

全自动太阳能红外林火探测系统

刘树勋 王祯学 许祖武 王大晶 罗奇钰

(四川大学无线电系)

摘要——本文报道了采用太阳能电池能源、实现现场无人监视、自动搜索林区火情、无线电自动传送火情信息的 HLT-81 型红外林火探测系统。该系统由探测仪和显示器两部分组成。探测仪放置在林区制高点上, 定时搜索扫描, 可监视数百至上千平方公里大面积林区。显示器放置在室内, 接收由探测仪发回的无线电信号, 经过信号识别和信息处理, 用数码显示林区火目标的方位和距离参数, 同时发出报警声响。

一、引言

火灾对森林的威胁是一个全球性问题, 工业先进国家都在努力发展探测林火的新技术。在六十年代, 人们把红外技术应用于森林火情探测, 取得明显进展。美国先后研制出单波段及双波段机载红外森林探火仪, 后来又研制成卫星载多波段监测系统。但是, 飞机不可能持续地监视同一林区, 卫星对小火的识别能力有限。因此, 作为配合, 美国和加拿大等国还使用了地面林火探测设备。

我国目前主要通过了望台人工了望来监视林区火情。由于我国林业资源大都分布在人烟稀少、交通不便、气候恶劣的边远山区, 了望条件极为艰苦。针对上述情况, 我们研制了 HLT-81 型红外林火探测系统。该系统采用太阳能电池能源, 能自动搜索林区火情, 用无线电传送火情信息, 是一种地面型全自动的红外林火探测系统。经室内长期运转和林区值班试用, 证明该系统适合我国林业生产情况, 具有体积小, 重量轻、功耗小、工作稳定、测报准确、成本较低等优点, 易于推广应用。

二、林火的红外辐射特性与系统工作波段的选择

一般情况下, 森林火在开始阶段都带有地表火特性, 只燃烧干草、枯枝落叶层、小树和灌木。这时火焰高度可达 2~3 米, 火焰温度可达 600~1000°C。由于热气流的上升, 火场不断发展, 因而在整个火场周围形成一个复杂的温度分布, 红外探测系统探测到的总的热辐射能是这个复杂温度分布下的积分值。

本文 1981 年 8 月 20 日收到。

以碳水化合物为主体的森林可燃物, 燃烧过程中在中红外区域产生两个强烈的辐射带,

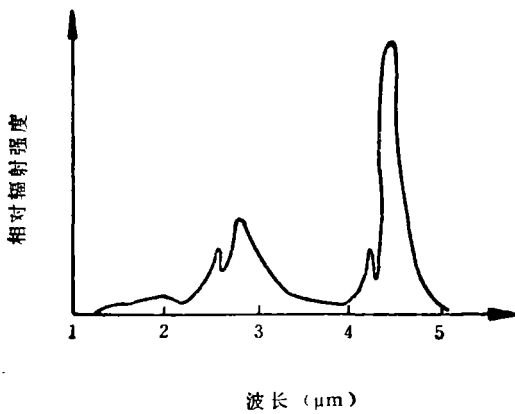


图1 林火的红外辐射光谱

一个带中心位于 $2.7\mu\text{m}$ 左右, 另一个带中心位于 $4.3\mu\text{m}$ 左右, 辐射更强一些, 它们主要是由二氧化碳和水蒸气的辐射谱带叠加形成的。二氧化碳和水蒸气都有自己确定的辐射带, 但这些辐射带在高温下显著地扩展、重叠, 以至最后形成了如图1所示的连续光谱图。

为了使林火探测系统具有较高的灵敏度, 希望红外传感器尽可能多地接收目标在整个光谱区的辐射。但是, 这样做不利于提高系统对地物辐射和太阳光的抗干扰能力, 因此希望红外传感器具有选

择接收的功能, 使系统的工作波段主要落在林火辐射的主峰带上。在背景辐射中, 太阳光的干扰最为严重, 主要在较短的波长区域, 地物辐射的干扰较小, 主要在长波区域。为此我们选用中国科学院上海技术物理研究所研制的非致冷型室温碲化铋探测器作传感器, 它的光谱响应如图2所示, 在林火辐射的主峰带上响应较高, 而在 $2\sim 7\mu\text{m}$ 以外, 响应很低, 这就有利于系统抗除短波方向的太阳光干扰和长波方向的地物辐射干扰。

