

第 12 章

生物特征识别传感器

12.1 人体生物特征的识别

常见生物识别技术分类

- 生理特征：人脸、指纹、虹膜、视网膜、手形及手部血管分布、人体热特征
- 行为特征：手写体
- 生理-行为双重特征：声音

12.1 人体生物特征的识别

人脸识别

- 人脸识别是最常用的生物识别方法之一，属非干涉性生物识别技术，它几乎不给人带来不便
- “人脸识别+活体检测”有潜力成为最易于被人接受的生物识别手段
- 图像采集、处理、识别与计算机图像识别技术类似
- 已经在安防、支付等一些重要领域应用

12.1 人体生物特征的识别

指纹

- 人类的指纹特征与生俱来
- 指纹识别是指尖表面纹路的脊谷分布模式识别
- 人类使用指纹作为身份识别的手段由来已久
- 指纹识别身份的合法性已得到广泛认可

12.1 人体生物特征的识别

虹膜识别

- 虹膜识别也是一种非干涉性生物识别技术
- 虹膜组织结构在胎儿的中胚叶发育阶段就已经定型
- 虹膜隔离于外部环境而且不能通过手术修改
- 虹膜图像具有高度活体性，瞳孔尺寸变化确定了自然生物特征，较之指纹图像有不可比拟优势
- 理论上，虹膜识别技术可成为防伪性最好的生物识别手段

12.1 人体生物特征的识别

人体热特征识别

- 人体相比于其他物体的热辐射特性识别，包括人体自身红外热成像
- 能区分人体与其他物体的热辐射特性，也能根据热特征信号变化规律完成人体特定行为的识别
- 人体红外热成像图可辅助用于医学诊断

12.2 人体热释电传感器

12.2.1 红外辐射大气窗口

1. 红外辐射

- 红外辐射又称**红外光**，是太阳光谱中红光之外的**不可见光**
- 任何物体的温度只要高于绝对零度(即-273.16℃)
 - 处于“**热状态**”
- 处于热状态的物质分子和原子不断振动、旋转并发生电子跃迁
 - 产生**电磁波**
- 波长处于可见光的红光之外的电磁波
 - 称为“**红外线**”
- 物体与周围温度失去平衡时，就会发射或吸收红外线
 - 热辐射**（红外辐射）



12.2 人体热释电传感器

12.2.1 红外辐射大气窗口

- 根据波长和大气对红外辐射吸收情况，红外辐射分为：

短波红外(1.4~3μm)

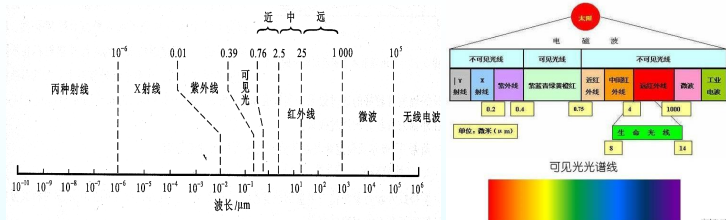
中波红外(3~8μm)

长波红外(8~14μm)

- 长波红外波段又称**热红外**波段，是**常温物体**的辐射波段

- 热红外波段探测器不需要其他光或外部热源

如**太阳**、**月球**或**红外灯**，就可获得**热排放量**探测或**热成像**影像



- 在电磁波谱中，红外线位于可见光与微波之间

波长为**0.76μm ~ 1000μm**

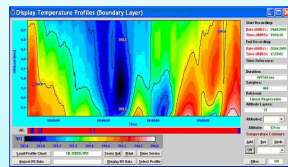
- 根据不同波长范围，红外光分为：

近红外线(0.76μm ~ 2.5μm)

中红外线(2.5μm ~ 25μm)

远红外线(25μm ~ 1000μm)

- 物体红外辐射的**强度**和**波长分布**取决于物体的**温度**和**辐射率**

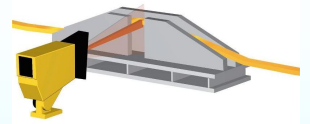


12.2 人体热释电传感器

12.2.1 红外辐射大气窗口

物体温度与辐射功率的关系

$$W \propto \varepsilon \sigma T^4$$



- **斯蒂芬-玻尔茨曼**(Stefan-Boltzmann)定律

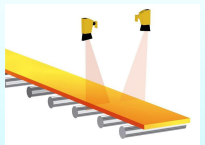
物体辐射强度 W 与其热力学温度的四次方成正比

式中： W ——单位面积辐射功率， $W \cdot m^{-2}$ ；

σ ——斯蒂芬-玻尔茨曼常数， $5.67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ；

T ——热力学温度，K；

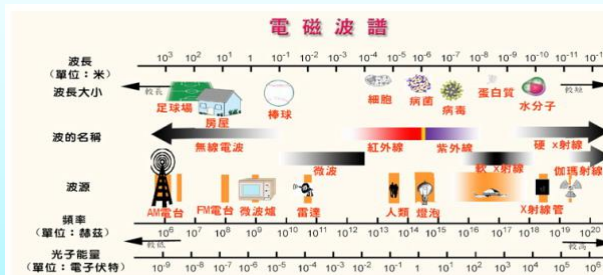
ε ——比辐射率（非黑体辐射度/黑体辐射度）。



- **黑体**：任何温度下能全部吸收任何波长辐射的理想物体， $\varepsilon = 1$ ，**热辐射能力强于其他物体**

- **灰体**：不能全部吸收投射到它表面的辐射功率， $\varepsilon < 1$ ，**发射热辐射的能力小于黑体的一般物体**，**辐射强度与热力学温度的四次方成正比**

- 物体辐射强度随温度升高而明显增强



普朗克定律(Planck's Law)

揭示不同温度下**黑体辐射通量按波长分布**的规律：

$$W_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$$

式中： W_{λ} ——波长为 λ 的黑体光谱辐射通量密度， $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$ ；

C_1 ——第一辐射系数， $C_1 = 3.7415 \times 10^{16} W \cdot m^2$ ；

C_2 ——第二辐射系数， $C_2 = 1.4388 \times 10^{-2} m \cdot K$ ；

T ——热力学温度，K；

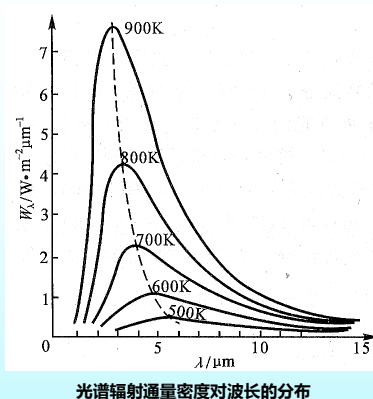
λ ——波长， μm 。

•由普朗克定律得到不同温度下**光谱辐射通量密度对波长的分布规律**

•曲线最高点(辐射通量密度最大值)所对应的**波长 λ_{max}** 与物体自身的**绝对温度 T** 成反比,即:

