

热成像系统

〔美〕 迈克·劳埃德 著

《红 外 与 激 光 技 术》编 辑 组

一九七八年九月·天津

编 译:《红 外 与 激 光 技 术》编 辑 组

印 刷:天 津 市 第 一 印 刷 厂

出版发行:天津市 (15) 215 信箱 第一资料室

前 言

本书旨在介绍热成像技术，和作为现代热像仪（FLIR）实践基础概述。由于探讨热成像的课题很多，到处都能找到，因此本书对探测器、低温致冷器、电路设计或视频显示不作讨论。有些难得的有用资料，由于没有发表出版，在个人通讯中，我把它收集起来，供大家参考。

在热成像业务工作中，同我共事的每个人，在言谈交往中，给了我很大的帮助，尤其要提到 Bob Sandall、Luke Biberman、Pete Laakmann、George Hopper 和 Norm Stetson 几位，对我的影响很大，在此表示衷心的感谢。

在我编写本书的三年当中，许多管理人员，特别是陆军夜视实验室的 Ed Sheehan 和 Don Looft 以及 Honeywell 公司的 Bob Norling、Bob Ryneearson 和 Sheldon Busansky，从一开始以及后来一直支持我的工作，在此一并表示感谢。我还要感谢丛书编辑 Bill Wolfe，最后他将本书编入光学物理工程丛书中。我对他的诚恳、耐心而细致的校订工作表示十分赞赏。我对 Honeywell 公司的 Beth Whittemore 小姐和 Frank Thompsom 协会的 Gail Logan 小姐分别为我打字和负责最后稿子的准备工作表示赏识和感谢。最后，我还要深切感谢我的家庭编辑 LaVonne，她以熟练的技巧为本书誊清了许多段落中的文字。

欢迎读者通过 Honeywell 公司同我取得联系，以便交换意见和修改，并给我提供新的资料线索。

迈克·劳埃德

于马萨诸塞，阿克顿

符 号 表

符 号	意 义	单 位
a	探测器水平线性量纲	[厘米]
A	系统的水平视场	[角度]
A_d	探测器的面积	[厘米 ²]
A_c	显示的噪声相关面积	[厘米 ²]
A_t	显示的目标面积	[厘米 ²]
A_o	有效的光学聚光面积	[厘米 ²]
$\arg()$	“复数的辐角”算子	无量纲
b	探测器垂直线性量纲	[厘米]
B	系统的垂直视场	[角度]
c	真空中光的速度	[厘米/秒]
c_1, c_2, c_3	普朗克定律中的常数	—
C	对比度	无量纲
C	电 容	[法拉]
C	设计的复杂性	[厘米]
C_R	辐射对比度	无量纲
${}_nC_n$	球差系数	[厘米 ⁻³]
$\text{Circ}()$	圆函数	无量纲
$\text{Comb}()$	周期 Δ 函数阵	无量纲
CFF	临界闪烁-停闪频率	[赫]
CTD	临界目标尺寸	[米]
d	线性弥散直径	[厘米]
$D^*(\lambda)$	比探测度与波长的函数关系	[厘米赫 ^{1/2} /瓦]
$D^*(\lambda_n)$	峰值比探测度	[厘米赫 ^{1/2} /瓦]
D_o	光学系统通光孔径直径	[厘米]
$e(t)$	电压与时间的函数关系	
E	敏感元件效率	无量纲
f	光学焦距	[厘米]
f	时间或空间频率 (看上下文而定)	[赫]或[周/毫弧度]
f_R	参考频率	[赫]
f_T	目标空间频率	[周/毫弧度]
Δf	电噪声等效带宽	[赫]
f_x, f_y	笛卡儿角空间频率	[周/毫弧度]

