



电子科技大学 光电科学与工程学院
SCHOOL OF OPTOELECTRONIC SCIENCE AND ENGINEERING OF UESTC

第九章 成像目标检测与跟踪

Chapter09 Targets detection and tracking in Imaging system

彭真明

E-mail:zmpeng@uestc.edu.cn

pengzm_ioe@163.com

电子科技大学光电信息学院

2018.12.07, 二教106/107, 沙河校区



主要内容

- ◆ 光电跟踪系统概述
- ◆ 运动目标检测方法
- ◆ 成像目标跟踪方法
- ◆ 光电跟踪技术应用及发展





一、光电跟踪系统概述

■ 光电跟踪系统





一、光电跟踪系统概述

■ 红外监控系统





一、光电跟踪系统概述

■ 什么是成像（视频）目标跟踪？

成像目标跟踪是指对光电传感器摄取到的视频（序列）图像进行处理与分析，充分利用传感器采集得到的信息来对目标进行跟踪、定位的过程。一旦目标被确定，就可获得目标的**位置、速度、加速度、姿态**等运动参数。



一、光电跟踪系统概述

技术现状(国际)

时间	事件	机构
1974	智能实时电视跟踪系统，以提高光电跟踪测量仪器的性能，并适应多目标跟踪测量的需要。	美国白沙导弹靶场、新墨西哥州立大学和亚利桑那大学科学中心
1980s	为空军研制的机载火控系统的多功能红外相干光学传感器具有多目标捕获、跟踪、分类、武器投掷和地形回避等功能。	美国福特公司和沃特公司
1985	掩护船防御系统能跟踪处理200多个目标。	美国海军
1989-90	公布了宽视场望远镜实时跟踪系统(WFOV)和多目标跟踪宽视场摄像机系统。	美国Larrence Livermore国家实验室
1991	红外图像识别跟踪系统，采用灰度、形状等多个特征，其Exoatmospheric Re-Entry Interceptor Subsystem(ERIS)拦截器可快速识别真假来袭的导弹。	美国陆军

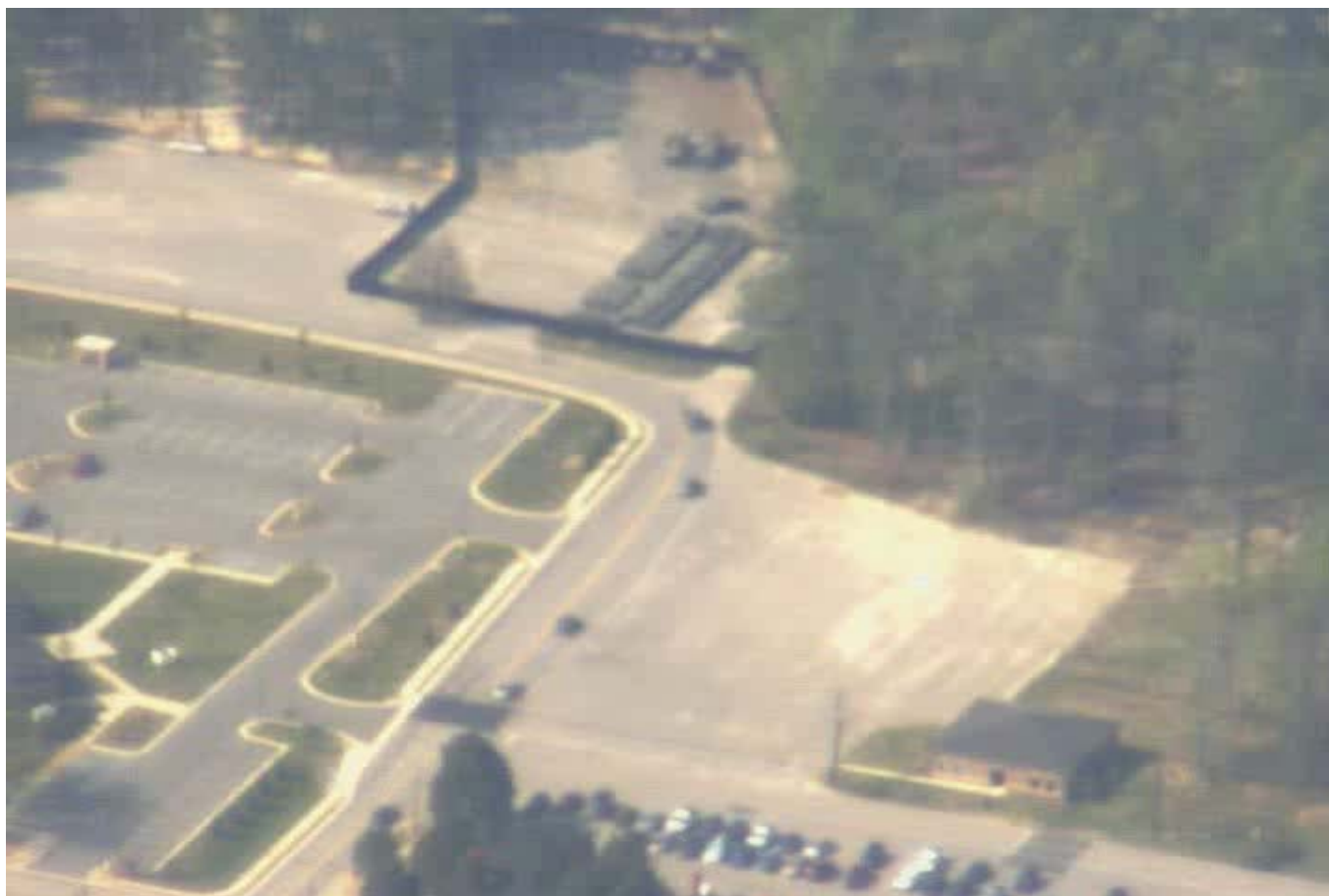


一、光电跟踪系统概述

技术现状(国际)

时间	事件	机构
1992	提出的“有识别能力的拦截弹”也是一种具有智能的对多特征进行信息融合处理的识别跟踪系统，它要求实现边识别边跟踪的功能。	美国国防部
1997	视觉监控(Visual Surveillance and Monitoring ,VSAM)重大项目，主要研究用于战场及普通民用场景监控的自动视频理解技术。	美国国防部，联合卡内基梅隆大学、麻省理工学院等
1999	设计了一套航拍视频检测与持续跟踪系统，该系统能够对多运动目标实现长时间的准确跟踪，即使发生短时间内目标被遮挡或目标时静时动的情况。	美国康奈尔大学计算机系
2005	开发出了基于MATLAB的COCOA系统，用于无人机低空航拍视频图像的目标检测与跟踪处理。	美国中佛罗里达大学计算机视觉实验室

一、光电跟踪系统概述





一、光电跟踪系统概述

✦ 技术现状(国内)

1970s, 我国的靶场光学测量设备不仅在数量和质量上均有所增加和提高, 且出现了智能实时电视跟踪系统和各种型号的激光跟踪雷达。

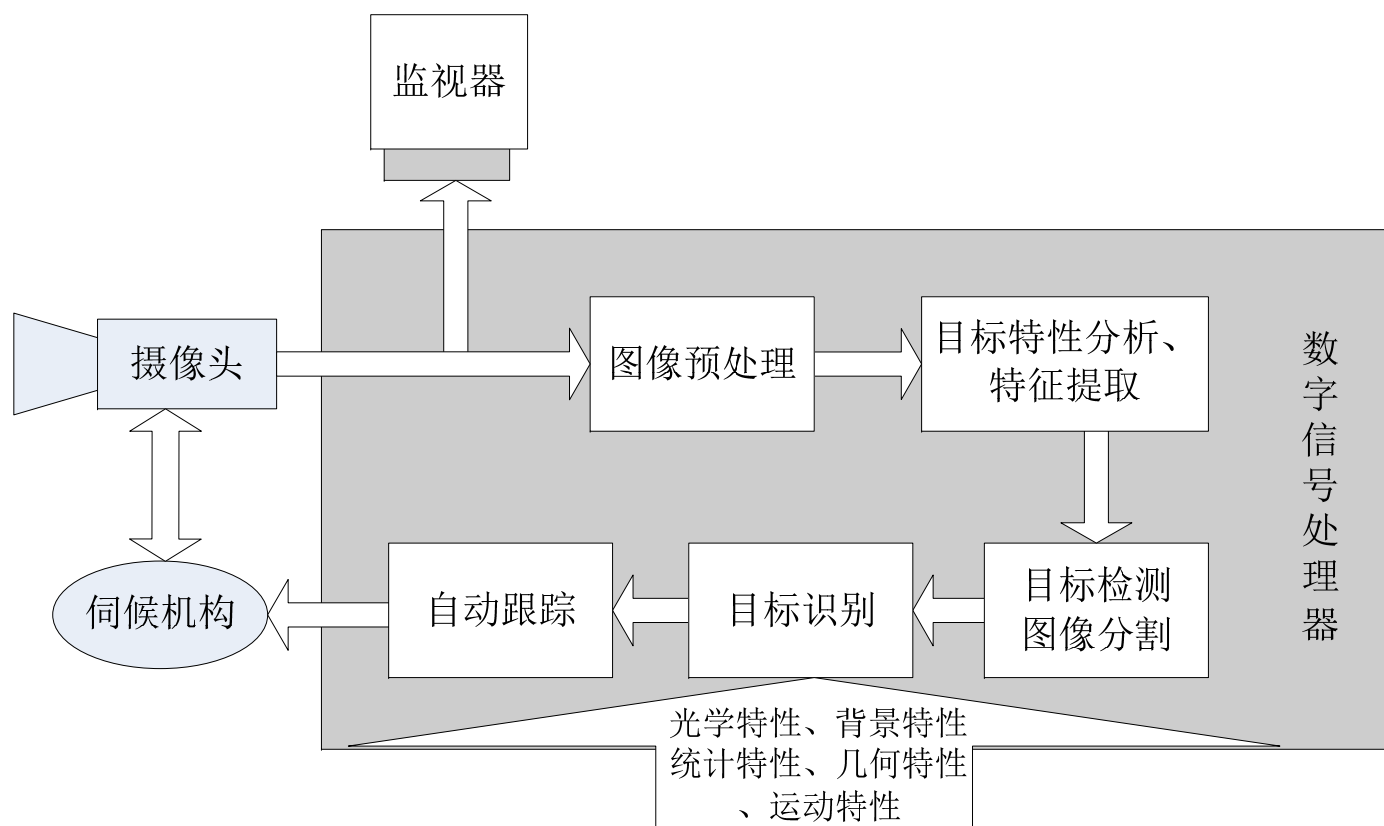
研究所: 中科院长春光机所、成都光电所、上海光机所, 安徽光机所、上海技物所、中国工程物理研究院、兵器209所、中科院自动化所, 沈阳自动化所等。

