

# 计算机视觉——目标跟踪

2022年春季

高常鑫

cgao@hust.edu.cn



# 目标跟踪任务

---

Image 1

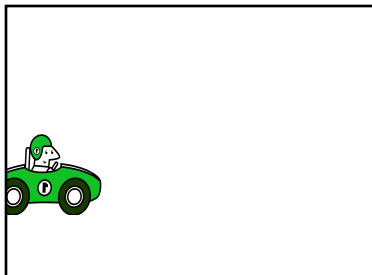


Image 2

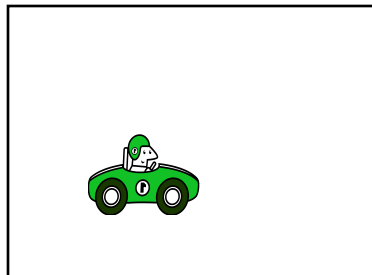


Image 3

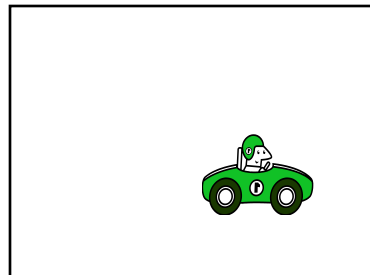
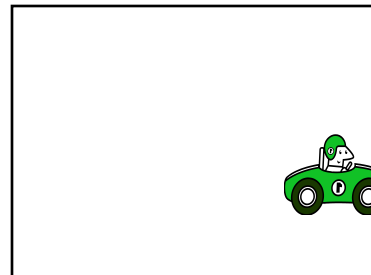


Image 4



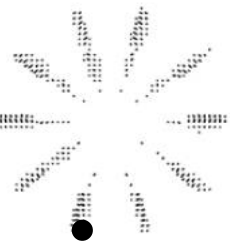
- 可以确定目标的位置吗？
- 可以确定目标的速度吗？
- 可以预测目标的位置吗？