f_c, f_r, f_1, f_2, f_o	特征频率	[赫]或[周/毫弧度]
f_c	截止空间频率	[周/毫弧度]
$\dot{F}$	帧速率	[赫]
$F/\#$	光学系统焦距与通光孔径之比 (F-数)	无量纲
$F\{ \}$	正付里叶变换算子	无量纲
$F^{-1}\{ \}$	反付里叶变换算子	无量纲
$g(f)$	噪声电压谱	[伏/赫 ^{1/2}]
G	增益	无量纲
h	普朗克常数	[瓦秒 ²]
H	辐照度	[瓦/厘米 ²]
H_s	绝对湿度	[克/厘米 ³]
H'_s	饱和时的绝对湿度	[克/厘米 ³]
H_r	相对湿度	无量纲
$l(x, y)$	图象信号分布与角的或线性笛卡儿坐标的函数关系	无量纲
$i(t)$	电流与时间的函数关系	[安]
i	象 距	[厘米]
I	扫描器隔行因子	无量纲
I	折射率的相对系数	[°K ⁻¹]
$l_m()$	“复数的虚部”算子	无量纲
J	辐射强度	[瓦/球面度]
K	波耳兹曼常数	[瓦秒/°K]
$\underline{K}$	波的矢量	[厘米 ⁻¹]
$k(\lambda)$	大气的吸收系数	[公里 ⁻¹]
L	亮 度	[呎-朗伯]
L_B	背景亮度	[呎-朗伯]
L	每目标高度扫描线	[呎-朗伯]
LSF	线扩展函数	无量纲
M	光学角放大率	无量纲
MDTD	最小可探测温差	[°K]
MTF	调制传递函数	无量纲
MRTD	最小可分辨温差	[°C]
n	折射率	无量纲
n	探测器数目	无量纲
N	曲面法线的角	[弧度]
N	辐射亮度	[瓦/厘米 ² 球面度]
N_e	等效线数或等效系统带宽	[周/毫弧度]
NETD	噪声等效温差	[°K]

$O(x,y)$	物体信号分布与角的或线性笛卡儿坐标的函数关系	无量纲
O	物 距	[厘米]
O	过扫系数	无量纲
O_h	超焦距	[厘米]
OTF	光学传递函数	无量纲
P	透镜或透镜曲面焦强	[厘米 ⁻¹]
P	辐射通量	[瓦]
P	水蒸汽分压	[毫米汞柱]
$P(x,y)$	入射光瞳函数	无量纲
P	敏感元件性能	[秒 ^{1/2} 毫弧 ⁻¹ °K ⁻¹]
P_c	成功机率与性能准则C的关系	无量纲
Q	电 荷	[库伦]
Q_1	光谱辐射光子密度	[光子/厘米 ² 秒微米]
Q_B	背景光子通量	[光子/厘米 ² 秒]
$r(x)$	脉冲响应	无量纲
$\tilde{r}(f)$	OTF或MTF(看上下文而定)	无量纲
$\tilde{r}_0(f)$	光学的MTF	无量纲
$\tilde{r}_d(f)$	探测器的MTF	无量纲
$\tilde{r}_e(f)$	处理电路的MTF	无量纲
$\tilde{r}_m(f)$	视频监控器的MTF	无量纲
$\tilde{r}_s(f)$	系统的MTF	无量纲
$\hat{r}(f)$	方波响应	无量纲
R	电 阻	[欧姆]
R	到目标的斜距	[米]
R	半 径	[米]
$R(\lambda)$	响应率	[伏/瓦]
$R_c()$	“复数的实部”算子	无量纲
R_p	珀兹伐半径	[厘米]
$Rect()$	矩形函数	无量纲
S	表面积	[厘米 ²]
$S\{ \}$	系统算子	无量纲
$\text{sinc}()$	$(\sin x)/x$ 函数	无量纲
SiTF	信号传递函数	[呎-朗伯/°K]
SNR	信噪比	无量纲
SNR_p	觉察的信噪比	无量纲
SNR_i	象点信噪比	无量纲
SWR	眼睛正弦波响应函数	无量纲