高校: 国防科大、西工大、哈工大、北理工、北航、华中科大、空军工程大、上交、西交、浙大、川大等。



一、光电跟踪系统概述

光电跟踪系统结构





智能视频监视系统

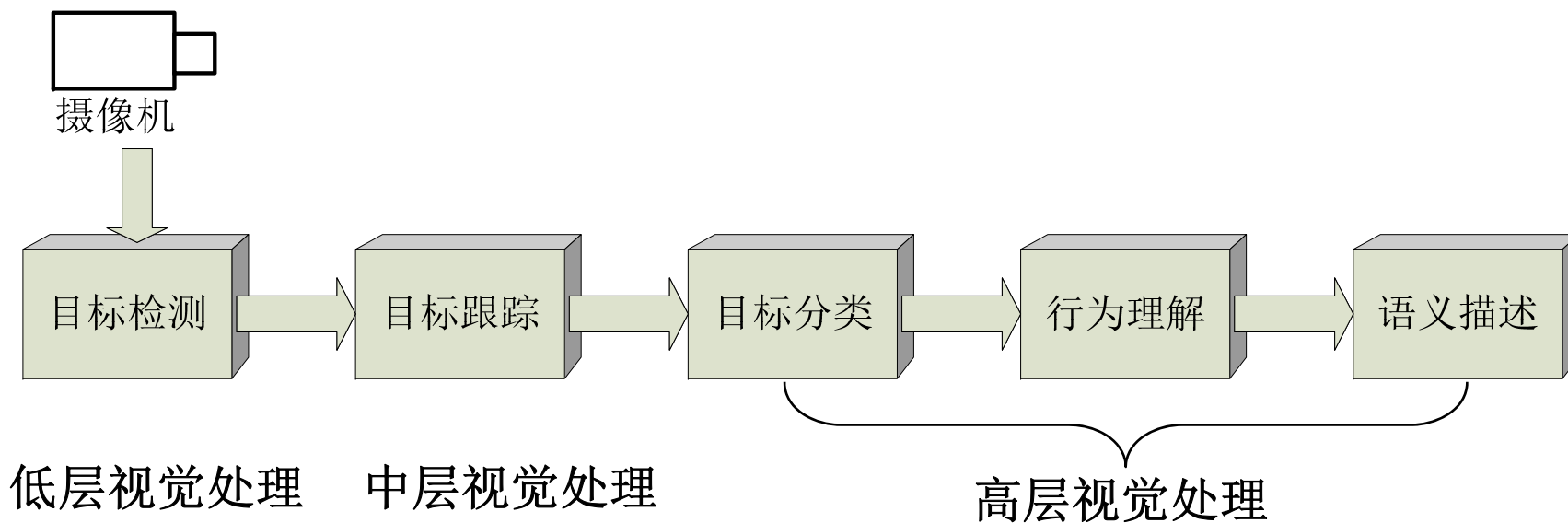
随着信息社会的高度密集化、复杂化。人们所面临的突发、异常事件越来越多，传统的人力视频监控已经达不到实时处理突发事件的目的。



视频监控技术发展的三个阶段



智能视频监视系统



目标检测和跟踪也是智能视频监控系统中的关键技术，分别处于整个系统的前期和中期处理阶段，为后期的高层视觉处理提供分析依据。

Next Sect...



主要内容

- ◆ 光电跟踪系统概述
- ◆ 运动目标检测方法
- ◆ 成像目标跟踪方法
- ◆ 光电跟踪技术应用及发展





二、运动目标检测方法

■ 静止背景下的运动目标检测

- 帧间差分法；
- 背景减除法（如背景建模）；
- 运动能量累积法（如动态规划）。

■ 动态背景下的运动目标检测

- 光流法；
- 参数估计法：块匹配、贝叶斯估计、像素递归等；
- 带全局运动补偿的算法。

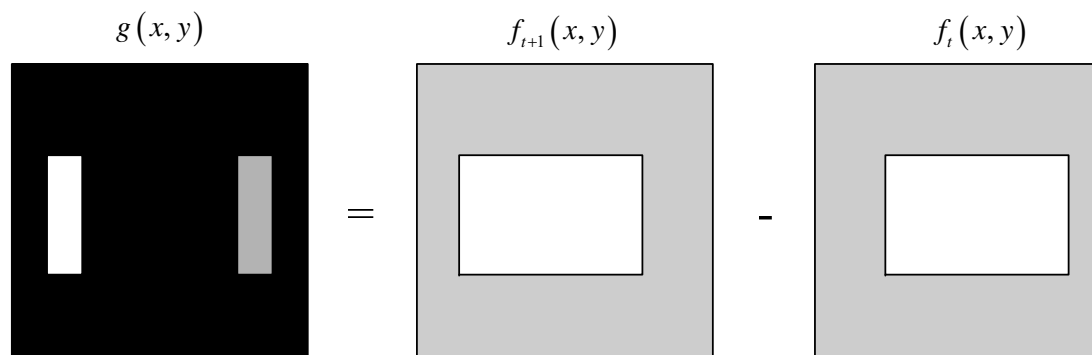


二、运动目标检测方法

1. 静止背景下的目标检测

■ 帧差分法

$$g(x, y) = f_{t+1}(x, y) - f_t(x, y)$$

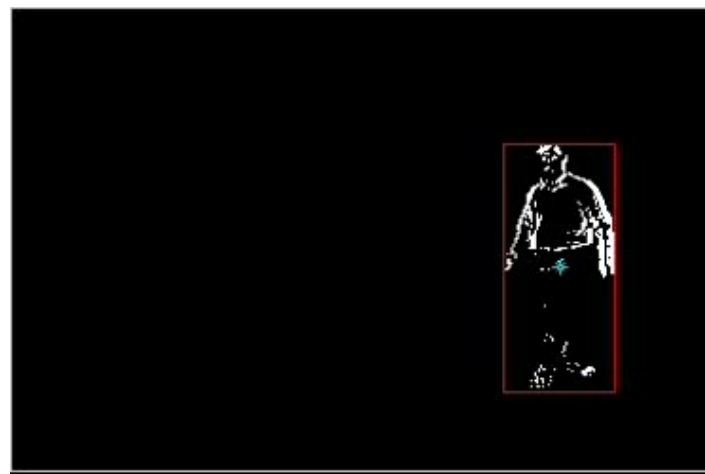


二、运动目标检测方法

■ 帧差分检测



原图



检测结果



二、运动目标检测方法

2. 运动背景下的运动检测

- 光流法 (Optic flow)
- 块匹配算法 (Block matching)

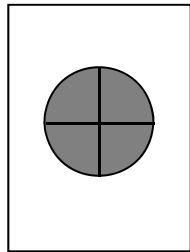




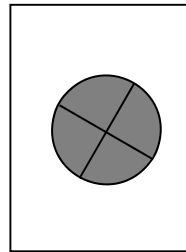
Optical Flow

■ 光流简介

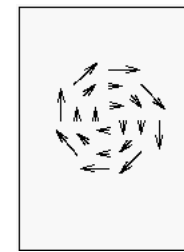
光流(Optical Flow, OF)的概念是Gibson于1950年首先提出的。光流是空间运动物体在观测成像面上的像素运动的瞬时速度；光流场是指图像灰度模式的表面运动。