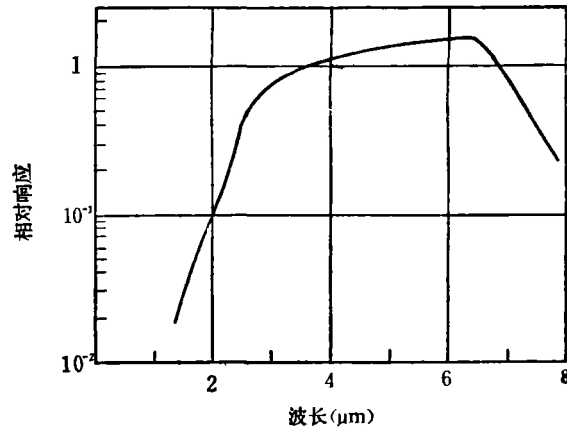


图2 室温 InSb 探测器的光谱响应图

为了提高系统光谱响应的矩形系数, 我们在光路上增加了一个具有图3所示光谱透过特性的前截止低通干涉滤光片, 使系统的抗阳光干扰性能进一步得到提高。

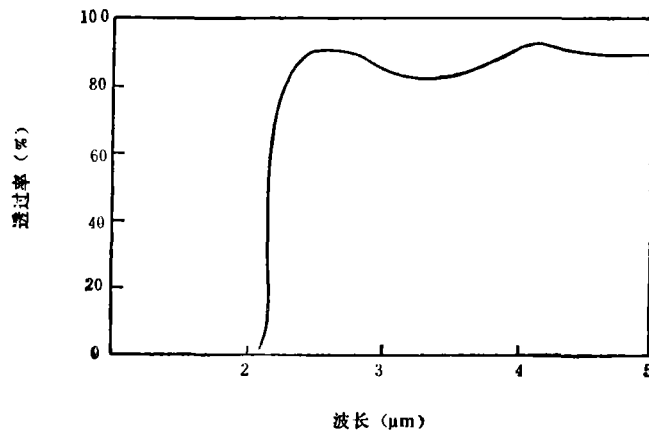


图3 滤光片的光谱透过特性

为了防尘、防潮，我们选用涤纶薄膜作光学系统的保护罩，它在系统工作波段内基本上是透明的。

三、系统的结构与工作原理

HLLT-81 型红外林火探测系统由探测仪和显示器两部分组成，林区火情信息通过无线电传送到显示器。

1. 探测仪

探测仪包括光机扫描系统，探测器和低噪声前置放大器，中心控制电路，小功率发射机和程控电源等几部分，如图 4 所示。

光机扫描系统 其结构如图 5 所示，它由一个转动的平面反射镜和一个固定的聚焦系统即卡塞格林系统组成。系统的入瞳直径 $D_0=10\text{cm}$ 。有效焦距 $f=50\text{cm}$ 。InSb 探测器安装在聚焦系统的焦平面上。

平面反射镜是整个系统的光学扫描部件，安装在扫描圆盘上，在 DP-2-26 型微电机带动下，作方位扫描运动。与此同时，传动的机械部分又使平面反射镜作俯仰运动。平面镜每扫描 360° ，其俯仰角同时递增(或递减)一个角度。方位扫描和俯仰运动的结果，系统的瞬时视场在地面扫掠出如图 6 所示的螺旋型轨迹图。