t	时 间	[秒]
t	光学元件厚度	[厘米]
t	透镜中心厚度	[厘米]
T	绝对温度	[°K]
T_c	眼睛有效积分时间	[秒]
T_f	帧时间	[秒]
T_T, T_B, T_A	目标、背景和大气绝对温度	[°K]
ΔT	温差	[°K]
U	辐射能	[焦耳]
V	电 压	[伏]
V	色散系数	无量纲
W	辐射通量密度	[瓦/厘米 ²]
W	可降水量	[厘米/公里]
W'	饱和时可降水量	[厘米/公里]
W_λ	光谱辐射通量密度	[瓦/厘米 ² 微米]
$W(x, y)$	象差函数	[厘米]
W_B, W_T	背景和目标的辐射通量密度	[瓦/厘米 ² 微米]
$\frac{\partial W}{\partial T}$	在某具体谱带内, 随温度微分变化的辐射通量密度的微分变化	[瓦/厘米 ² °K]
x, y	角的或线性笛卡儿座标 (看上下文而定)	[米]或[毫弧度]
α	探测器水平张角	[毫弧度]
α	热膨胀系数	[厘米/厘米°K]
β	探测器垂直张角	[毫弧度]
γ	扫描镜偏转角	[弧度]
$\gamma(\lambda)$	大气消光系数	[公里 ⁻¹]
δ	角弥散直径	[弧度]
$\delta(\quad)$	狄拉克 δ 函数	无量纲
ΔT	温 差	[°K]
Δ_1, Δ_2	主平面与透镜顶点的间距	[厘米]
ϵ	发射率	无量纲
ϵ	线性散焦	[厘米]
ξ, η	线性或角笛卡儿坐标	[米]或[毫弧度]
η	部分弥散	无量纲
λ	波 长	[微米]
μ	统计学平均值	无量纲
ω	光学频率	[秒 ⁻¹]

Ω	立体角	[球面度]
Ω_{cs}	冷屏蔽角	[球面度]
η_d	探测的量子效率	无量纲
η_{cs}	冷屏蔽效率	无量纲
η_v	垂直扫描占空因数	无量纲
η_H	平行扫描占空因数	无量纲
η_{sc}	总的扫描占空因数	无量纲
η_0	光学效率	无量纲
σ	线扩展函数的标准偏差	[毫弧度]
σ	斯忒藩-玻耳兹曼常数	[瓦/厘米 ² °K ⁴]
$\sigma(\lambda)$	大气散射系数	[公里 ⁻¹]
θ	物空间的扫描角	[弧度]
θ_c	临界的目标张角	[毫弧度]
τ	时间常数	[秒]
τ_d	探测器驻留时间	[秒]
$\tau_A(\lambda)$	大气透射	无量纲
$\bar{\tau}_a$	在某具体谱带内的平均大气透过	无量纲
$\tau_0(\lambda)$	光学透射	无量纲
$\bar{\tau}_0$	在某具体谱带内的平均光学透射	无量纲

写 在 前 面

华国锋总理在五届人大政府工作报告中指出：“在我们这样一个人口占世界五分之一的社会主义国家，在今后不到四分之一世纪的时间内实现四个现代化，这在我国和世界历史上都是伟大的壮举。我们一定要为完成历史赋予我们的这个光荣任务而努力奋斗”。

粉碎“四人帮”，一扫“四害”横行时万马齐喑的沉闷空气，科技战线进军号角嘹亮。现代科学技术，以原子能的利用、电子计算机技术和空间科学技术的发展为主要标志，正在经历着一场伟大的革命。红外技术作为一门新兴的科学技术，由于探测手段的日趋完善，现代光学、半导体电子学的迅速发展，在工农业、医学、军事等方面正获得广泛的应用。近年来出现的热成像技术能把发热物体自然发射的红外光变成可见光，从而能使人们的视觉范围由可见光区扩大到红外区。无疑，这一“飞跃”将推动红外技术迅速发展。遵照毛主席“洋为中用”的教导，我们翻译了〔美国〕J.M.Lloyd著“THERMAL IMAGING SYSTEMS”一书。供从事这方面研究的同志们参考。在译校过程中，本书原有的错误，凡是已发现的，都作了更正。可能还有未被发现的错误，望读者在阅读时自行订正。

