	15 479	40 052	55 531	15 470	40 061
2.5	35 499	15 229	20 270	34 427	15 272	19 155	33 300	15 248	18 052
3.0	23 298	14 423	8 875	26 928	14 393	12 535	27 625	14 394	13 231
3.5	20 252	14 327	5 925	18 007	14 333	3 674	18 044	14 367	3 677
4.0	22 032	14 285	7 747	23 145	14 273	8 872	25 380	14 277	11 103
4.5	22 378	14 738	7 640	22 418	14 718	7 700	24 964	14 755	10 209
5.0	24 335	14 531	9 804	25 166	14 543	10 623	29 411	14 514	14 897

表 4 不同距离影像裸数据 DIF 平均值
Tab.4 DIF-average of images bare data in different distance

距离 /km Distance	红外热成像仪 1 IR 1	红外热成像仪 2 IR 2	红外热成像仪 3 IR 3
0.5	47 902	16 147	40 139
1.0	30 744	7 627	36 138
1.5	33 169	3 234	33 631
2.0	13 936	4 890	40 053
2.5	11 145	2 366	19 159
3.0	6 120	867	11 547
3.5	2 732	514	4 425
4.0	2 964	848	9 241
4.5	3 311	1 147	8 516
5.0	3 978	1 729	11 775

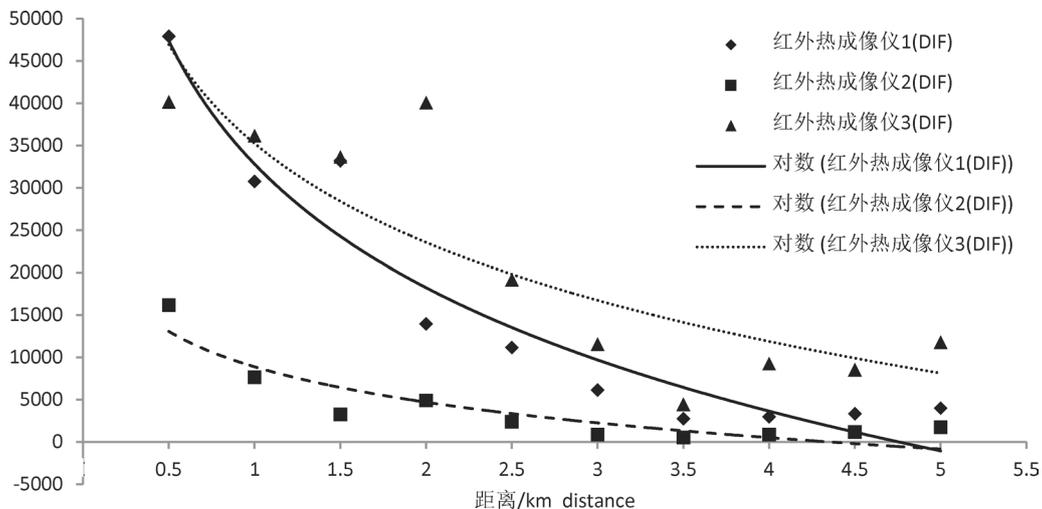


图 1 红外热成像仪影像裸数据 DIF 平均值随距离变化趋势
Fig.1 Infrared thermal imager bare data DIF-average value with distance

表 5 DIF 平均值随距离变化的趋势
Tab.5 DIF-average trend with distance

红外热成像仪编号 IR number	趋势函数 Trend function	理论可识别距离 /km Theoretically recognizable distance
1	$y = -21\ 039\ln(x) + 32\ 795$	4.75
2	$y = -6\ 042\ln(x) + 8\ 875.2$	4.34
3	$y = -16\ 849\ln(x) + 35\ 233$	8.09

红外热成像仪 2 的火点辨识度显然不如另两种红外热成像仪，而红外热成像仪 1 和红外热成像仪 3 在 1.5 km 以内对火点的辨识度相差不大，但随着测试距离的逐渐增大，红外热成像仪 1 的对火点的辨识度迅速下降。