光机扫描系统在扫描过程中同时给出方位和距离基准信号，比较火(目标)信号与基准信号之间的相位关系，就能确定火的地理位置。

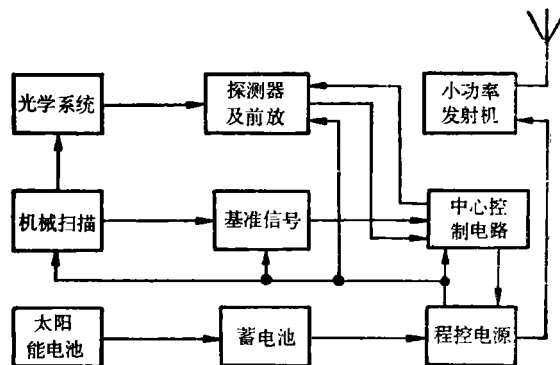


图 4 探测仪方框结构图

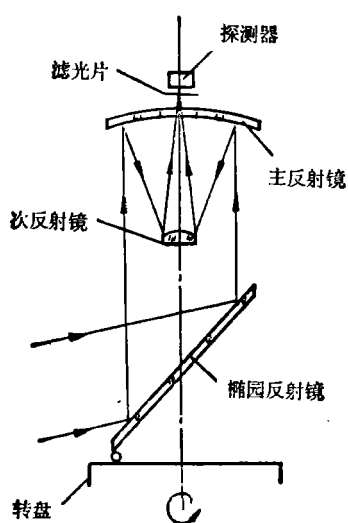


图 5 光机扫描系统结构示意图

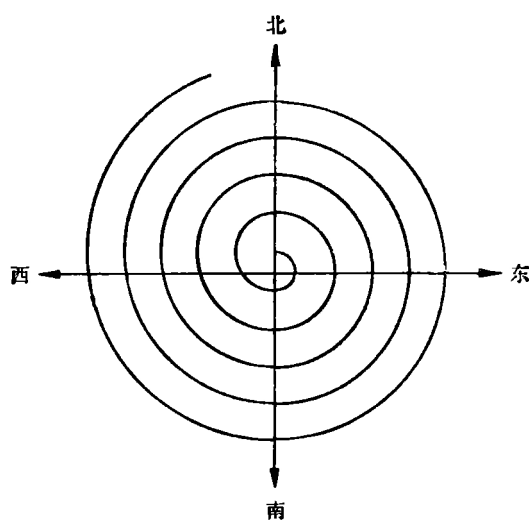


图 6 瞬时视场在地面扫掠出的轨迹图

低噪声前置放大器 由于探测器输出的电信号十分微弱,放大器必须有足够高的增益。放大器输出信号的信噪比决定了整个探测仪的灵敏度,因此要求放大器是低噪声的。除严格挑选低噪声电路元器件,合理设计电路结构和完善电磁屏蔽外,确定放大器的最佳带宽也是非常重要的。

本系统的扫描速度为每圈 500 微秒。瞬时视场为 4×10^{-3} rad。因而信号的持续时间 τ 约为 $320 \mu s$, 如果限定被放大后的火脉冲边沿时间 $t_r < 100 \mu s$, 则放大器的高端截止频率 f_2 可由公式^[4]:

$$f_2 = \frac{2.2}{2\pi t_r} \quad (1)$$

求出,约为 3.6 kHz。另外,估计火脉冲平顶时间 t_d 为 $100 \mu s$, 经放大后下塌率 $r = 30\%$, 于是由公式^[4]:

$$f_1 = \frac{r}{2\pi t_d} \quad (2)$$

可求得放大器的低端截止频率 f_1 , 约为 450 Hz。放大器的通频带很窄,火脉冲信号经放大后将发生严重畸变。由于本系统是一个阀式警报系统,而不是成象系统,这种畸变对系统的性能不会带来任何不利的影响。相反,这样窄的通频带将大大降低放大器的噪声,减小慢变化的低频成分,使背景辐射受到部分抑制,对提高系统性能是有益的。

中心控制电路 这是整个探测仪的信号处理中心,它根据方位和距离基准信号与火信号的时间、相位关系以及有无火情的逻辑关系,指挥小功率发射机、扫描电机以及程控电源之间协调工作。其基本逻辑关系如图 7 所示。

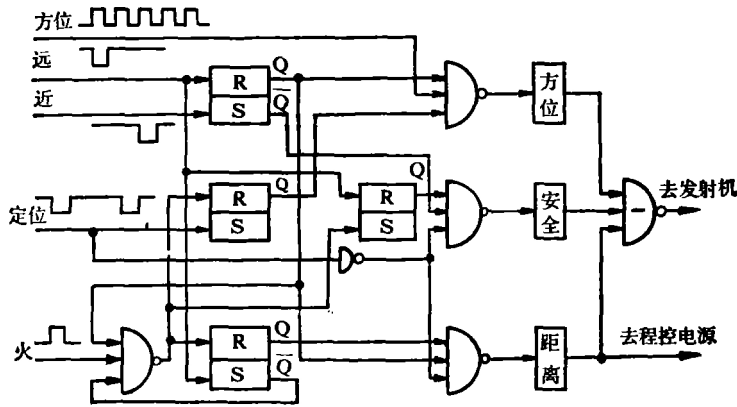


图 7 中心控制电路的逻辑示意图

当扫描经过远点时,控制电路的门打开,准备接收火信号;