(a) 未运动的圆



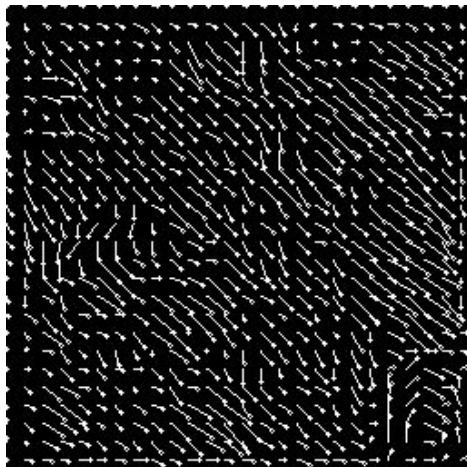
(b) 运动后的圆



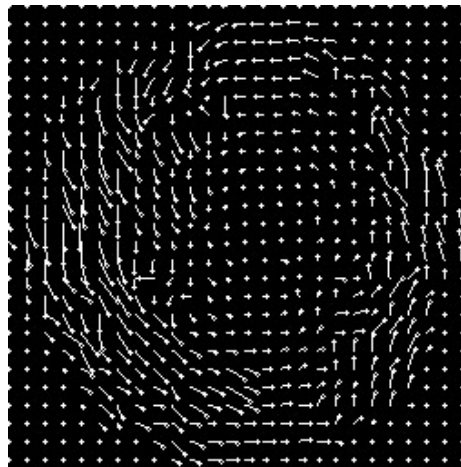
(c) 圆的运动场



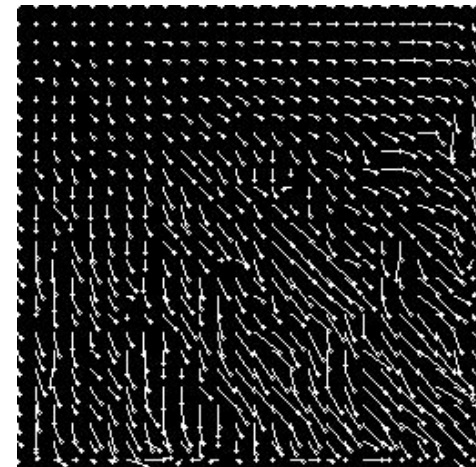
Optical Flow



Translation



Rotation



Scaling



Optical Flow

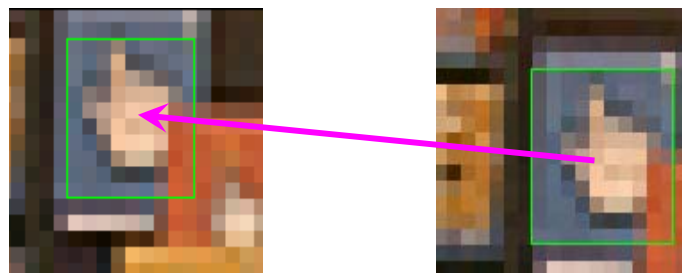
■ 光流简介

- 反映了在时间间隔 dt 内由于运动引起的图像变化，时间间隔足够小，使得这种变化很小。
- 光流的直接目的就是确定一个速度场。3D运动的2D表示称为**运动场**(或**速度场**)，即图像上的运动点将分配一个速度矢量(**运动方向**、**速度大小**)。

Optical Flow

■ 基本假设

- 亮度恒定 (Brightness Constancy), 即同一物体点在不同时刻具有相同的亮度值。



- 运动光滑约束 (Velocity smoothness constraint) , 即图像平面上的邻近像素点都以相同的方式运动。



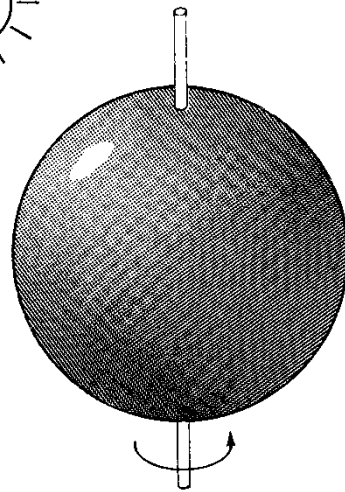
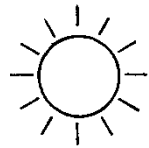
Optical Flow

■ 光流场与运动场

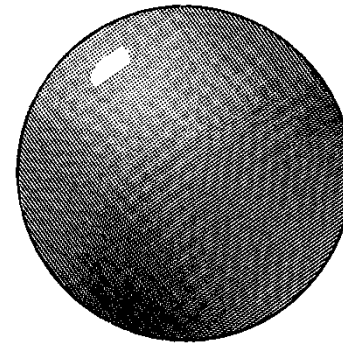
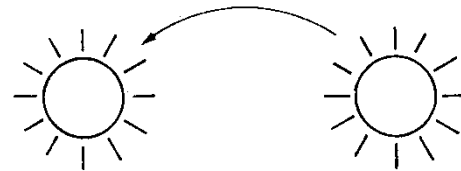
- 运动场(Motion Field)是图像平面上3D物体实际运动的投影(Projection)。
- 光流场是运动场的一个近似(Approximation)。它描述了图像亮度随时间的变化。是相对观察者而言的，因此是一种相对变化，描述的也是一种相对运动。



Optical Flow



The optical flow field is zero, but the motion field is not.



The motion field is zero, but the optical flow field is not.



Optical Flow: 1D

■ 亮度恒定假设

$$f(t) \equiv \underbrace{I(x(t), t)} = I(x(t + dt), t + dt)$$

$$\frac{\partial f(x)}{\partial t} = 0 \quad \text{由于亮度不随时间变化}$$

$$\underbrace{\frac{\partial I}{\partial x}}_{I_x} \bigg|_t \underbrace{\left(\frac{\partial x}{\partial t} \right)}_v + \underbrace{\frac{\partial I}{\partial t}}_{I_t} \bigg|_{x(t)} = 0$$

$$\Rightarrow v = -\frac{I_t}{I_x}$$



Optical Flow: From 1D to 2D

■ 1D

$$\left. \frac{\partial I}{\partial x} \right|_t \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right) + \left. \frac{\partial I}{\partial t} \right|_{x(t)} = 0$$

■ 2D

$$\left. \frac{\partial I}{\partial x} \right|_t \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right) + \left. \frac{\partial I}{\partial y} \right|_t \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right) + \left. \frac{\partial I}{\partial t} \right|_{x(t)} = 0$$

$$\left. \frac{\partial I}{\partial x} \right|_t u + \left. \frac{\partial I}{\partial y} \right|_t v + \left. \frac{\partial I}{\partial t} \right|_{x(t)} = 0$$



Optical Flow

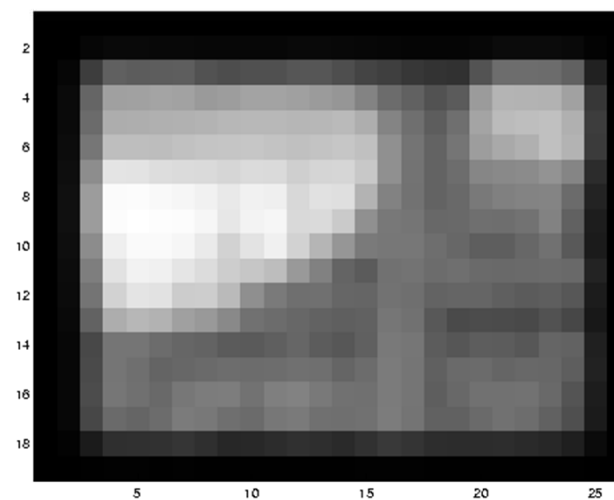
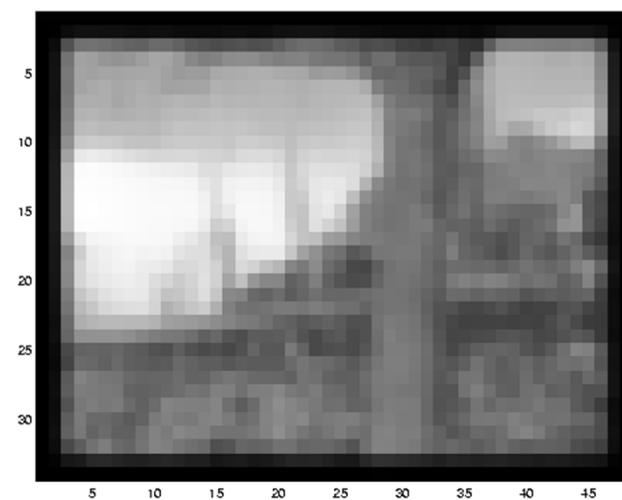
■ 光流的求解

- 卢卡斯-卡拉德算法 (Lukas-Kanade, Regularization)
- 霍恩-申克算法 (Horn-Schunck, Least squares)

[1] Lucas and Kanade, “**An iterative image registration technique with an application to stereo vision**,” *Proc. DARPA Image Understanding Workshop*, pp. 121-130, 1981.

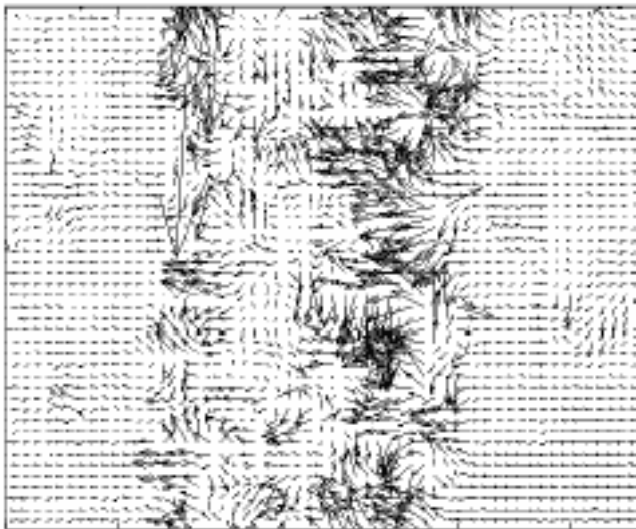
[2] Horn and Schunck, “**Determining Optical Flow**,” *Artificial Intelligence*, vol. 17, pp. 185-204, 1981.