参加本书译校工作的有：陈光余、张定子、杜志辉、卢丽卿、陆荣铿、龚琰民、张秀媚等同志。全书由陈光余同志审订。

在本书的出版过程中，得到了《激光与红外》编辑组、《天津日报》社、天津第一印刷厂等单位的大力协助，在此表示衷心的感谢。

限于水平和条件，难免有错误和缺点，请读者批评指正。

《红外与激光技术》编辑组

一九七八年三月

目 录

第一章 导 言

1.1	热成象系统的功用	(1)
1.2	热成象系统的由来	(2)
1.3	热成象基础	(4)
1.4	热成象的资料来源	(8)
1.5	示例系统	(9)

第二章 热辐射理论和大气传输

2.1	前 言	(11)
2.2	辐射定律	(11)
2.3	大气传输	(16)

第三章 线性滤波理论

3.1	适用性	(36)
3.2	卷积积分	(36)
3.3	付里叶变换	(39)
3.4	卷积定理和光学传输函数	(41)
3.5	卷积象与非卷积象的形成	(43)
3.6	速记的付里叶分析	(44)
3.7	典型元件的OTF	(47)
3.8	光学元件的OTF	(51)
3.9	电路处理的OTF	(54)
3.10	图象运动和象位误差引起的MTF的损失	(56)
3.11	等效带宽、等效分辨和中心极限定理	(57)

第四章 视觉的心理物理学

4.1	前 言	(63)
4.2	人类视觉系统的一般特性	(63)
4.3	空间频率响应	(64)
4.4	放大效果	(68)

4.5	视觉对随机噪声的空间频率的敏感度	(69)
4.6	眼睛的空间和时间积分	(70)
4.7	帧作用的感觉	(72)
4.7.1	闪烁	(72)
4.7.2	隔行扫描	(73)
4.7.3	边缘闪烁	(75)
4.8	每画面高度的线数和适宜距离	(75)
4.9	环境因素	(77)
4.10	随机噪声的目标探测	(77)
4.10.1	对与噪声无关的信号探测	(78)
4.10.2	对与噪声有关的信号探测	(79)
4.11	图象锐度的主观印象及其客观联系	(83)
4.12	视觉的心理物理学对热成象系统设计的应用	(86)

第五章 性能的综合量度

5.1	前 言	(92)
5.2	噪声等效温差	(92)
5.3	NETD的推导	(93)
5.4	BLIP探测器的NETD 方程	(98)
5.5	NETD作为综合量度的缺点	(99)
5.6	NETD的折衷	(100)
5.7	最小可分辨温差	(101)
5.8	MRTD的推导	(102)
5.9	最小可探测温差	(106)
5.10	噪声等效发射率	(107)
5.11	敏感元件的性能	(109)
5.12	光谱范围的选择	(110)
5.13	光谱带宽的优选	(111)
5.14	红外光学收集效率因子	(113)
5.15	性能参数与工作效率的关系	(114)
5.16	主要FLIR象质分析方程综述	(115)

第六章 光学装置

6.1	光学元件	(118)
-----	------	---------

6.2	基本光学过程	(119)
6.2.1	光楔	(119)
6.2.1	简单透镜	(121)
6.3	广义的透镜系统	(124)
6.4	透镜系统的模型表示法	(125)
6.5	平面镜的模型表示法	(129)
6.6	示例系统的探测器系统	(130)
6.6.1	球差和彗差效应	(130)
6.6.2	色差效应	(132)
6.6.3	场曲效应	(133)
6.6.4	衍射限制光学元件的散焦效应	(136)
6.7	辅助光学元件	(138)
6.8	热成象光学材料	(140)
6.9	光学元件的热效应	(141)
6.10	热折射率变化的被动光学补偿	(146)
6.11	离轴的象质	(148)
6.12	固定焦点系统的图象缺陷	(148)
6.13	冷反射	(152)

第七章 扫描机构

7.1	前 言	(157)
7.2	摆动的平面镜	(157)
7.2.1	会聚光束扫描器	(158)
7.2.2	平行光束扫描器	(161)
7.3	转动的反射镜鼓	(164)
7.4	旋转折射棱镜	(168)
7.5	旋转折射光楔	(171)
7.6	其他扫描器	(173)
7.7	寄生信号效应	(175)