$$\lambda_{max} = 2898 / T (\mu\text{m}) \quad (3-46)$$

——**维恩(Wien)位移定律**



2. 红外辐射的影响因素

•物体的红外辐射在大气中进行

运用红外技术要考虑大气影响

•大气对不同波长的红外辐射有不同的穿透程度

•大气中的一些分子对红外辐射存在不同程度的吸收作用

水蒸气、二氧化碳、臭氧、甲烷、一氧化碳和水等

•在红外波段上,大气对某些波长的辐射有较好的透过效果

1μm~2.5μm, 3μm~5μm 和 8μm~14μm 的红外辐射

•红外监测技术应用的理论基础:**斯蒂芬-玻尔茨曼定律**

3. 红外辐射传感器种类

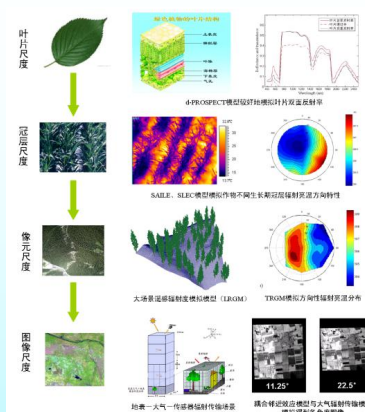
•将**红外辐射量**转化为**电量**的装置

即:**红外探测器**

•按工作原理可将其分成:

热敏探测器

光电探测器



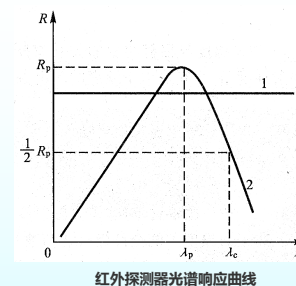
(1) 热敏探测器

•**热敏探测器**:利用半导体薄膜材料在受到红外辐射时产生的**热效应**

•红外辐射使热敏元件的温度升高过程一般比较缓慢

热敏探测器的响应时间较长

——约 10^{-3} s量级



•任何波长的红外辐射,只要功率相同,对物体加热效果相同

•热敏探测器对各种辐射波长有基本相同的响应,光谱响应曲线平坦

•测量波长范围内灵敏度基本不变,且能在常温下工作(上图曲线1)

——也称“**无选择性红外探测器**”

(2) 光电探测器

•**光电探测器**是一种半导体器件

核心是**光敏元件**

•光子投射到光敏元件上时,促使电子-空穴对分离

产生**电信号**

•光电效应产生速度很快

•光电探测器对红外辐射的响应时间要比热敏探测器快得多

最短可达**纳秒**

(2) 光电探测器 (续)

•光电探测器的波长范围一般不变

•对波长的响应率存在峰值 λ_p ,超过 λ_p 时响应曲线迅速截止

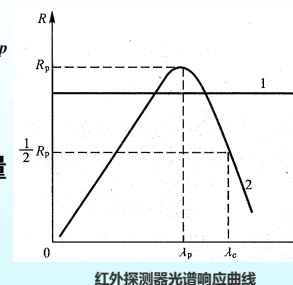
图中**曲线2**

•原因:波长大于一定范围,光子储量不足以激发电子释出,电活性消失

•光电探测器以光子为单元起作用

也称为**光子探测器**

•光电探测器必须在**低温**下才能工作

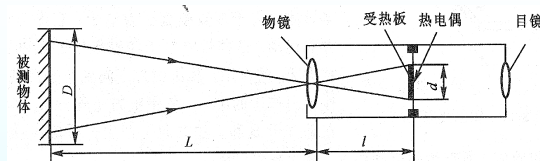


对红外探测器性能的一般要求为：

- ①灵敏度高
- ②在工作波长范围内有较高的探测率
- ③时间常数小

3. 红外检测应用

(1) 辐射温度计



- 辐射温度测量原理：斯蒂芬-玻尔茨曼定律
- 被测物的辐射线经物镜聚焦在**受热板**——**人造黑体**上
- 人造黑体通常采用涂黑的铂片，吸热后温度升高
- 该温度被装在受热板上的**热敏电阻**或**热电偶**所测到
- 被测物通常为 $\varepsilon < 1$ 的灰体
- 以黑体辐射作为定标基准，已知被测物 ε 值，就可求出被测物温度