Example: Optical Flow

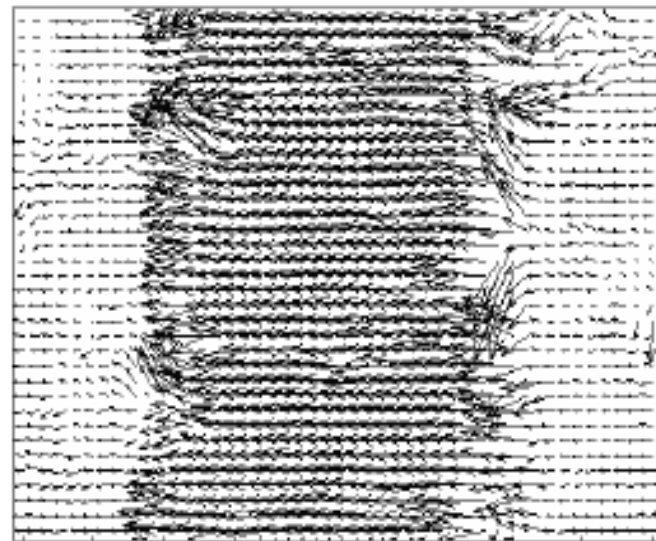




Example: Optical Flow



Horn-Schunck方法



Lucas-Kanade方法

Example: Optical Flow



(a) 人体运动



(b) 交通流



Motion and Flow

- *Motion estimation*
 - Patch-based motion (optic flow)
 - Regularization and line processes
 - Parametric (global) motion
 - Layered motion models

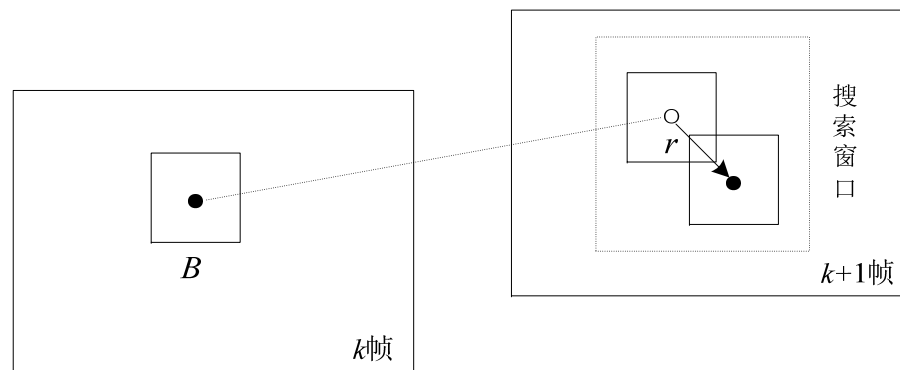




二、运动目标检测方法

■ 块匹配算法

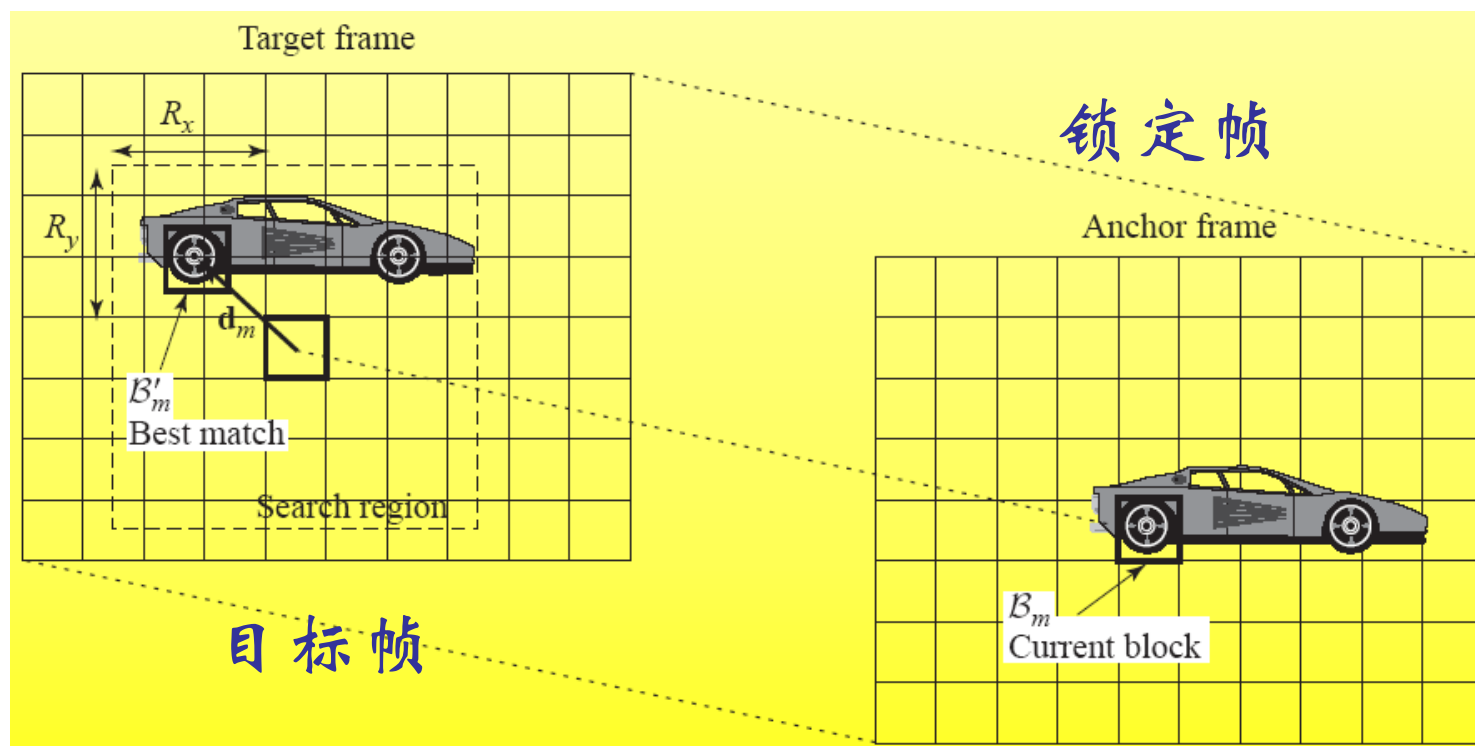
块运动估计与光流计算不同，它无需计算每一个像素的运动，而只是计算由若干像素组成的像素块的运动。如数字视频压缩国际标准MPEG1-2采用了基于块的运动分析和补偿算法。





二、运动目标检测方法

■ 块匹配算法





块匹配算法

- 关键技术
 - 匹配准则(Matching Criteria)
 - 搜索策略(Searching Strategy)
 - 匹配特征





块匹配算法

■ 匹配准则

(1) 均方差(Mean Square Error, MSE)

$$MSE(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{MN} \sum_{(x,y) \in W} [I(x, y, k) - I(x + \Delta x, y + \Delta y, k + 1)]^2$$

(2) 平均绝对差(Mean absolute discrepancy, MAD)

$$MAD(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{MN} \sum_{(x,y) \in W} |I(x, y, k) - I(x + \Delta x, y + \Delta y, k + 1)|$$



块匹配算法

■ 匹配准则

(3) 归一化互相关(Normalized Cross-correlation, NCC)

$$MCC(\Delta x, \Delta y) = \frac{\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} I(x, y, k) I(x + \Delta x, y + \Delta y, k + 1)}{\left[\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} I^2(x, y, k) \right]^{1/2} \left[\sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y I^2(x + \Delta x, y + \Delta y, k + 1) \right]^{1/2}}$$

(4) 最大像素匹配统计(Maximum Pixels counting, MPC)

$$T(x, y, \Delta x, \Delta y) = \begin{cases} 1, & \text{if } |I(x, y, k) - I(x + \Delta x, y + \Delta y, k + 1)| \leq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$