当扫描由远点到近点,没有发现火情时,控制电路的门关闭,同时指挥发射机发出“平安”信号;

当从远点到近点的搜索扫描过程中捕获到火目标时,火警信号进入控制电路,并立即指挥发射机发出火灾警报信号,报出火目标的方位和距离参数;

在指挥发射机发出火灾警报的同时,给出信号,使程控电源连续工作,搜索扫描过程持续不停,实现对火目标的重复报警。

小功率发射机 这是一台固定载频的发射机,载频信号由晶体振荡器提供,它在中心控制电路的指挥下工作,平时处于静止状态,工作时发射具有一定特征的射频脉冲串,分别代表方位,距离信号或“平安”信号。

程控电源 它有自己的时间控制电路,同时也受中心控制电路的指挥。探测仪的工作时间和间隔时间是由程控电源控制的,控制电路包括两个时控电路和电源通断开关。其方框结构如图 8 所示。接通电源后,扫描电机启动,导通时控电路,决定扫描的持续时间。扫描结束后,给出信号触发截止时控电路,并切断主机电源。

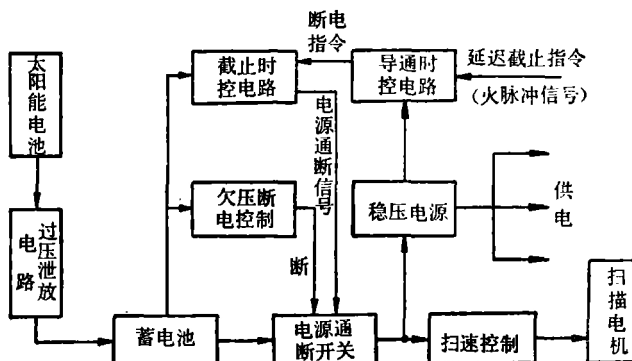


图 8 程控电源方框结构图

在主机电源切断后,除截止时控电路处于值班状态外,整个探测仪都处于“休息”状态。截止时控电路决定“休息”时间的长短,时间一到,电路翻转并给出信号,重新接通主机电源,扫描过程重新开始。如此周而复始,使探测仪处于定时间隔工作状态,以达到节约能源的目的。

当扫描过程中捕获到火目标时,导通时控电路复零,重新开始计时,使探测仪持续工作,反复测报火目标的方位和距离参数。

程控电源还装有稳压、欠压保护装置。当太阳能电池给蓄电池充过电时,泄放电路自动接通,当蓄电池端电压低到额定值以下时,主机电源接不通,从而保证野外无人监视的探测仪安全可靠地工作。

2. 显示器

显示器包括无线电接收机、信号识别与信息处理电路、自校检测信号发生器、程控电源以及报警音响装置等几个部分,如图 9 所示。

无线电接收机 这是一个短波超外差接收机,为增加通信距离,要求接收机有较高的灵敏度。由于是定频接收,无需调谐,可使电路大为简化。本振信号由晶体振荡器提供,以提

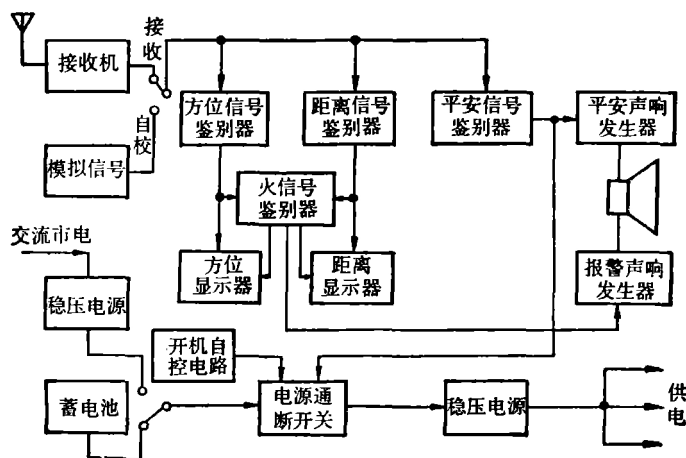


图 9 显示器方框结构图

高频率稳定性。

信号识别与信息处理 它由一系列选通门和锁定电路组成。接收机检波输出信号中既有探测仪发回的有用信号,也有各种干扰信号。信号识别电路的第一个作用是从检波输出中提取由探测仪发回的有特定规律的信号,以减少由于无线电杂波干扰带来的误报。根据信号的固有特征,信号之间的相位关系和时间关系识别信号,可使误报率降低两个数量级。信号识别电路的第二个作用是把“平安”信号、方位信号和距离信号分开,送入各自的信息处理电路中去。