(1) 辐射温度计（续）

若灰体辐射的总能量全部被黑体吸收，则它们的总能量相等，即：

$$\varepsilon \sigma T^4 = \varepsilon_0 \sigma T_0^4 \quad (3-47)$$

式中： ε ——被测物的比辐射率；

ε_0 ——黑体的比辐射率， $\varepsilon_0=1$ ；

T ——被测物温度；

T_0 ——黑体温度；

σ ——斯蒂芬—玻尔茨曼常数。

由此可得

$$T = \sqrt[4]{\frac{T_0^4}{\varepsilon}}$$

(2) 红外测温

- 辐射温度计多用于800℃以上的高温测量
- 红外测温是指低温及红外光范围的测温

(2) 红外测温（续）

• 被测物的热辐射经光学系统聚焦在**光栅盘**上，被调制成为一定频率的光能入射到**热敏电阻探测器**上

• 热敏电阻接在电桥的一个桥臂上

• 信号经电桥转换为交流电压信号输出，放大后进行显示或记录

• 光栅盘是两块扇形的光栅片——**定片和动片**

• 动片受光栅调制电路控制

按一定的频率双向转动，实现开(光透过)和关(光不透过)，使入射光被调制成具有一定频率的辐射信号作用于光敏探测器上

• 红外测温装置的测温范围为0~700℃，时间常数为4ms~8ms

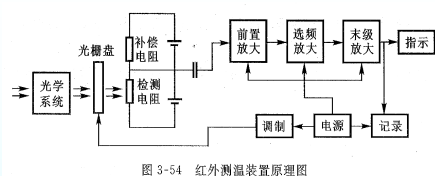
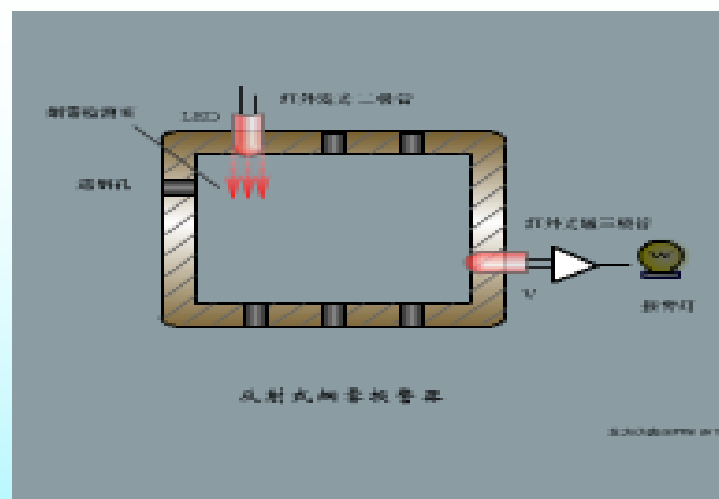
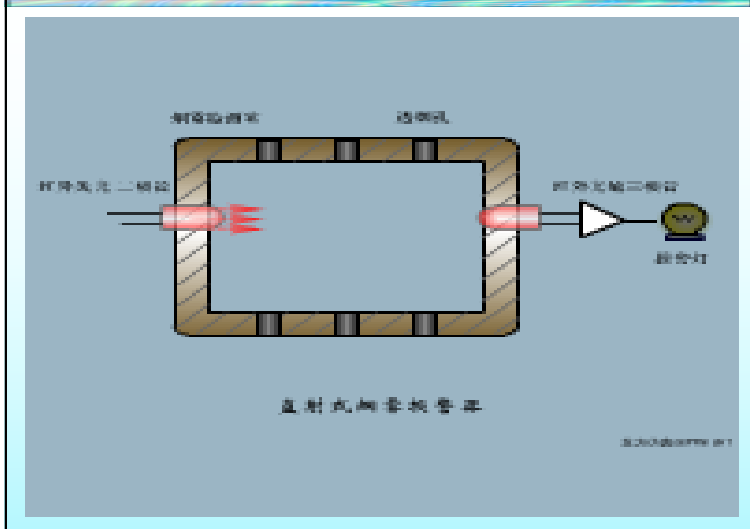
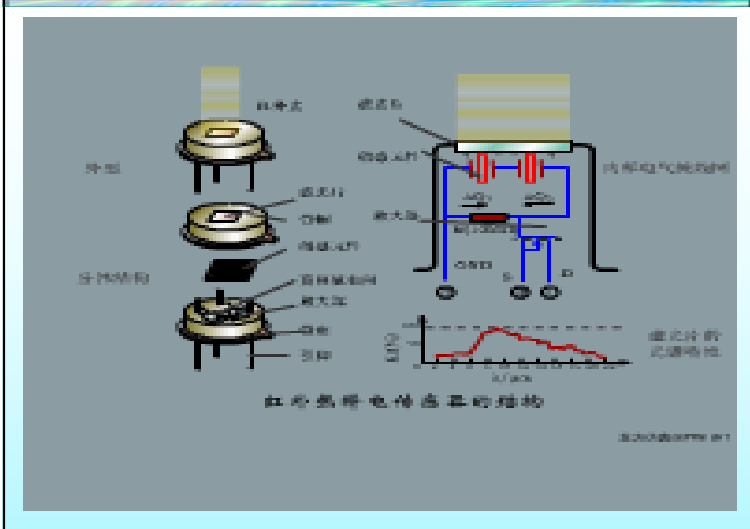
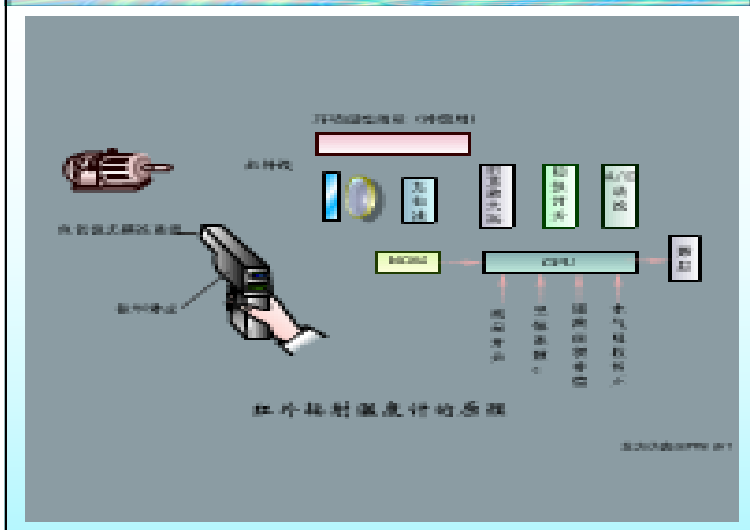
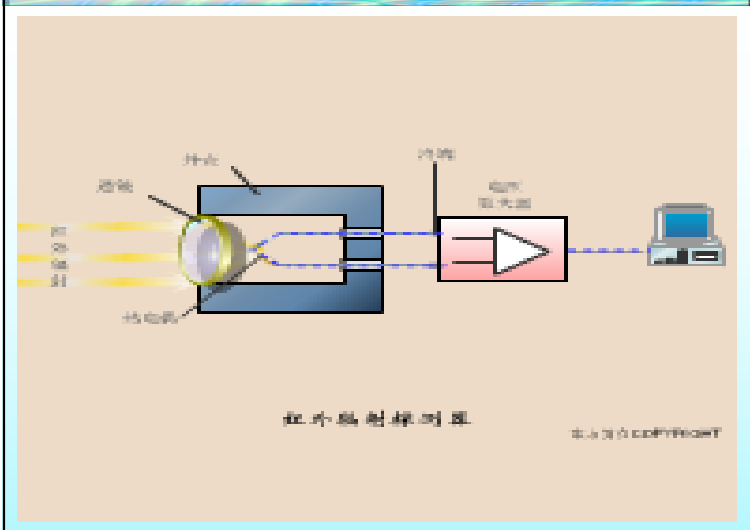
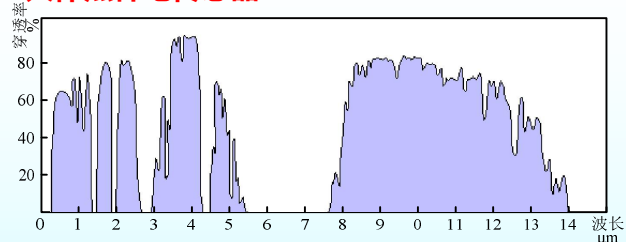


图 3-54 红外测温装置原理图





12.2 人体热释电传感器



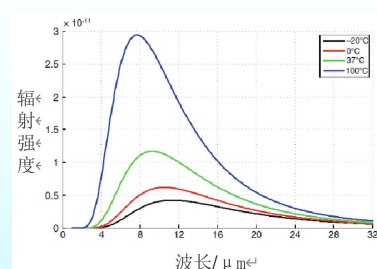
- 根据维恩位移定律，地球表面物体在室温27℃下热辐射绝大部分能量位于热红外波段，辐射量与目标的温度特性有关。
- 大气对此波段的辐射吸收较少，地物目标辐射的热红外波段大部分能够穿透大气传输。
- 热红外波段——大气窗口，人体热释电、红外热成像均工作于大气窗口

12.2 人体热释电传感器

- 普朗克辐射定律描述了不同温度黑体单色辐射能力随温度与波长变化的规律
- 物体温度越高，所有波长范围的光谱向外辐射度越大
- 波长相同的光谱辐射，温度高的黑体比低温的黑体辐射强
- 温度升高，峰值辐射波长下降

维恩位移定律

$$\lambda_{\max} = 2898 / T (\mu\text{m})$$



不同温度黑体单色辐射能力随温度与波长变化的规律

12.2 人体热释电传感器

12.2.2 热释电红外传感器工作原理

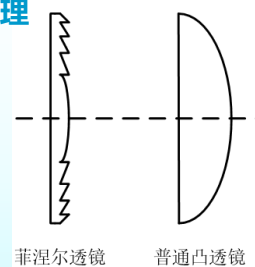
- 通过目标与背景的温差检测，**人体体表不同部位的温度不同**
- 人体散发的红外辐射能量主要分布在红外线的长波部分
波段范围4~30 μm
- 长波红外8~14 μm 波段范围的红外辐射能量占全部人体辐射能的46%
波长的峰值约在9.5 μ
- 人体进入检测区，**人体温度与环境温度**有差别，人体发出的红外线通过菲涅尔透镜聚焦于热释电红外传感器，将红外信号转换为电信号