块匹配算法

■ 搜索策略

- 全视场搜索(FS)
- 对数搜索法
- 三步法搜索
- 菱形搜索法(Diamond Search , DS)
- 其他改进的搜索策略

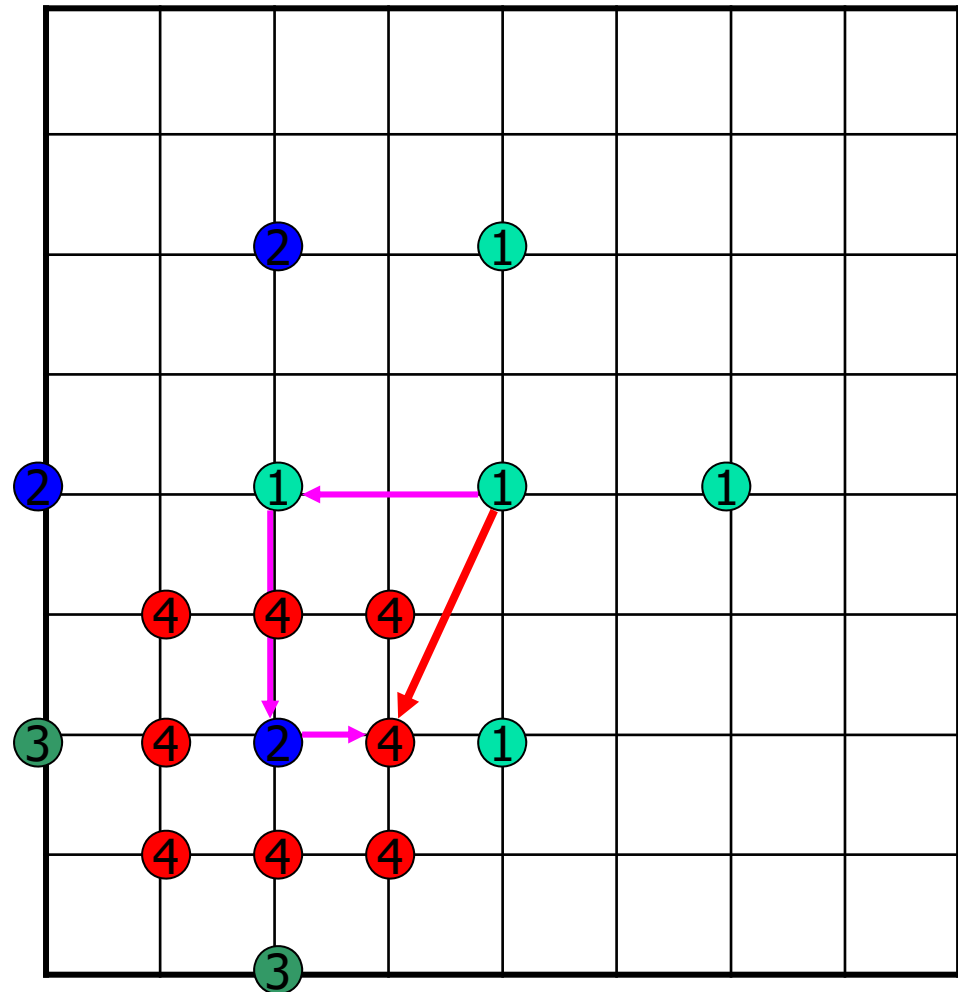




搜索策略

■ 2D 对数法搜索

- Jain and Jain
- Examine central point & its four surroundings
- Distance from center: $r/2$
- Find best match
- If best match is in center or on boundaries, half distance from center
- Examine five new points centering previous best
- When distance is 1, use all 9 matches, find best. Stop

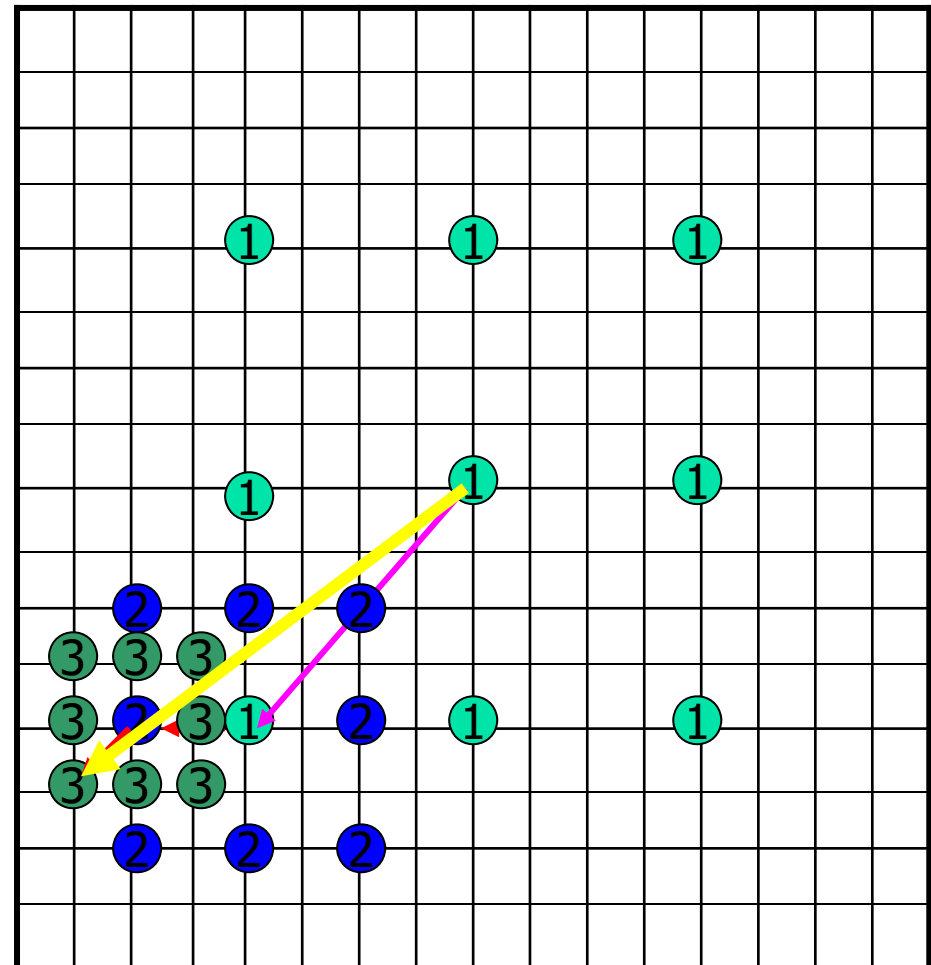




搜索策略

■ Three-Step Search (3SS)

- Koga et al
- 9 Points: Central point & its 8 surroundings
- Distance: $r/2$
- Find the best match
- Use previous best as center
- Half distance, select 8 new
- Repeat algorithm 3 times
- Examines 25 points
- Assumes a uniform distribution of MV's





块匹配算法

■ 匹配特征

- 图像灰度/颜色等信息
- 图像特征，如
 - 角点、边缘、轮廓、区域等;
 - 几何、纹理等;
 - 方差、均值、信息熵等;
 - 变换（谱）域特征等。

Next Sect...



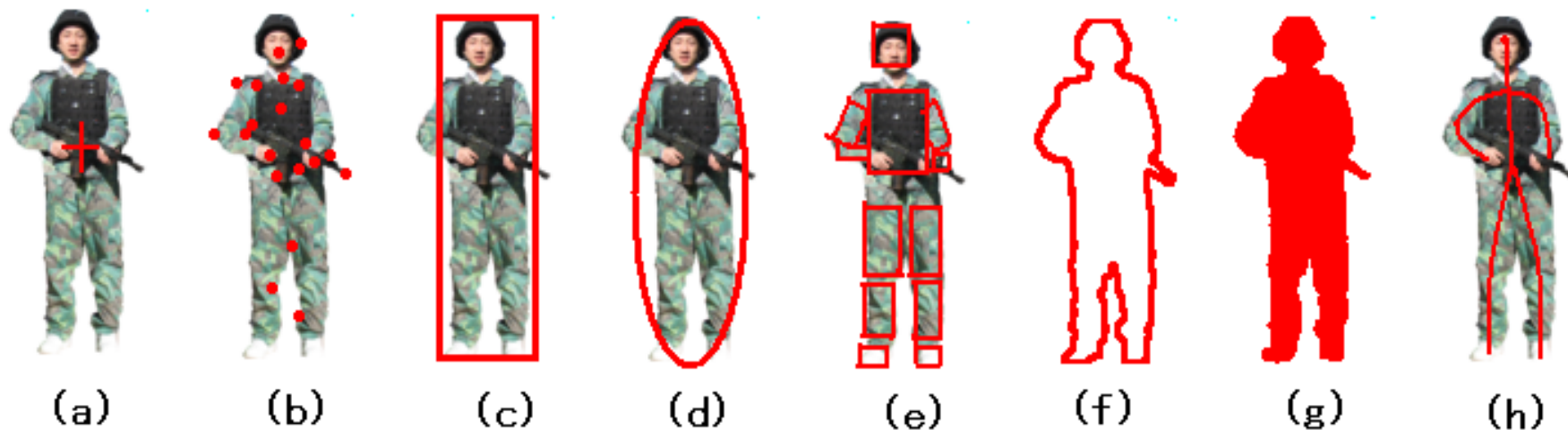
主要内容

- ◆ 光电跟踪系统概述
- ◆ 运动目标检测方法
- ◆ 成像目标跟踪方法
- ◆ 光电跟踪技术应用及发展



三、成像目标跟踪方法

■ 目标跟踪的表示



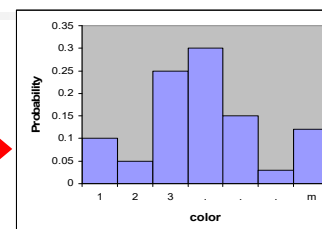
(a) 质心表示, (b) 特征点集表示, (c) 矩形框表示, (d) 椭圆框表示, (e) 关节模型表示, (f) 轮廓表示, (g) 侧影表示, (h) 骨架模型表示



常见目标表示

■ 颜色直方图

忽略了目标的空间结构信息。



■ Snake轮廓模型

仅考虑目标的边界，在目标与背景容易混淆的情况下，目标模型通常容易退化。



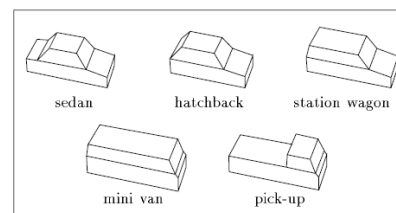
■ 局部特征模型

一组局部特征来表示，缺乏目标的全局结构信息，稳定性较弱，易受噪声、目标姿态以及光照条件的影响。



■ 2D/3D空间模型

模型参数估计的运算量很大，并且难以保证模型的精度。





三、成像目标跟踪方法

■ 常见的目标跟踪方法

- 波门跟踪；
- 边缘跟踪、峰值（对比度）跟踪等；
- 质心跟踪；
- 相关跟踪（模板匹配）；
- 多目标跟踪及编号维持；
- 轨迹预测和记忆跟踪算法（Kalman、粒子滤波等）；
- 基于模式识别及特征分类的目标跟踪
—— 在线、离线学习的跟踪方法。