第八章 热成象系统的类型

8.1	前 言	(178)
8.2	串联和并联景物的解析	(178)
8.3	并联和串联扫描FLIR的性能比较	(181)

8.4	信号处理	(182)
8.4.1	低频响应和直流复原	(182)
8.4.2	多路传输	(186)
8.5	扫描FLIR系统的类型	(187)
8.6	非扫描热成像系统	(190)
8.7	油膜形变装置	(192)
8.8	半导体红外摄像管	(193)
8.9	热释电摄像管	(193)
8.10	图象转换管	(194)
8.11	激光参量图象上转换	(194)
8.12	红外量子计数器	(196)

第九章 采 样

9.1	前 言	(201)
9.2	用并联处理的扫描器的采样	(205)
9.3	用二维镶嵌“凝视”敏感元件的采样	(206)
9.4	用多路传输系统的采样	(207)
9.5	采样的实际结果	(209)

第十章 视觉目标捕获

10.1	目标捕获原理	(212)
10.2	视觉搜索时眼睛的活动	(214)
10.3	自由搜索理论	(216)
10.4	搜索几何图形	(218)
10.5	等效条带图表可分辨率	(218)
10.6	探测概率	(220)
10.7	分类概率和识别概率	(221)
10.8	辨别概率	(223)
10.9	用计算机处理FLIR图象的试验	(224)
10.10	有关观察人员其他限制	(227)
10.11	系统参数的优选	(229)

第十一章 系统性能试验

11.1	信号传递函数和动态范围	(233)
------	-------------	-------

11·2	光学传递函数试验·····	(234)
11·3	最小可分辨温差试验·····	(236)
11·4	噪声等效温差试验·····	(237)

第十二章 热 图 象

第 一 章

导 言

1.1 热成象系统的功用

热成象系统能把发热物体自然发射的红外光变成可见光,从而将人们的视觉由短波红光扩大到远红外区。由于人的眼睛不能响应 $0.4\sim 0.7$ 微米以外的光,因此需要一种能将主要能量变成可见图象的装置,使人的眼睛在夜间看东西就象白天一样。这种夜眼一般应能响应在物体温度下所发射出的光子,因为在没有反射的太阳辐射时,这种光子是起主要作用的。具体地说,它必需对哪些相对背景有显著的发射率、温差和对比度的波长有光谱响应。这就必须保证有一种与视觉反射图形十分相似的辐射图形,使得转换景物的视觉判读成为可能*。这种装置的光谱灵敏度也必须与不过度吸收所需辐射的大气透过窗相一致。

考虑一下眼睛产生可见光图象的全过程,就可以了解产生热图象的困难。眼睛是可见光辐射的最好敏感元件,有下面三种条件:第一,眼睛的光谱响应范围是 $0.4\sim 0.7$ 微米,正好符合太阳光源输出的峰值,在这个波段内,集中着大致38%的太阳辐射能*,并且地球上的物体具有良好的反射度。第二,眼睛是一种理想的量子噪声限器件,因为在这个波段内网膜探测器有量子能级的低噪声。第三,这种网膜探测器对物体温度下所发射出的光子的响应可以忽略不计,因而这些长波热能不会妨碍对所需波长的响应。就是这些优越性使眼睛能完成其基本功能,即探测出被 $0.4\sim 0.7$ 微米辐射所照明的物体上的反射度差,能识别这些反射度差中的图型,以及辨别出这些图形与从前得到的视觉感性抽象概念同其他感受之间的联系。为了使把主要的光成象的夜间热眼同人的眼睛一样有效,它也必须是量子噪声限的,能抑制无关的光波的探测器。

同自然可见光源图象主要是由反射和反射度差所产生的情形相反,热图象则主要是由自发射率差而产生的。因此,在热成象中,感兴趣的是自生热能图型。热系统的能力通常是用景物温度的术语,而不用辐射学术语来描述的,因此需要有一些明确的定义。景物中任一点的温度、反射率和发射率的所有影响都可以用该点的等效温度来表示。假如这一点是理想的黑体辐射体,就是说,在等效温度下它辐射出理论上可能的最大功率,这个等效温度就是取得该点附近的测量的辐照的温度。同样,通过介于其间的衰减大气所测得的辐照度,可以看作是由一个视在温度低于其等效温度的点所产生的。