12.2 人体热释电传感器

12.2.2 热释电红外传感器工作原理

菲涅尔透镜

- 一般由聚烯烃材料注塑或玻璃制作而成
- 镜片表面一侧为光面
- 另一侧刻录了由小到大的**同心圆**，其纹理根据光的干涉及抗射，以及相对灵敏度和接收角度要求设计
- 从剖面看，表面由一系列**锯齿型凹槽**组成，中心是**椭圆型弧线**。
- 每个凹槽都与相邻凹槽之间角度不同，但都将光线集中一处，形成**中心焦点——透镜焦点**。每个凹槽都成为独立的小透镜，在探测器后方把光线调整成**平行光**或**聚光**，投射到感光元件上。

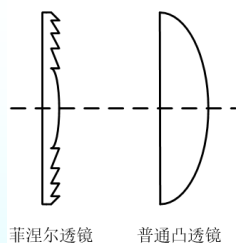


12.2 人体热释电传感器

12.2.2 热释电红外传感器工作原理

菲涅尔透镜

- 菲涅尔透镜运用光学原理在探测器前方产生交替变化的“**盲区**”和“**高灵敏区**”，以提高探测接收灵敏度。
- 当人从透镜前走过时，人体发出的红外线不断地交替从“**盲区**”进入“**高灵敏区**”，使接收到的红外信号以忽强忽弱的**脉动波形**出现，产生变化的热释红外信号。
- 人体热释电红外传感器使用菲涅尔透镜加**滤光**技术，可将入射光的波长敏感段限制在人体红外线辐射波段区间内，以提高抗干扰性和人体检出率。

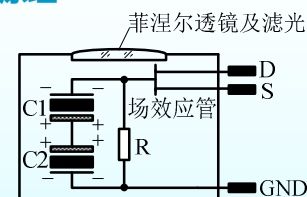


12.2 人体热释电传感器

12.2.2 热释电红外传感器工作原理

热释电红外传感器

- 将碳酸钡等热释电材料晶体制成薄片，片上、片下表面设置电极，上表面覆以黑色膜



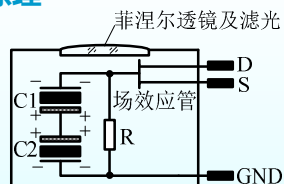
- 若有红外线间歇地照射，表面温度上升，晶体内部的原子排列将产生变化，引起自发极化电荷，在上、下电极之间产生电压
- 由传感探测元、场效应管、光学滤镜、偏置电阻等元器件组成

12.2 人体热释电传感器

12.2.2 热释电红外传感器工作原理

热释电红外传感器

- 将两个极性相反、特性一致的热释电敏感单元串接在一起，消除因环境和自身变化引起的干扰。
- 滤光作用只允许波长约9.5 μm 的红外线通过，将灯光、太阳光及其他辐射滤掉，以抑制外界干扰；
- 菲涅尔透镜红外光聚焦后加至两个敏感单元上，传感器输出电压信号。使用时，D端接电源正极VCC，GND端接地，S端为信号输出。



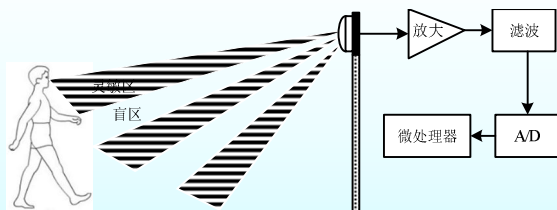
12.2 人体热释电传感器

12.2.3 热释电红外传感器在自动感应门上的应用

- 人体与环境**的温度不同，红外辐射能量与环境辐射有别
- 人通过探测区域时，在传感器的**灵敏区**和**盲区**移动，电压信号发生变化
- 若人体在检测区不动，辐射能在灵敏区和盲区被固定，传感器无信号输出，该传感器适合检测与环境温度有差异的移动目标，如**人体或动物**活动。
- 人和动物体温有细微差别，红外辐射的**峰值波段**也会有区别
- 高端智能热释电传感器能够有效区分是**人和动物**的移动

12.2 人体热释电传感器

12.2.3 热释电红外传感器在自动感应门上的应用



热释电红外传感器在自动感应门上的应用系统组成

- 人体是动态分布式红外源，能够向周围发射峰值波长 $9.5\mu\text{m}$ 的红外线
- 常用的热释电红外传感器敏感区波长在 $8\sim 14\mu\text{m}$ 之间，该区段红外光在大气中传播几乎没有衰减，正好适合于人体红外辐射探测

12.2 人体热释电传感器

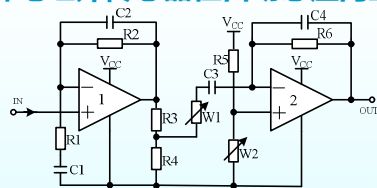
12.2.3 热释电红外传感器在自动感应门上的应用

热释电信号生物特征识别基本原理

- 人体在**探测区域**内行走时，身体各部分的运动(包括躯干、手臂腿部等)产生**特异性的红外辐射**信号
- 人的**体貌特征**及**行走习惯**不同，产生的红外辐射具有**个体差异性**，辐射信号以唯一方式影响传感器的输出
- 通过对传感器输出的**信号分析**，提取表征人体运动的**特征性数据**
- 不同对象输出的时域信号波形相似，但变化规律不同，经频域变换后，其频谱图主要出现在 $0\sim 10\text{Hz}$ ，**频谱**差异性明显
- 利用装有菲涅耳透镜的热释电红外传感器采集运动人体红外信号，经**特征提取**和**分类算法**处理，达到对**不同人**、**不同运动状态**识别目的

12.2 人体热释电传感器

12.2.3 热释电红外传感器在自动感应门上的应用



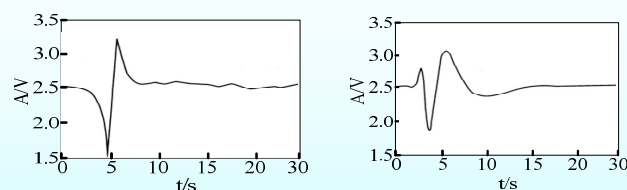
热释电红外传感信号的放大和滤波

- 传感器输出信号需先行放大，再经滤波，低通滤波截止频率一般为 10Hz 。
- 以电压跟随的形式进行二级滤波放大。
- 电路是单电源供电，传感器零位输出电压是 2.5V ，检测到人体活动时，信号的输出电压变化范围： $0\sim 5\text{V}$ 。

12.2 人体热释电传感器

12.2.3 热释电红外传感器在自动感应门上的应用

人体靠近和离开热释电红外传感器典型响应信号



- 人体**靠近**和**离开**热释电红外传感器时，**信号波形**有差异；**奔跑与行走**、**跳跃与步行**有差异，传感器也可用于人体行走生物特征识别，如**步态识别**
- 人体靠近和离开传感器典型响应信号如图所示。有人体靠近监测区域，波形**先下降再上升**，最后趋于平缓；人体离开监测区域，则波形**先小幅上升再下降**，最后上升后趋于平缓，据此判定人体**接近**还是**离开**