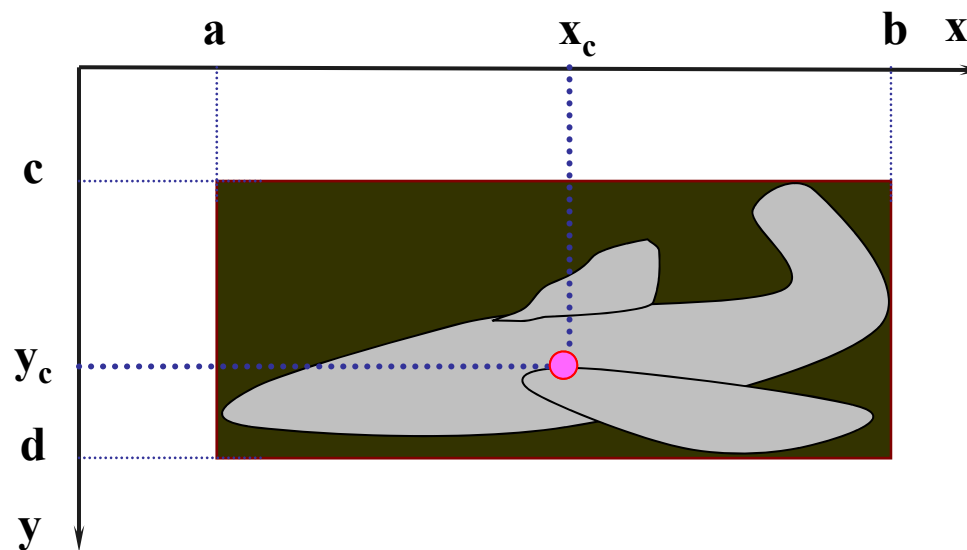
常见的目标跟踪方法

1. 质心跟踪

形心

$$\begin{cases} x_c = \frac{1}{A} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} x |_{x=1} \\ y_c = \frac{1}{A} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} y |_{y=1} \end{cases}$$

二值图像



$$\bar{x} = \frac{\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} xf(x, y)}{\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} f(x, y)}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} yf(x, y)}{\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} f(x, y)}$$



常见的目标跟踪方法

2. 相关跟踪

由于目标运动、姿态发生改变、光照条件改变以及杂波背景的干扰，使得目标图像的分割提取十分困难，计算目标的矩心或形心不准确。在某种情况下，可以采用以图像匹配为基础的跟踪方法，习惯上称之为相关跟踪。

Template



Search image



常见的目标跟踪方法

状态空间模型:

系统方程:

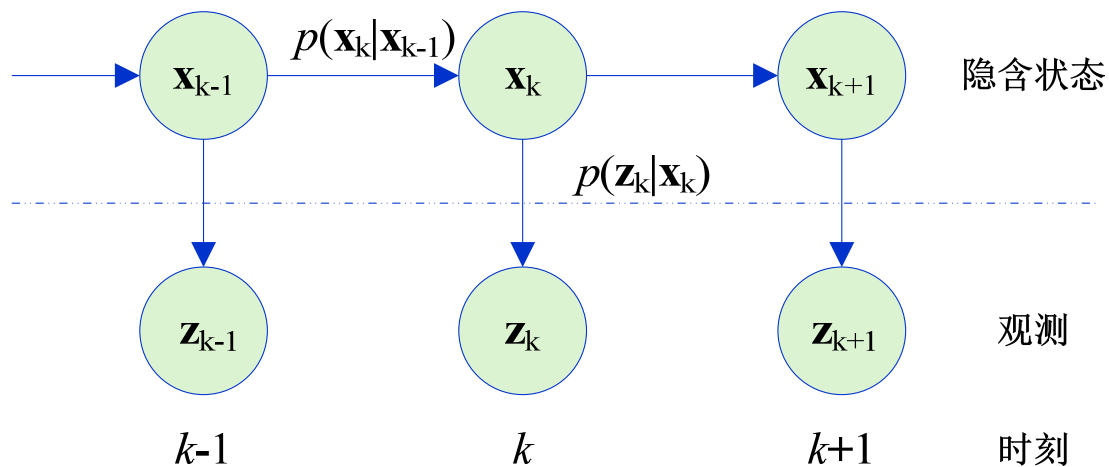
观测方程:

状态向量 状态转移函数 过程噪声

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{f}_{k-1}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{v}_{k-1})$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k, \mathbf{w}_k)$$

观测向量 观测函数 观测函数



滤波

平滑

预测

粒子滤波跟踪

■ 问题提出

线性/高斯系统



卡尔曼滤波 (KF)

非线性/高斯系统



扩展卡尔曼滤波 (EKF)

无极卡尔曼滤波 (UKF)

非线性/非高斯系统



粒子滤波 (PF)

Gordon N J, Salmond D J, Smith A F M. Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation[C]//Radar and Signal Processing, IEE Proceedings F. IET, 1993, 140(2): 107-113.