火警信号经过信息处理电路后,通过译码以十进制在数码管上显示火目标的方位和距离参数。其中方位角读数是火目标相对于探测仪方位基线的角度数,距离读数是平面反射镜的俯仰角参数,其表示的实际距离与探测仪架设的高度有关。

自校检测信号发生器 显示器若在较长时间没有信息反映,为了要判断是野外的探测仪出了故障,还是室内的显示器出了故障,显示器内部装有自校检测信号发生器,产生模拟火警信号,用以检查显示器本身的故障。

程控电源 显示器可用直流电供电,也可用交流电供电。为了节约能源和延长仪器的使用寿命,电源部分采用程序控制。当接收到探测仪发回的“平安”信息后,令主机电源切断,仪器处于“休息”状态。经过一段时间后,显示器又先于探测仪提前开机,使显示器处于“守候”状态。在接收到火警信息后,程控电源持续接通,保证显示器连续报警。

报警音响装置 包括信号发生器、功率放大器、音响装置和外接报警开关。“平安”音响信号和报警音响信号由同一振荡器产生,只是调制信号不同。用“平安”信号和报警信号分别触发单稳态电路或启动多谐振荡器,产生不同的调制信号,从而分别发出“平安”音响或火灾警报音响。

四、虚警的产生与抗干扰措施

太阳辐射是红外系统的强干扰源,虽然在系统光路上安装了前截止低通滤光片,但阳光直射进入光学系统时,仍会引起虚警,使系统发出误报。阳光通过水面、光滑路面或其他镜面体反射进入光学系统时,也容易引起虚警误报,特别是在离探测仪较近的地方有这类反射体时,尤为严重。为了消除和减小这些阳光干扰,系统在设计上和使用上采取了以下几点措施。

首先,探测仪设计成一个俯视系统,安装在林区制高点上。平面反射镜的最大仰角(此时视场对准被监视林区的最远处),应调整到不允许日出或日落时阳光直入光学系统。

其次,探测仪不要安装到和林区中的湖成东西方向的地方,以免系统瞬时视场对准水面的阳光反射。

再者,探测仪的灵敏度设计成随搜索半径缩小而降低,以减小系统对近处出现的干扰源的敏感性,同时又使系统达到能探测出远距离小火的灵敏度。为此,探测仪前置放大器的增益必须随平面反射镜的俯仰角而变化,同时还能在光学系统上限制近处入射光通量的大小。

另外,雷电、正在通过林区铁路的火车头等是瞬时出现的干扰源,若进入系统的瞬时视场内,也可能引起虚警,发出误报。可以根据报警有没有重复性来判别是不是瞬时干扰。

在离探测仪较近的地方若有高大烟囱和其它固定红外源时,系统将不停地报警,这些固

定的干扰源,因其方位、距离参数不会变化,容易被识别,但影响系统正常工作,因此在安装探测仪时,最好避开这类红外干扰源,或者将系统的这一方位用障碍物遮蔽。

五、系统的主要性能与分析

本仪器的实际探测距离可以分析如下。

探测仪是一个搜索扫描系统,其理想探测距离 R_0 ^[5]为:

$$R_0 = [J\tau_a]^{1/2} \cdot \left[\frac{\pi}{2} D_0 (NA) \tau_0 \right]^{1/2} \cdot [D^*]^{1/2} \cdot \left[\frac{\nu C}{\dot{\Omega}} \right]^{1/4}, \quad (3)$$

式中: J 为辐射强度; τ_a 为大气透过率; (NA) 为光学系统的数值孔径; τ_0 为探测器的光谱透过率; D^* 为探测器元件的归一化探测率; ν 为脉冲能见度系数; C 为探测器元件数目; $\dot{\Omega}$ 为搜索速度。