12.3 红外热像识别

12.3.1 红外热成像

- 视频监控：采用**主动**红外摄像技术，即利用红外光源照亮周围环境，通过红外探测器接受环境物体红外辐射信号进行红外成像，获得**高清晰、近距离**的目标图像，主要用于**夜视监控**
- 红外热成像：无主动红外光源照射，**被动**地将不可见红外辐射转为可见光。
- 红外热成像中，红外热敏感元件以**平面阵列**方式感受目标物体红外辐射，由光学成像物镜接受被测目标的红外辐射**能量分布图形**，滤光后反映到红外探测器的**光敏元件**上，通过**光电转换**和**信号处理**，将感受域内被测目标（按温度分布）辐射的红外光转换成可视的热图像
- 与热释电红外传感器不同，它以**图像**方式对被测目标进行**敏感检测**，该敏感平面阵列称为**红外焦平面探测器**

12.3 红外热像识别

12.3.1 红外热成像

- 红外焦平面探测器：受器件材料、制造工艺以及读出电路等因素影响，存在**非均匀性**以及**盲元**等问题
- 目标辐射信号微弱时，焦平面的非均匀性及盲元会造成热红外的空间分辨能力严重下降
- 热红外成像系统的输出除了与目标辐射有关，对探测器**工作温度**、**成像系统本体温度**等因素变化较为敏感

12.3 红外热像识别

12.3.1 红外热成像

- 红外热成像按照红外焦平面探测器的工作机理分为两大类：

光子探测器

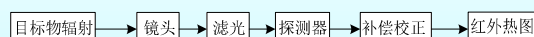
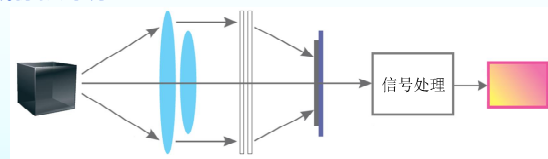
热探测器

- 光子探测器：**制冷型**红外探测器，具有高灵敏度、低噪声等效温差以及快速响应的优点，但是由于其在工作过程中一般需要配备低温制冷装置，使得成像系统的体积、功耗和成本大幅增加
- 热探测器：**非制冷型**红外探测器，工作温度变化对探测率影响不明显。相对于制冷型红外成像系统，探测精度略低。但是不需要制冷设备，系统集成度高、功耗低；便携式红外热成像仪均属于此类

12.3 红外热像识别

12.3.2 红外热成像仪系统组成

红外热成像技术原理

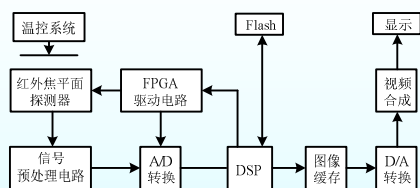


- 目标物体温度高于绝对零度，以红外线形式向外自发辐射能量，穿过大气窗口抵达镜头，光学系统对目标物体的红外辐射进行滤光和会聚成像，经由红外焦平面探测器将目标物体的红外辐射转换为电信号，再由后续电路、补偿校正算法等处理，在显示器中给出与目标物体温度分布对应的红外热图，并显示非可视红外光。

12.3 红外热像识别

12.3.2 红外热成像仪系统组成

红外热成像的信号处理系统

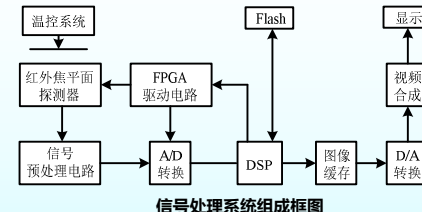


- 大型红外热成像仪：由**光机组件、调焦/变倍组件、内部非均匀性校正组件、成像电路组件和红外探测器/制冷机组件**组成
- 光机组件：由**红外物镜和结构件**组成
- 红外物镜：实现景物热辐射的汇聚成像；结构件：用于支承和保护相关组部件
- 调焦/变倍组件：由**伺服机构和伺服控制电路**组成，实现红外物镜**调焦、视场切换**等功能

12.3 红外热像识别

12.3.2 红外热成像仪系统组成

红外热成像的信号处理系统



信号处理系统组成框图

- 内部非均匀性校正组件：由**内校正机构和内校正控制电路**组成，用于红外热像仪的非均匀性校正
- 成像电路组件：由**探测器接口板、主处理板、制冷机驱动板和电源板**等组成，实现**上电控制、信号采集、信号传输、信号转换和接口通讯**等功能
- 红外探测器/制冷机组件：将红外物镜传输汇聚的**红外辐射转换为电信号**

12.3 红外热像识别

12.3.3 红外热成像技术特点

- 红外热成像技术是一种**被动式、非接触**的检测与识别。隐蔽性好，不易被发现，使操作者更安全、更有效
- 被动式红外热成像技术探测能力强，作用距离远。手持式热成像仪可让使用者看清800m以外的人体
- 能做到24小时全天候监控。红外辐射是自然界中最广泛的辐射，雨雪雾烟等环境下，依然可在大气窗口内实现几乎不衰减传递
- 能直观地显示目标物体的温度场，不受强光影响
- 既可在阳光直射下，也可在无光夜晚、树木草丛等遮挡情况下工作，显示目标物体的温度分布

12.3 红外热像识别

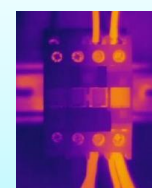
12.3.4 红外热成像技术应用

接触器的可见光图和红外热像图

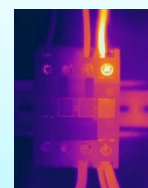
- 红外热成像技术最早用于军事领域。如**夜视、制导**，也可用于**森林火灾隐患排查、地表/海洋热分布和气象学研究、线路故障点判断、设备运行状态判断和异常发热、产品质量控制**等民用领域



(a)接触器的可见光图



(b)正常的红外热像图



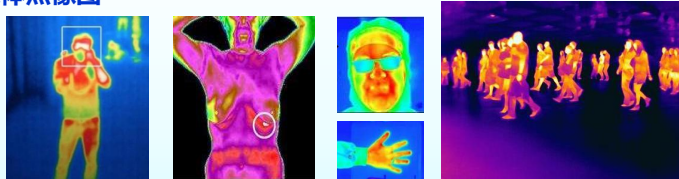
(c)异常发热时的红外热像图

- 接触器工作运行情况通过红外热像图能够非常方便地找出器件的异常发热

12.3 红外热像识别

12.3.4 红外热成像技术应用

人体热像图



- 当某部位出现炎症时，体温会升高，常规体温测量能够判断有无炎症，但不能确定炎症部位
- 可以直观给出人体温度场分布图
- 将病变热图与正常热图比较，得到病变组织和正常组织之间的微小温度差异，据此确定病灶部位



12.4 指纹识别传感器

12.4.1 指纹采集

- 指纹识别：利用人体手指皮肤固有的生理纹路特征进行个人身份鉴定
- 应用最广泛的生物特征识别技术
- 原理：将十指指纹捺印在专门印制的指纹卡片上，然后扫描为数字图像进行存储和处理
- 油墨捺印已经被光学指纹采集器取代
- 典型应用：中国二代身份证、美国的US-VISIT、欧盟EU-VISIT
- 商业应用：指纹考勤机等大都采用光学指纹采集器。指纹采集技术分为光学指纹采集和固态传感器指纹采集。
- 光学指纹采集技术优点：良好的图像质量及设备的耐用性
- 光学指纹采集技术缺点：对干湿手敏感，采集设备相对较大