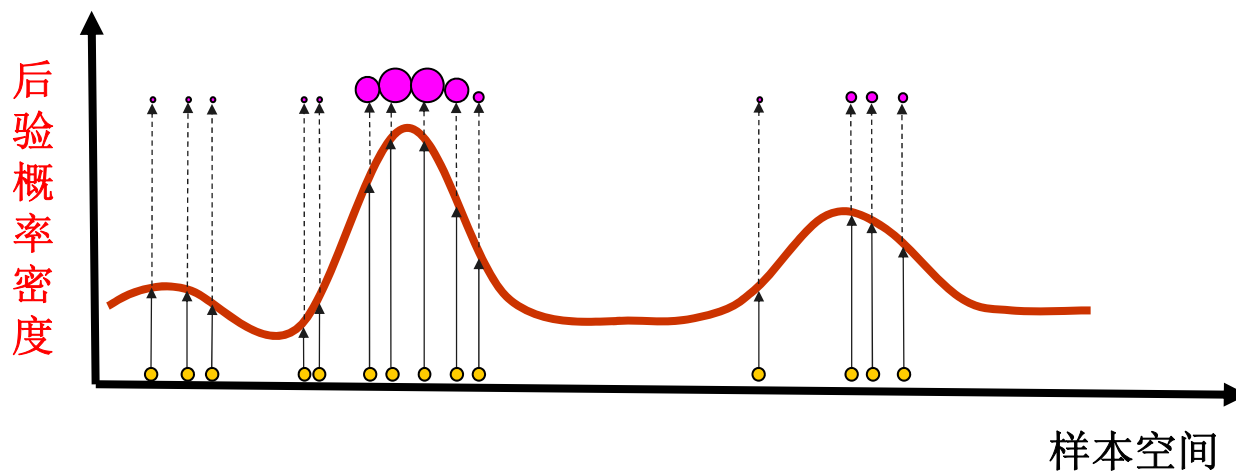
粒子滤波跟踪

■ 基本概念

粒子滤波：一种基于递推贝叶斯估计的蒙特卡罗统计仿真方法。

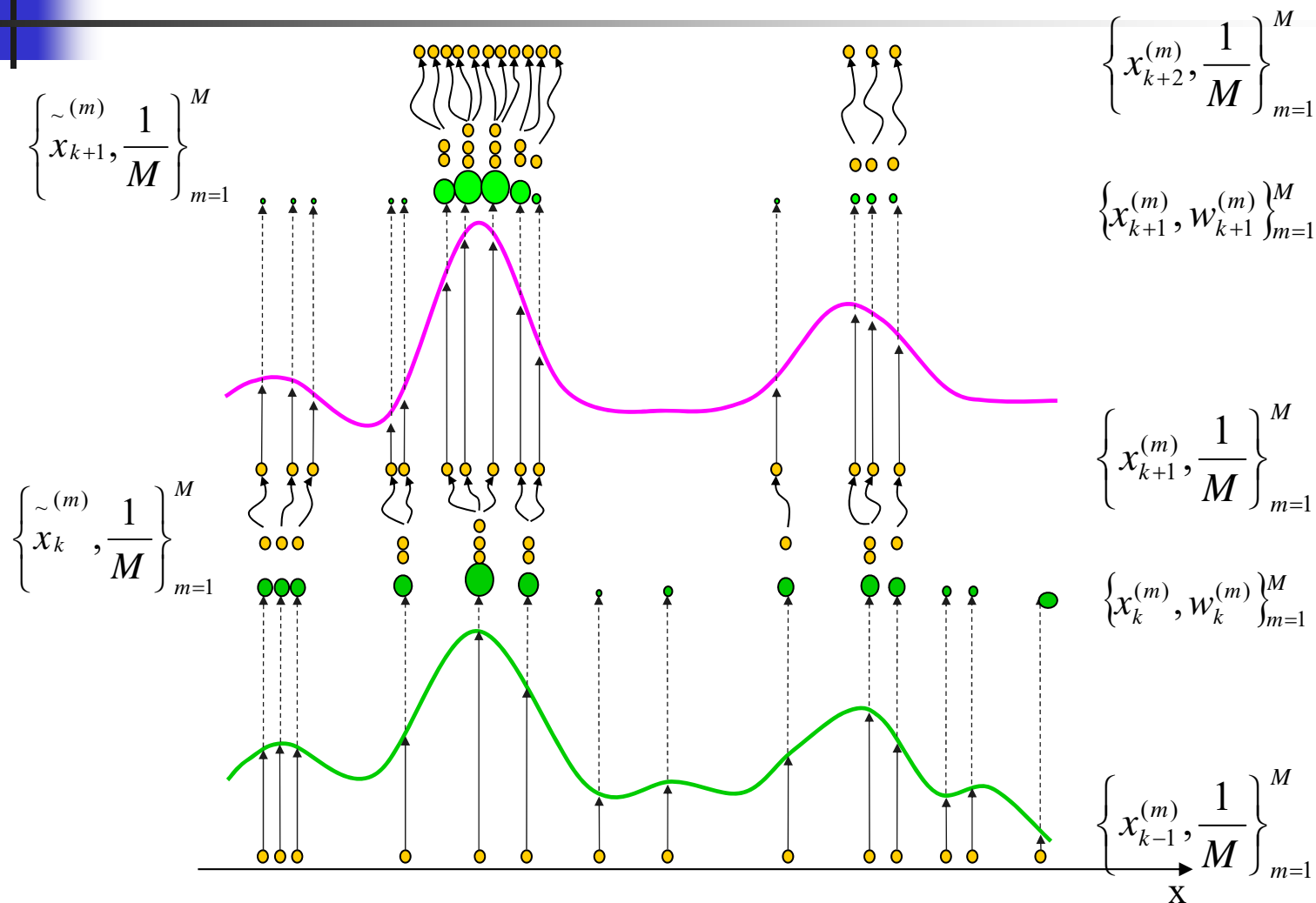
■ 基本思想

利用一组加权随机粒子来近似表示状态的后验概率密度。



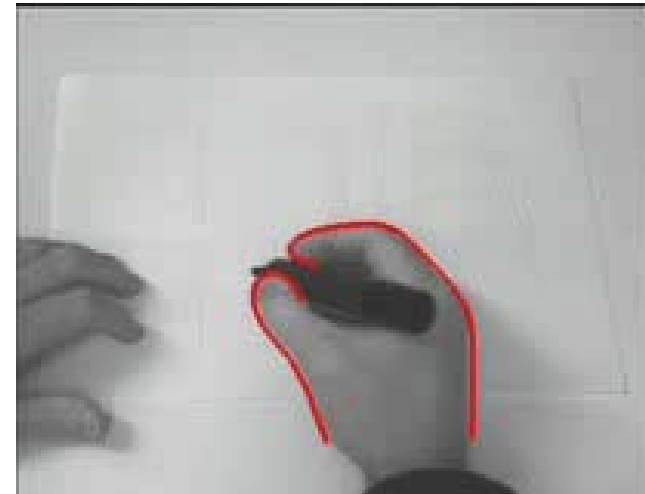


Resampling





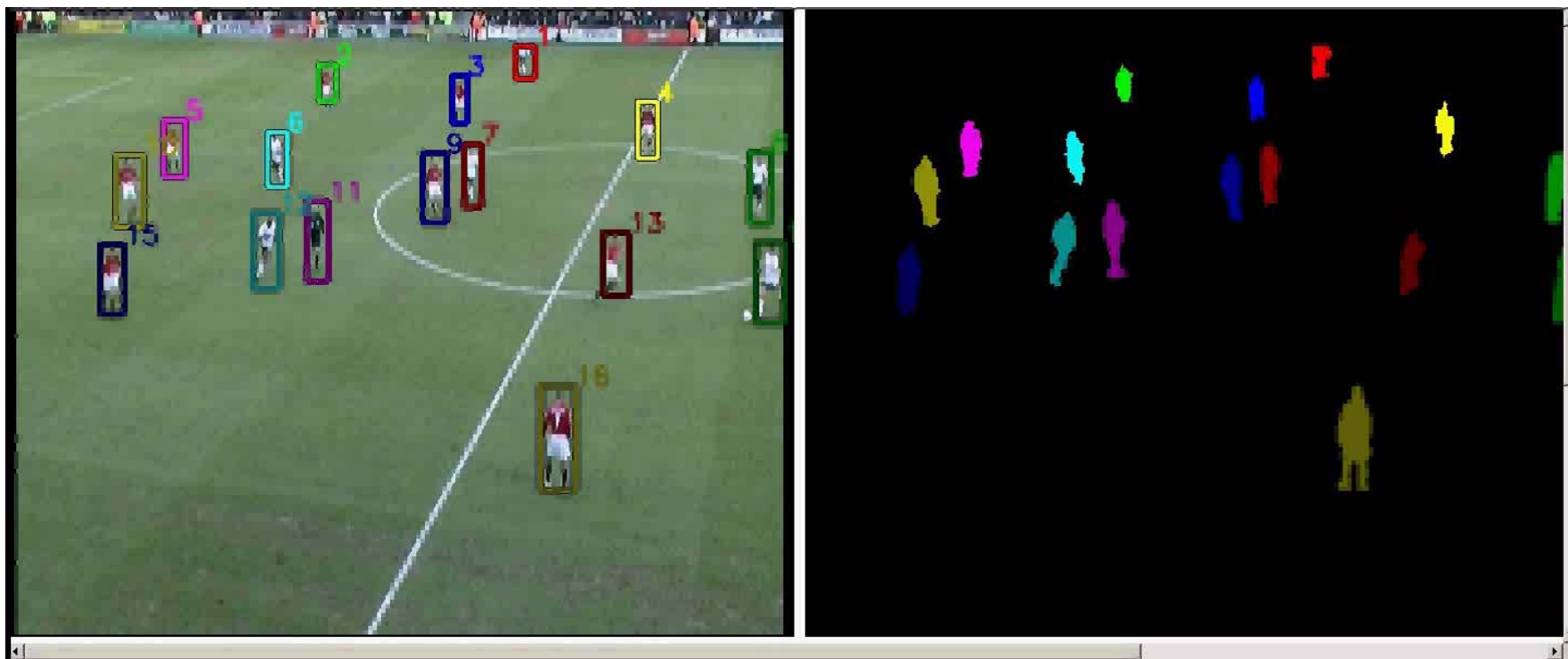
Tracking Case





常见的目标跟踪方法

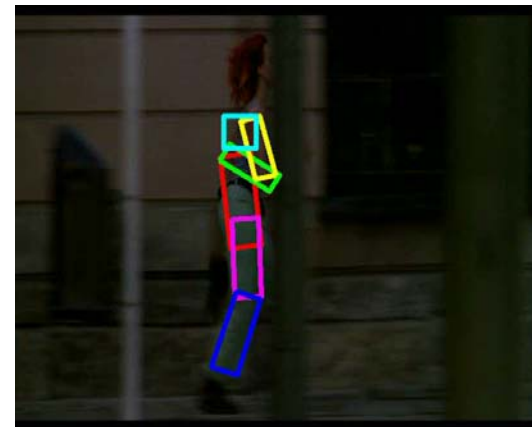
■ 多目标跟踪



多假设跟踪（Multi-hypothesis tracking，MHT）



基于目标外观模型的跟踪



D. Ramanan, D.A. Forsyth, A. Zisserman: *Tracking People by Learning their Appearance*. IEEE-TPAMI, 29(1): 65-81, 2007
(<http://www.ics.uci.edu/~dramanan/papers/pose/index.html>)

常见的目标跟踪方法

- TLD: Tracking-Learning-Detection



英国萨里大学捷克籍博士生Zdenek Kalal开发。

Next Sect...



主要内容

- ◆ 光电跟踪系统概述
- ◆ 运动目标检测方法
- ◆ 成像目标跟踪方法
- ◆ 光电跟踪技术应用及发展





四、光电跟踪技术应用及发展

■ 技术应用

军事领域

- 精确制导
- 战场机器人自主导航
- 无人机着降，
- 靶场光电跟踪等领域。

民用领域

主要应用在空间探测、智能视频监控、智能交通管制、无人驾驶、视频压缩、医学影像诊断等方面。



四、光电跟踪技术应用及发展

1. 精确制导、目标跟踪

“道尔”野战地空导弹武器系统，是世界上最先采用垂直发射方式的近程防空系统，同时也是一种全天候、全自动、三位一体(目标搜索、跟踪和导弹发射装置同时装在一辆车上)的新一代高性能防空导弹发射车。它具有警戒、指挥与控制、导弹制导与发射等众多功能，既可以独立作战，也可以和发射连的其它发射车协同作战。它可在低空、超低空和近程区域内拦截多种非隐身与隐身空袭目。