这一简化是可行的,因为大部分热成象系统有宽的光谱通带,并且接受全部偏振光。因此

* 我们只探讨敏感自然景物辐射的被动成象系统,而不是敏感有热照明器的反射辐射的主动系统。

* 把这一波段与 $8\sim 14$ 微米波段比较一下,后一波段只集中0.08%的太阳辐射能。

它们对产生等效温差的机理是不敏感的。景物中有效温度的变化相应于对视觉景物的清晰度，于是热成像系统对热景物提供了一种可见模拟，这就可以希望把有用信息从一个光谱波段有效地转换到另一个波段。Wornser^[1]论述了热成像的可实现性，并叙述了热象仪的工作原理。

本书主要讲用机械扫描的装置。这种装置能实时地和以同电视速率相比较的最大信息速率（帧速率）将远红外光谱转换成可见光辐射。由于没有更有叙述性的缩写，例如用TV代表电视，用I²代表图象增强^[2]，热成像用户就采用了FLIR的术语，这就是前视红外系统的缩写。这种术语能把快帧速热成像系统和俯视单通道热测绘系统以及单帧温度记录摄像机区别开来。虽然FLIR这一术语原指机载的系统，但现已用来表示快帧速的热象仪了。

FLIR是以下列方法产生热图象的。首先，光学系统把景物的红外辐射收集起来，经过光谱滤波后，聚焦到一种光学扫描的多元探测器阵列上。探测器将光信号变换成模拟电信号，经过放大和处理后，在视频监控器上显示出来。FLIR外表上类似于电视，就是最后的图象往往显示在以TV型帧速工作的TV型监控器上。采用对比度（视频增益）和亮度（背景电平）控制，并且显示出的热景物的空间图型与相应可见光景物的图型极为相似。

目前，实时红外热成像主要用于军事目的和搜集情报。现在已有来复枪的热显示器，导弹及枪炮的瞄准具和机载的前视红外系统装备部队。这些装备的功能包括目标捕捉，火控，空中导航，监视及搜集情报等。热成像在非军事上应用有限，但正在扩大中。它可用作热的污染探测，乳房癌检测及其他医学诊断，林火预防，海上空救，产品质量控制，检测煤矿坑道裂缝和材料松脱，电力设备予检维修以及地球资源的勘查等。在广泛认识到热成像技术的用途之后，它将得到更多的应用。此外，它们似乎有助于民航机的着陆和滑行，水面舰船免于流动冰块的碰撞，预防犯罪和战士透过烟硝观察等。

假如主要是考虑在白天或夜晚和在全天候下随时都可以工作，那么用热象仪比用其他种类的被动敏感电光成像装置，在效果上要好多。主要理由是它有可实现的高对比度的再现性和有适宜的优良大气传输窗口。图象增强器和微光电视系统主要是依借目标和背景之间的反射度差来作探测和识别。在可见光谱区中和在利用非彩色装置时，尤其当有伪装时，有意义的目标和背景之间的反射度差是较迟钝的。

但是热成像系统往往注重压抑景物辐照的平均（直流或背景）值，因而只能显示出平均值景物的变化。因此，可以得到高的图象对比度，尤其因为掩盖温度差是很困难的。在第十章将可以看到，观察者对图象的判读能力大大取决于图象的对比度。在这一方面，热系统比大多数可见光波长的装置要优越。

热象仪也有些缺点，就是景物比可见光景物缺少层次和立体感，因而要用下面的方法加以补偿：使热景物辐射能量中的所有表面都能看得见。另一个缺点是热发射率未必是好的视觉反射体，因而从视觉上看，亮物体在热景物中可能是黑的，反之也是一样。无论如何，通过热图象技术，人们可以获得颇多的知识。常常引用的某些例子，如储箱的液面，船的航迹，汽车是否行驶过，发电厂运转时热燃气发射或加热面的显示以及以特征面热图型的标准来识别物体就是很好的证明。下面我们追溯一下热成像系统的由来。