12.4 指纹识别传感器

12.4.1 指纹采集

- 固态指纹传感器：极大地降低了指纹采集器的尺寸和成本
- 固态指纹传感器用集成电路直接测量手指皮肤的某些特性获得指纹图像
- 常用的固态指纹传感器有电容式、射频式、超声被式、压力感应式等如电脑、手机上用的指纹传感器
- 固态指纹采集器的图像质量可与光学指纹采集器相当
- 缺点：耐用性，静电及其他环境因素对寿命影响较大

12.4 指纹识别传感器

12.4.1 指纹采集

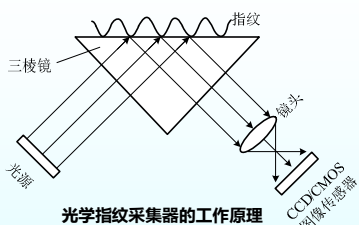
- 指纹采集面积对指纹识别的准确性有至关重要的影响
- 测试显示：采集面积过小，识别准确性急剧下降
- 受成本和尺寸限制，大面积指纹采集器难以在移动电子设备使用
- 滑动式指纹采集器通过拼接手指滑动中的指纹片段获得大面积指纹图像，但拼接图像可能产生形变，造成识别困难

12.4 指纹识别传感器

12.4.1 指纹采集

1. 光学指纹采集器

- 光源发出的光线以特定角度射入三棱镜，当无手指按上时，入射光线将在三棱镜的上表面发生全反射
- 手指按上时，脊线接触棱镜表面，而谷无法接触棱镜表面，脊线皮肤的光折射率比空气大，棱镜表面与脊线的接触破坏全反射条件，使部分光线泄露，反射光线变弱，在图像传感器上形成明暗条纹相间的指纹图像

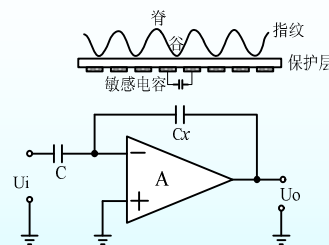


12.4 指纹识别传感器

12.4.1 指纹采集

2. 电容式指纹采集传感器

- 半导体芯片表面被分割成很多像元，各像元宽度小于脊线宽度，手指皮肤表面的脊线和谷被视作电容的介质被敏感，脊线和谷与芯片上电容的表面电极相对位置不同，电容值不同
- 测量电容变化量即可获得指纹图像
- 电容信号较弱，要求手指与芯片表面尽可能近地接触，即要求传感器的表面涂层很薄(几个微米的保护层)，以便提高灵敏度，但涂薄涂层的后果是耐用性较差，所以一般被附以蓝宝石保护层提高耐磨性



12.4 指纹识别传感器

12.4.1 指纹采集

3.其他类型的指纹采集传感器

1) 射频式指纹采集传感器

- 射频信号从侧面射入手指后，手指与半导体芯片之间将形成电磁场
- 电磁场的分布与皮肤表面的形态有关
- 半导体芯片上的每个像元则是微型天线阵列，可感知电磁场分布，从而获得指纹图像
- 射频信号具有较好的穿透性，可穿透至真皮层，获得更可靠的指纹图像

12.4 指纹识别传感器

12.4.1 指纹采集

3.其他类型的指纹采集传感器

2) 超声波式指纹采集传感器

- 向手指表面发射超声波，并接收回波，脊线和谷会产生不同的回波信号
- 根据回波信号的不同即可产生指纹图像信号
- 超声波信号优点：穿透性好，可获得皮肤深层指纹
- 图像质量相对较差，设备价格昂贵

12.4 指纹识别传感器

12.4.2 指纹特征分类



弓

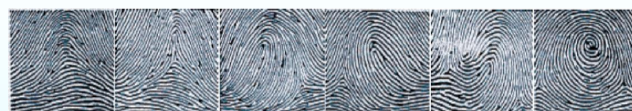
环

螺旋

- 指纹的基本类型有三种：弓(arch)、环(loop)、螺旋(whorl)。

12.4 指纹识别传感器

12.4.2 指纹特征分类



Arch Tented Arch Left Loop Right Loop Double Loop Whorl

- 第一级特征是指纹的纹型
- 在大型指纹识别系统中，纹型分类被用于提高指纹检索的速度
- Galton-Henry分类法将指纹分为五大类型：平弓(plain arch)、帐形弓(tented arch)、桡侧箕(radial loop)、尺侧箕(ulnar loop)、斗(whorl)，其中斗又分为标准斗(plain whorl)、囊(central pocket loop)、绞(double loop)、偏(lateral pocket loop)、杂(accidental whorl)等

12.4 指纹识别传感器

12.4.2 指纹特征分类

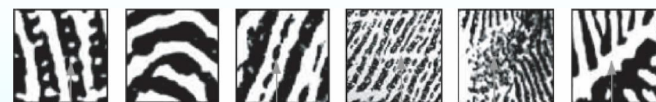


Line-Unit Line-Fragment Ending Bifurcation Eye Hook

- 第二级特征是指纹的细节点，即端点、分叉点等。
- 端点是一条纹线终止的地方
- 分叉点则是一条纹线分裂成二条的地方
- 端点和分叉点是最常用的细节点特征，指纹自动识别系统中常记录其位置和方向，基于这些信息进行匹配

12.4 指纹识别传感器

12.4.2 指纹特征分类



Fores Line Shape Incipient Ridges Creases Warts Scars

- 第三级特征是指纹纹线上的汗孔、纹线形态、早生纹线、疤痕等。
- 第三级特征更为细致，稳定性不如第二级特征
- 指纹纹线形成于生长层，其稳定性也取决于生长层
- 生长层从真皮层接受氧气和养料进行生长和再生，指纹稳定性源于再生、成长和迁移的循环，除非皮肤的生长层遭到破坏，指纹形态也稳定
- 准确估计指纹独特性非常困难，需要作很多假设，取决于人的经验，差异很大。总而言之，公认任意二枚指纹完全相同的概率非常之低

12.4 指纹识别传感器

12.4.3 指纹图像处理

1. 奇异点检测

- 在方向图上，奇异点通常表现为不同方向区域的汇聚点，如图所示
- 图(a)是指纹原图，图(b)是方向图，不同灰度表示纹线的方向不同，可以通过检测不同方向的汇聚点检测奇异点的位置
- 通过分析奇异点周围的方向图模式来确定奇异点的类型，将它们区分为中心点或者三角点。
- 指纹奇异点确定后，可根据奇异点的相对位置和数目来确定指纹的类型。

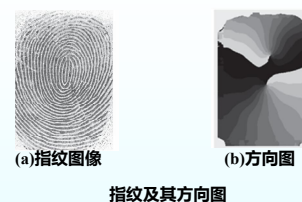


12.4 指纹识别传感器

12.4.3 指纹图像处理

2. 细节节点的提取

- 细节节点：包括纹线端点、分叉点、交叉、小岛等
- 最常用的细节特征是端点和分叉点
- 细节点匹配法是最常用的指纹识别方法，可以达到很高准确度
- 对差质量的指纹而言效果较差