四、光电跟踪技术应用及发展

■ 红外搜索跟踪（IRST）系统

“海盗”系统可以为空中拦截和空地作战提供战术优势。安装在机舱左侧、风挡玻璃的前方。

在空对空模式下运行的时候，具备搜索和跟踪系统功能，提供无源目标探测和跟踪能力；在空对地模式下，可以执行多目标获取和识别任务，同时还能提供辅助导航和着陆功能。





四、光电跟踪技术应用及发展

2. 直升机、无人机着降光电引导技术

- 舰载直升机在反潜、救生、登陆、布雷与扫雷、火力校正、预警、侦察中广泛应用。
- 由于中型舰船甲板较小，因风浪使甲板处于不规则的运动，直升机着舰的事故高。

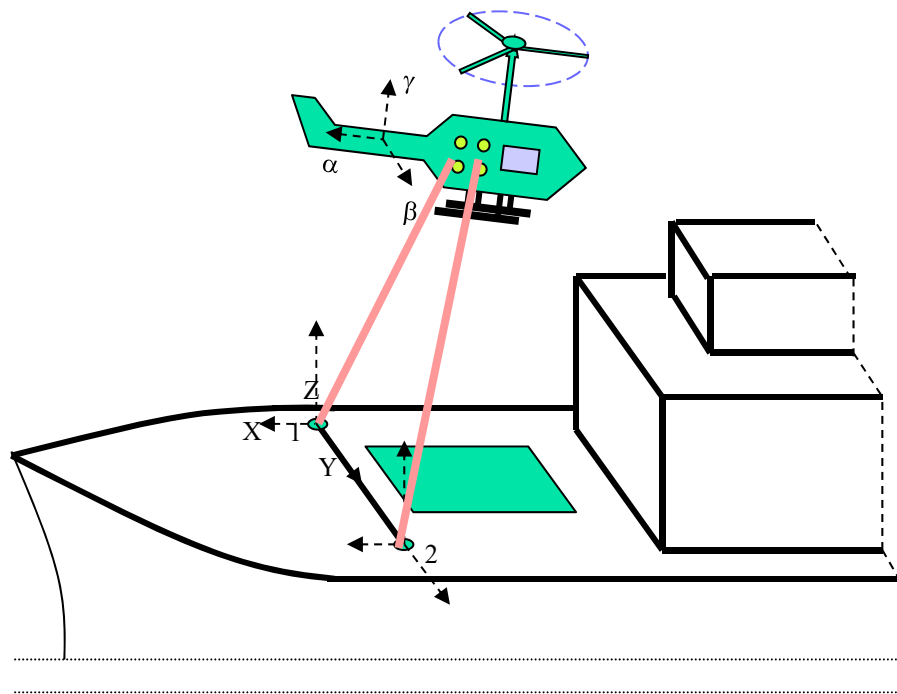




四、光电跟踪技术应用及发展

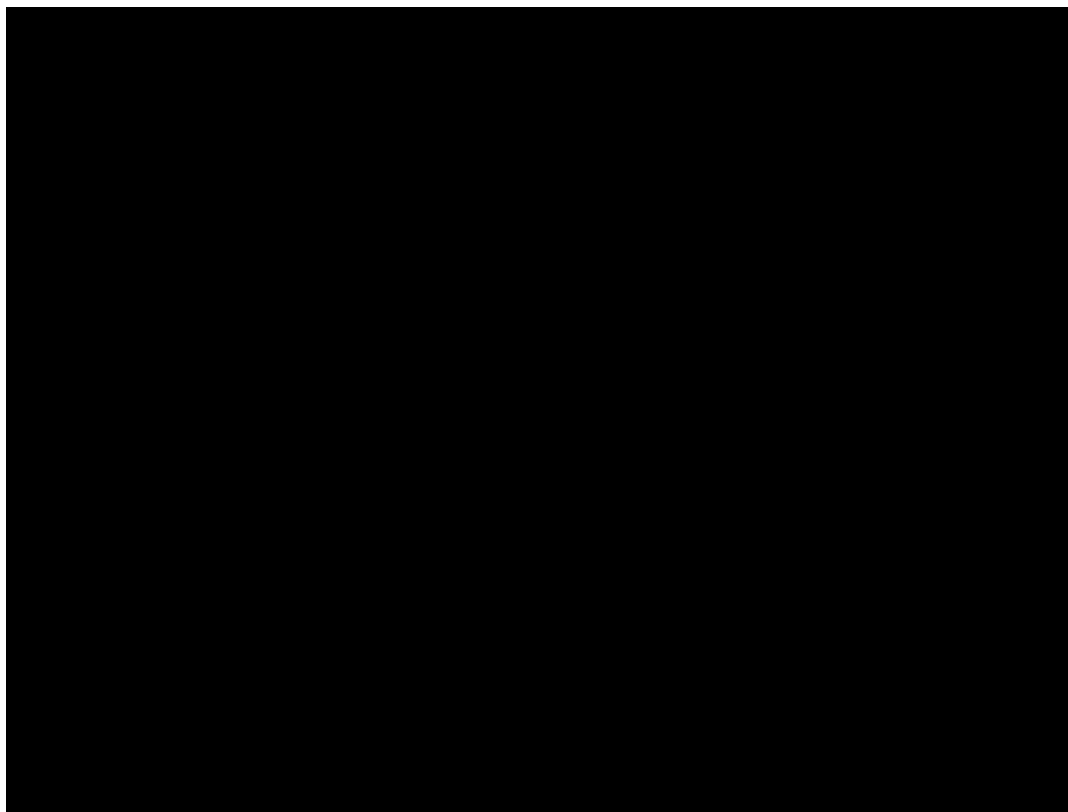
■ ASIST (aircraft ship integrated secure and traverse)

硬件系统为 CCD 输出的
视频信号经过硬件滤波，
由 DSP 进行信标识别，建
立跟踪窗，根据识别出来
的信标在 CCD 位置坐标进
行摄影测量算法，算出飞
机与着陆区的相对位姿关
系。





四、光电跟踪技术应用及发展

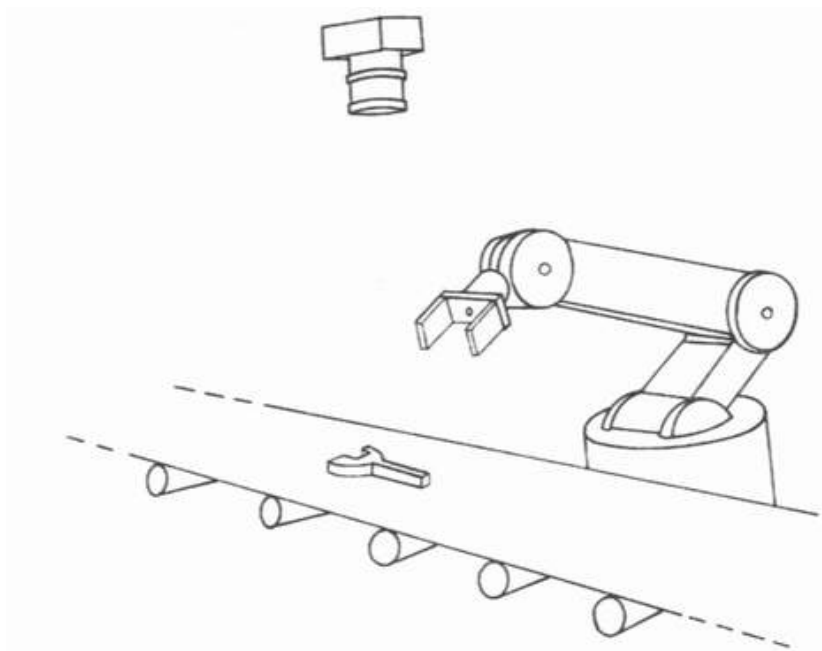


无人直升机光电助降



五、光电跟踪技术应用

3. 工业机器人



具备视觉系统的工业机器人

四、光电跟踪技术应用及发展

4. 智能视频监控系统



智能交通监控



安防



电子科技大学 光电科学与工程学院
SCHOOL OF OPTOELECTRONIC SCIENCE AND ENGINEERING OF UESTC

四、光电跟踪技术应用及发展

目标跟踪系统仿真软件
视频结果演示



GISPALab研制的跟踪系统



四、光电跟踪技术应用及发展

■ 目前主流的跟踪方法

- 👉 基于核的跟踪(Mean shift)
- 👉 基于MCMC的跟踪(Kalman, Particle filters)
- 👉 基于外观模型的跟踪(Appearance models)
- 👉 基于学习机制的跟踪(on-line boosting)

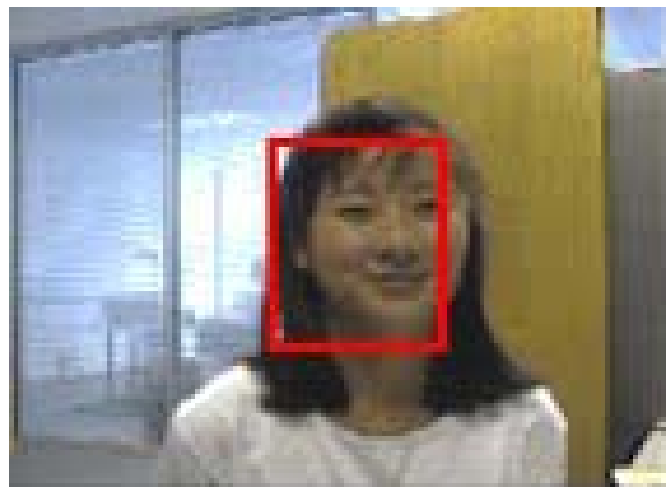
...



四、光电跟踪技术应用及发展

■ 光电跟踪技术发展趋势

- 👉 特征融合：时-空-谱联合
- 👉 目标表示：压缩感知
- 👉 跟踪框架：学习机制
- 👉 跟踪模式：多模智能跟踪
- 👉 光照变化、遮挡处理等



will be over...





主要内容

- ◆ 光电跟踪系统概述
- ◆ 运动目标检测方法
- ◆ 成像目标跟踪方法
- ◆ 光电跟踪技术应用及发展





电子科技大学 光电科学与工程学院
SCHOOL OF OPTOELECTRONIC SCIENCE AND ENGINEERING OF UESTC

The End...

Thank you!



*Optoelectronic Image Processing
Curriculum Group
2018.12.07*