在我国大兴安岭,实测林火的辐射亮度 N 为 $6.0 \times 10^{-2} [\text{W} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sr}^{-1}]$, 由此求得 10 m^2 林火的辐射强度 J 为 $60 \times 10^3 [\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}]$ 。大气透过率主要由水蒸气和二氧化碳的透过率来决定,根据文献[5]的数据可以估计得, $\tau_a = (\tau_{\text{水}}) \cdot (\tau_{\text{二氧化碳}}) = 0.40$,

$$\therefore [J\tau_a]^{1/2} = 50 [\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}]^{1/2};$$

由已知的光学系统参量可求得, $(NA) = D_0/2f = 0.1$, 探测器的光谱透过率取 0.7, 由此可得:

$$\left[\frac{\pi}{2} D_0 (NA) \tau_0 \right]^{1/2} = 1.0 \text{ cm}^{1/2};$$

所用室温锑化铟探测器的探测率 D^* 为 $1.0 \times 10^9 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$;

探测仪扫描一周的搜索视场 Ω 可由探测器的线径 $x(0.5 \text{ mm})$ 和有效焦距 f 确定为

$$\Omega = 2\pi \frac{x}{f} \approx 6.3 \times 10^{-3} \text{ sr},$$

扫描一周的时间 τ 为 0.5 秒,探测器元件数目为 1, 取脉冲能见度系数为 0.5, 则

$$\left[\frac{\nu C}{\dot{\Omega}} \right]^{1/4} = 2.5 [\text{sr}^{-1} \cdot \text{s}]^{1/4}.$$

将上述数据代入式 (3), 可得理想作用距离为:

$$R_0 = 41.25 \text{ km}.$$

为了进行有效的探测, 我们假设每工作 $8 \times 10^4 \text{ s}$ 虚警一次, 若以每隔半小时搜索二分半钟计算, 则连续工作十一昼夜, 其虚警次数不多于一次。如选探测到火警的概率为 90%, 系统电子学带宽为 $4f = 3 \text{ kHz}$, 据文献[5]的有关曲线, 可得实际探测距离为:

$$R = 0.35 R_0 = 14.4 \text{ km}.$$

而所需的信噪比为 6.5。上述分析表明, 探测仪能够自动监视周围 650 多平方公里的林区。

本系统的主要性能为:

1. 探测仪的最小可报警功率为 $6.6 \times 10^{-8} \text{ W}$, 在晴天, 对于 10 m^2 的林火目标, 探测距离大于 10 km;

2. 方位角扫描范围为 $0 \sim 360^\circ$, 绝对误差小于 10° , 视场总张角大于 16° ;

3. 探测仪工作时平均耗电功率小于 6 W。值班耗电功率小于 0.4 mV;

4. 发射机输出脉冲功率大于 3.5 W。接收机灵敏度优于 $5 \mu\text{V}$ (信噪比大于 20 dB)。

参 考 文 献

- [1] T·J·Jarratt et al., *Applications of Infrared Detectors*, Mullard Limited. 1971, 26~44.
- [2] R·D·小哈得逊著, 红外技术应用, 西北电讯工程学院, 1976, 46~47.
- [3] "Infrared Missiles May Fight Forest Fires", *Electronics*, **32**(1959), 69.
- [4] 童诗白主编, 模拟电子技术基础(上册), 人民教育出版社, 1980, 147~149.
- [5] R·D·小哈得逊著, 红外系统原理, 国防工业出版社, 1979, 69~96, 244~256.

SOLAR ENERGY INFRARED AUTOMATIC SYSTEM FOR DETECTING FOREST FIRES

LIU SUXUN, WANG ZENXUE, XU ZHUWU, WANG DAJIN, LUO QIYU
(department of Radio, Sichuan University)

ABSTRACT

HLT-81 type infrared system for detecting forest fires is reported in this paper. This system can automatically search for the information about fires in the forest and meanwhile automatically transmit it by means of radio. Solar cell is made use of in it. And it is no longer operated by men in the forest now. The system consists of two parts—a detecting instrument and an indicator. The former is fixed on the highest possible place in the forest, which can watch a vast area of the forest of several hundred or one thousand square kilometres, while the latter is put in the room, which receives the radio signals from the former and after the recognition of the signals and data processing, indicates the azimuth and distance of the fire target with the help of the digital display, sounding an alarm.