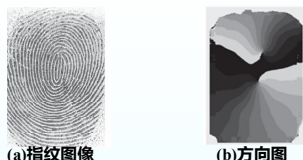


12.4 指纹识别传感器

12.4.3 指纹图像处理

3. 细节特征的直接灰度图像提取

- 在原始图像上确定矩形网格，在网格点附近确定一组跟踪的起始点，计算起始点的跟踪方向，沿跟踪方向跨越一定步长，然后在此位置获得垂直于跟踪方向的一个截面信号，并通过对截面信号分析获得下一个跟踪点，如此反复则可搜索出所有端点和分叉点
- 优点：这种直接从灰度图像提取细节特征的方法，计算速度较快，不需要费时的二值化、细化过程
- 缺点：指纹质量较差时，纹线跟踪变得异常困难，褶皱、纹形破损、纹线粘连等都会给纹线跟踪法造成严重影响



12.4 指纹识别传感器

12.4.3 指纹图像处理

4. 基于细化图提取细节特征

基于细化图提取特征是目前最为主流的方法，其步骤如下：

- 指纹图像归一化：使得指纹图像更加清晰
- 指纹图像分割和质量判断：将指纹从背景中分割出来
- 方向图计算：计算指纹图像上每个区域内纹线的方向
- 基于方向图滤波和增强：沿纹线方向对指纹图像进行滤波，并弥和指纹上的褶皱，增强脊线与沟线的对比度
- 二值化：将指纹纹线变为单像素宽的曲线
- 细节点标记：根据细画图标记细节特征。



12.4 指纹识别传感器

12.4.3 指纹图像处理

4. 基于细化图提取细节特征

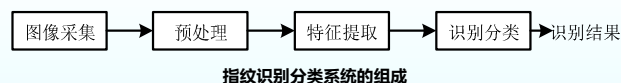


基于细化图提取特征是目前最为主流的方法，其步骤如下：

- 以上步骤中，每一步都有很多成熟方法。上图显示了细节点特征提取的范例
- (b)为经过分割、增强及二值化后的指纹图像
- (d)中“十”字为纹型中心点，“口”为三角点，带有短线的圆圈为细节点，短线指示了细节点方向。
- 中心点、三角点和细节点是纹线算法分类的依据

12.4 指纹识别传感器

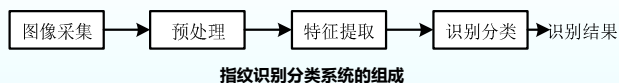
12.4.4 指纹识别



- 自动指纹识别中，指纹被分为三种基本类型
- 根据类型又被分成三个级别的特征
- 指纹分类的主要目的是方便大容量指纹库管理，减小搜索时间，加速指纹匹配过程
- 指纹识别分类系统一般由图像采集、预处理、特征提取、识别分类组成

12.4 指纹识别传感器

12.4.4 指纹识别



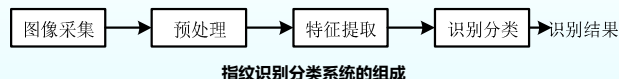
指纹识别分类系统的组成

- 依据识别分类算法所用的特征不同，将指纹识别分为**图像特征法**、**纹线匹配法**、**细节特征法**、**汗孔特征法**等，**细节特征法**是常用方法
- 图像特征法：设有二幅待匹配图像，分别进行**傅里叶变换**得到**频谱**，将二个频谱相乘获得**相关谱**
- 若二幅图像相似，频谱亦相似，则相关谱的**峰值**或**相关系数**较大
- 可以根据相关谱特点判断图像相似度，用峰值与相关谱总能量比值确定图像相似性

12.4 指纹识别传感器

12.4.4 指纹识别

基于汗孔的分布识别指纹



指纹识别分类系统的组成

- 指纹纹线上均匀分布着汗孔，**汗孔很大程度上代表指纹形态**
- 在一枚指纹上，所有汗孔可以看作是有特定分布的**点集合**
- 汗孔匹配可以看作**点集匹配过程**
- 优点：算法简单，易于实现
- 缺点：汗孔过于细微，需要很好的采集设备才能显示清楚；汗孔极易受到汗渍、灰尘等干扰而变得模糊

12.4 指纹识别传感器

12.4.5 指纹识别应用

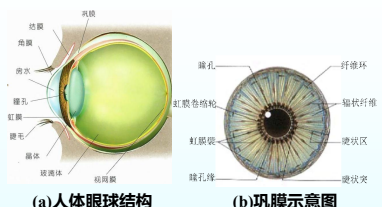
- 人类活动社会越来越多地借助网络完成，传统的密码机制面临许多问题
- 用户需要在很多网站登记注册，有众多账户和密码需要记忆，简单密码容易被攻击，复杂密码记不住，**指纹密码**是有效方式
- 指纹识别技术最早应用于**门禁产品**
博物馆、银行金库、保管箱、机房、财务室等重点安防场所；考勤、区域出入管制和家庭门禁，实验室贵重设备保护
- 指纹识别已在个人电脑和手机等电子产品开机、商业支付中广泛使用

12.5 虹膜识别传感器

12.5.1 虹膜及其特点

虹膜

- 虹膜位于人眼表面**黑色瞳孔**和**白色巩膜**之间圆环状区域。红外光下可看到丰富的纹理信息，如**斑点、条纹、细丝、隐窝**等细节特征
- 利用虹膜图像识别个人，仅用普通视频光学装置，即可提取虹膜图像。
- 计算机将图像数字化，分析虹膜特征，生成256个字节**虹膜编码**，储存在数据库中完成“注册”登记
- 应用时，被测者注视摄像机镜头，保持约3秒钟注视时间，使系统获得虹膜图像并以此算出编码，根据身份虹膜编码确定是否匹配

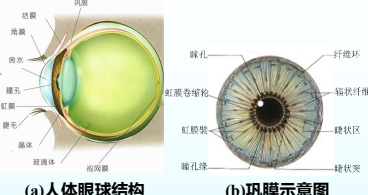


12.5 虹膜识别传感器

12.5.1 虹膜及其特点

虹膜识别技术特点

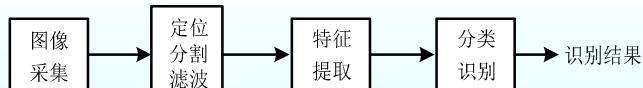
- 虹膜具有稳定的纹理图像，除非发生病变等特殊情况。虹膜纹理在人一生中不会改变，通过手术改变虹膜纹理难度和风险极高
- 虹膜纹理的个体随机性高，个体虹膜纹理被现有算法识别为一致的概率极低，虹膜识别的安全性等级较高
- 因虹膜自身结构特点，虹膜活体检测相对容易实现。活体虹膜纹理在外界光的干扰下会随瞳孔放大或缩小，出现虹膜震颤现象
- 虹膜图像通过相隔一定距离的摄像机捕获，不需侵犯人体
- 虹膜识别缺点：算法比较复杂，计算的实时性较差