1.2 热成像系统的由来

最初的热成像系统就是circa-1930温度记录仪，就是8.7节中所述的一台颇不敏感的非

扫描式装置。由于它有对比度、灵敏度和响应时间的固有限制，因而不能满足大多数热成像的任务。在40年代，出现了两种可选择性的热成像途径：一种途径是发展分立的探测器，其和机械扫描与电视扫描相类似；另一种途径是发展红外摄象管，或某些非机械扫描装置。第一种途径成绩很显著，而第二种途径至今的成绩并不显著。由于非扫描装置仍未能赶上扫描系统的性能，因而留到第八章以后讨论。

原始扫描热象仪前称自动温度记录仪。它是以照相胶卷记录图象的一种单个探测器单元、二维、慢帧扫描器，因而不是一种实时的装置。1952年，美国陆军曾利用一个16吋的探照灯反射器，一个双轴扫描器和一个测辐射热探测器，制成美国国内第一台自动温度记录仪。在1956到1960这段期间，随着陆军资助的军用自动温度记录仪的迅速发展而使这件事情继续下来，后来差不多专为民用。

直到50年代，由于没有快速时间响应的探测器，所以发展这种快帧热象仪是不可能的。电信号频率带宽当时只限于几百赫，因为在上述范围探测器的劣响应只能给出一种低的图象信噪比。由于短时间常数的致冷铽化镱和锗掺汞光子探测器的发展，使得制作第一个快帧敏感元件成为可能。

第一个实时FLIR 敏感元件是俯视条带测绘仪工艺发展的产物。条带测绘仪基本上是一种以飞机对地面作相对运动产生垂直扫描移动的自动温度记录仪，它因陆军和空军用作侦察而得到发展和得到最广泛的使用。

1956年在空军资助下，芝加哥大学搞了一台第一次能操作的长波 FLIR 。这是 AN/A-AS-3型条带测绘仪的改型，称作XA-1。所谓改型是给测绘仪的反向旋转光楔扫描器增加了一个结节俯仰镜，因而单个探测器单元能描绘出二维的光栅图型。由于在侵朝战争以后军事压力没有了，也就不再推进它的发展了。

就作者所知，在1960年，Perkin-Elmer 公司为陆军制作了另一台实时长波长装置。这是一台地面 FLIR，因为有两块旋转折射棱镜，为其单元铽化镱探测器提供螺旋形扫描而叫做棱镜扫描器。它有5°的视场，探测器张角是1毫弧，帧速率为0.2帧/每秒，热灵敏度大约1℃，还有一个永久性磷光体阴极射线管显示器。棱镜扫描器为军用和民用继续发展地面敏感元件，尽可能做得坚固而又实惠。

在60年代初期，机械FLIR 概念由空军和得克萨斯仪表公司以及海军和休斯飞机公司分别制定的发展计划而重新受到重视。1965年样机完成后，实验很成功，因而机械 FLIR 及其应用得到惊人的发展。自此以后，FLIR 事业飞速发展。1960年到1974年期间，至少已研制出了60多种不同的 FLIR，产品有几百件。地面和空中用的 FLIR，功能相类似，而且在许多情况下都是相同的。所以，FLIR这个术语现已完全代表任何一种实时热象仪。

目前，FLIR工艺已发展到能研制探测器阵列的成熟阶段。这种阵列能达到或接近于理论的热灵敏度极限，并且提供出信号响应的快速，足以能满足视场与分辨的高比率所需的带宽。坚固而有效的低温致冷器和探测器杜瓦瓶使FLIR 有适宜的功率补偿成为可能，并且电子元件封装的继续发展，能进一步简化信号处理容量和功率补偿。FLIR 工艺日益向小型化低功率发展，成本适中，使它成为一种通用的电光成像器件。

在FLIR 系统的幼年，热成像质量的分析和评价，正如系统本身一样，都是试验性的。其性能是由空间两点的分辨能力和由产生敏感元件输出的单位信噪比辐照度输入来评定的，