对于理论上可识别火点的最远距离的计算方法来说，当 DIF 平均值趋势函数的 y 值小于 0 以后，理论上表明背景辐射与火点几乎无法区分，即到达了该红外热成像仪可识别火点的极限，此时的距离值即为红外热成像仪的理论可识别距离。从趋势函数上看，红外热成像仪 1 可识别距离在 4.75 km，红外热成像仪 2 的理论可识别距离在 4.34 km，而红外热成像仪 3 的理论可识别距离远远大于另外两种红外热成像仪，达到了 8.09 km。

从性能方面综合考虑，红外热成像仪 3 对火点的识别效果要明显高于另两种红外热成像仪。

4 结论与讨论

本文针对红外热成像仪林火识别技术，提出了一种基于红外裸数据的红外热成像仪测评方法，可从火点的辨识度和理论可识别距离两方面对不同的红外热成像仪进行测评，该测试方法可比较客观地评价红外热成像仪对林火的识别能力，有助于森林火灾监测相关研究人员依据实际需要选择对应型号红外热成像仪。

本文所述的测评方法主要是针对红外热成像仪的性能方面，在实际中还需要考虑设备成本、安装地点要求的监测范围等因素。例如在广东部分山地分布较多的地区，通视距离较近，而文中红外热成像仪 1 和红外热成像仪 3 的近距离火点可分辨程度相差不大，若红外热成像仪 1 的成本远小于红外热成像仪 3 时，完全可以采用红外热成像仪 1 来进行林火监测。随着红外热成像仪在森林火灾监测中的广泛应用，红外热成像仪在林火识别算法方面的应用已经越来越成熟，尤其是

在减少误报和漏报方面，针对红外热成像仪的系统测试也将越来越标准化和规范化。

参考文献

- [1] 陈浩, 周宇飞, 乔玮, 等. 基于远程视频的林火识别技术研究现状[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(4): 102-106.
- [2] 沈亚琪. 基于DSP红外森林火灾在线监控系统的设计[D]. 南京: 东南大学, 2017.
- [3] 刘柯珍, 舒立福, 杨光, 等. 利用热红外成像仪识别夜间林火[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, 48(1): 69-74.
- [4] 刘子骥. 非制冷红外焦平面探测器测试及验证成像技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [5] 吴兆明, 郑嫦娥, 上官晓锐. 基于红外图像的林火识别方法及实现[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(8): 21-26;83.
- [6] 周宇飞, 李兴伟, 王振师, 等. 红外热成像仪早期林火识别算法研究[J]. 林业资源管理, 2012(5): 119-124.
- [7] 王东伟, 张旭升, 何川, 等. 红外热像仪最小可辨温差客观评测技术[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(4): 611-613;654.
- [8] 李平, 李卓. 基于LabVIEW的红外场景生成器最小可分辨温差测试[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(8): 943-946.
- [9] 李旭东, 艾克聪, 张安锋. 热成像系统MRTD数学模型的研究[J]. 应用光学, 2004(6): 38-42.
- [10] Hu S, Gao T, Li H, et al. Simultaneously simulating the scattering properties of nonspherical aerosol particles with different sizes by the MRTD scattering model[J]. Optics express, 2017, 25(15): 17872-17891.
- [11] 田留德, 刘朝晖, 赵建科, 等. 红外热像仪MRTD测试方法研究[J]. 红外技术, 2015, 37(5): 368-373.
- [12] 陈琛, 张晓晖, 郭虎生. 红外热像仪MRTD自动检测方法研究[J]. 红外技术, 2010, 32(9): 509-512.
- [13] 周龙, 刘收, 杨广志. 基于BP神经网络的红外成像系统MRTD参数客观测量方法的实现[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(增刊): 308-313.