12.5 虹膜识别传感器

12.5.2 虹膜识别系统组成

虹膜识别系统组成



- 完整的虹膜识别系统通过特制光学成像系统采集图像，计算机算法完成**虹膜定位、分割、滤波**等预处理，并对虹膜进行有效的**特征提取**，最后使用**分类识别器**完成基于虹膜特征的分类识别
- 在不同强度外光照射下或注视中，虹膜的内边界(瞳孔大小)会发生变化，使虹膜纹理产生变形
- 图像处理中，为实现精确匹配，通过预处理消除上述因素对虹膜图像的影响，预处理过程相对复杂

12.5 虹膜识别传感器

12.5.3 虹膜图像预处理——虹膜定位、虹膜图像归一化和虹膜图像增强

虹膜定位

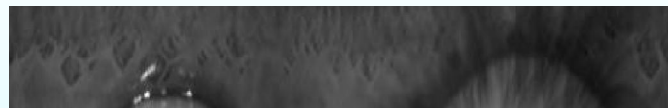


- 通过定位虹膜的内外边缘、上眼睑、下眼睑，将虹膜从原始的图像中分割
- Daugman利用眼睛不同区域灰度差较大的特点，采用圆形边缘检测器法进行虹膜的内、外边缘定位
- 在三维参数空间中搜索最大环路积分确定虹膜内外边缘的圆心坐标和半径
- Wilds的定位算法分两步：首先，通过边缘检测将图像转换成二值图像，然后利用Hough变换法进行虹膜的内外边缘定位

12.5 虹膜识别传感器

12.5.3 虹膜图像预处理——虹膜定位、虹膜图像归一化和虹膜图像增强

虹膜的归一化

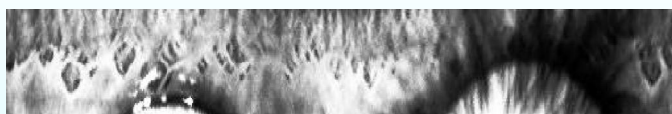


- 上下眼睑遮挡等，使定位图像呈现的形状不统一，尺寸大小有别，需要将虹膜定位后的形状转换为大小一致的矩形，消除图像获取时的旋转、尺度变化，以及消除睫毛遮盖等影响，给出规范的虹膜纹理图
- Daugman采用极坐标归一的方法处理，本质属于线性映射，也可采用分段线性映射和非线性映射方法进行虹膜归一化

12.5 虹膜识别传感器

12.5.3 虹膜图像预处理——虹膜定位、虹膜图像归一化和虹膜图像增强

虹膜图像增强



- 对归一化后的图像进行增强处理是为了克服由于光照不足或不均，造成的图像对比度过低或图像的亮度不均等现象
- 通过估计图像的背景光照，利用背景光照对图像进行光照调整，最后对图像进行均衡化
- 通过虹膜图像的预处理，目标图像被确定，目标图像的质量得到了很大提升，可进一步获取虹膜纹理特征图像

12.5 虹膜识别传感器

12.5.4 虹膜图像特征提取与识别算法

虹膜图像中包括有丰富的纹理特征。如果将预处理后的虹膜图像看作一幅纹理图像，那么许多纹理分析的方法都可以用来抽取虹膜特征，并采用与之匹配的方法完成识别。

算法一：Daugman算法

- 该算法利用Gabor滤波器的局部性和方向性对虹膜纹理进行分解，用极坐标形式的二维Gabor变换对虹膜图像进行滤波
- 根据滤波值的正负，对滤波结果的实部和虚部分别进行符号量化
- 根据不同尺度、平移、方向角信息，得到长度为256个字节的虹膜编码
- 获取虹膜特征。识别过程则采用Hamming距离进行特征匹配

12.5 虹膜识别传感器

12.5.4 虹膜图像特征提取与识别算法

算法二：Wilds算法

- 利用各向同性的高斯-拉普拉斯滤波器分解图像
- 用类似高斯状滤波器的二维小模板对虹膜图像进行滤波
- 构成4层普拉斯金字塔的方法进行特征提取
- 特征匹配过程复杂，需要计算输入和输出图像的均值和方差等统计信息
- 将两幅图像的协方差作为相关性系数
- 最后用Fisher线性判断确定两幅图像的匹配结果

12.5 虹膜识别传感器

12.5.4 虹膜图像特征提取与识别算法

算法三：Boles算法

- 把虹膜图像的小波变换过零点信息作为虹膜特征
- 首先把虹膜图像转换成一维信号
- 然后利用二进制小波变换（三次样条小波）的过零点进行特征编码
- 利用过零点的位置和相邻过零点之间的幅值进行特征匹配
- 该算法能克服系统漂移、旋转和比例放缩的局限，对亮度变化及噪声不敏感

综上所述，各种虹膜识别方法，有各自优缺点，没有一种是业界公认的通用方法，大部分都利用小波变换，采用某种特征表示法，并通过特征匹配算法完成虹膜分类识别，虹膜图像处理识别的计算效率有待提高。

测试技术与传感器

第12章 智能化和微型化传感器

12.5 虹膜识别传感器

12.5.4 虹膜图像特征提取与识别算法

测试技术与传感器

第12章 智能化和微型化传感器

12.5 虹膜识别传感器

12.5.5虹膜识别技术难点与应用前景

1.光照和对比度的变化

虹膜图像是在一定距离范围内通过非接触的方法采集，即使采用主动光源，也会引起不同时刻采集的虹膜图像之间有较大的灰度值差异。

2.睫毛和眼皮的遮挡

- 欧美国家该问题可能不很严重，其睫毛一般上翘，对虹膜区域没有太多干扰
- 东方人的睫毛一般下垂，严重则会遮挡大部分虹膜区域，不能保证这些遮挡在不同图像中的位置是固定不变

测试技术与传感器

第12章 智能化和微型化传感器

12.5 虹膜识别传感器

12.5.5虹膜识别技术难点与应用前景

3.瞳孔的弹性形变

由于光线变化或者虹膜震颤，瞳孔大小会持续变化，虹膜纹理受外界光照刺激时会产生径向形变，这种复杂形变无法精确建模，注册和识别时的虹膜图像几乎不可能处于相同的形变状态，导致分类识别误差。

4.校准误差

个体头部偏转角度不同，不同阶段采集的虹膜图像可能存在旋转差异，虽然可以用模板或者图像归一化校正，误差还是有可能引起类内差异。

测试技术与传感器

第12章 智能化和微型化传感器

12.5 虹膜识别传感器

12.5.5虹膜识别技术难点与应用前景

5.质量退化

虹膜采集过程需要用户良好配合，有时会很难避免采集的是离焦模糊或者运动模糊的虹膜图像。

6.戴眼镜影响

- 凹透镜和凸透镜眼镜，都会影响光路，引起镜面反射
- 虹膜识别面临诸多技术难点，有多达200多项待计算特征，实时性难——会随技术发展被克服
- 虹膜识别在小范围特定人群中，常规模式分类法可以达到实时性要求，已较好地应用于（如机要部门）门禁中
- 虹膜的唯一性、极强的防伪性能和活体虹膜检测相对容易等特点，是促进虹膜识别成为高安全级别场合中应用的有力推动因素

测试技术与传感器

第12章 智能化和微型化传感器

The End