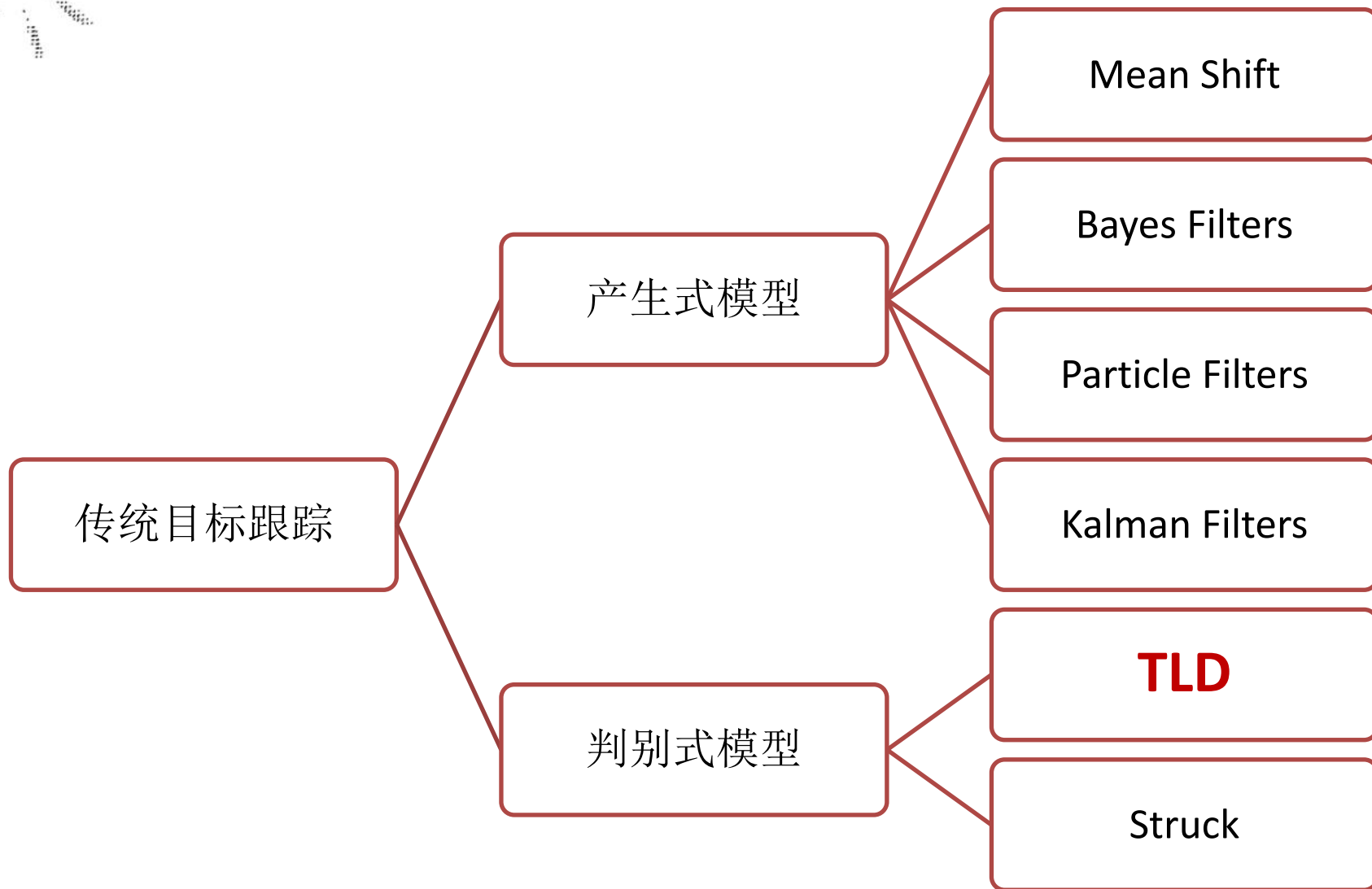
# 目标跟踪问题

---

- 给定图像序列
- 找到运动目标的位置
- 摄像头可以是禁止或者运动
- 假定：每一幅图像中都能找到目标
- 问题：在序列图像上进行跟踪
- 目标跟踪是计算机视觉的基本问题之一



# 目标跟踪方法





# 基于检测的目标跟踪方法

- 检测 VS 跟踪



t=1



t=2

...



t=20



t=21

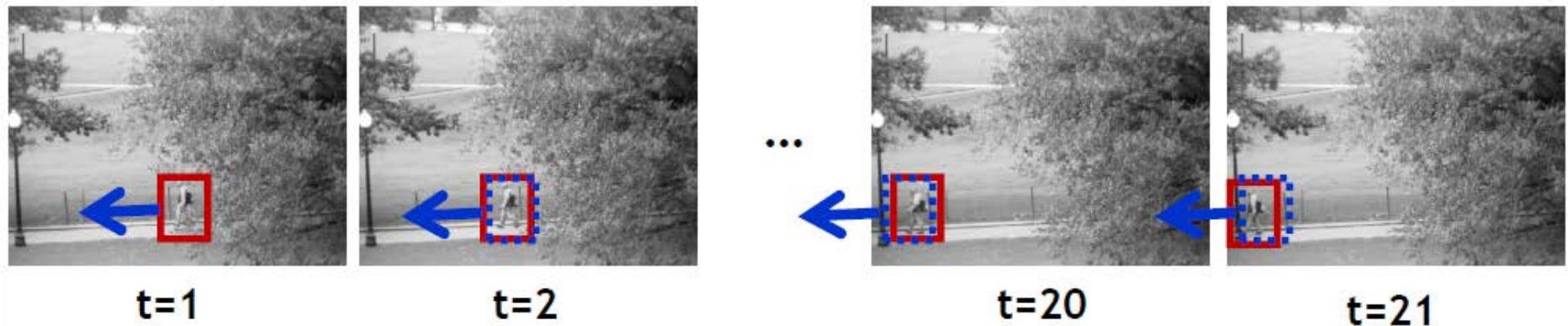
# Detection vs. Tracking



- **Detection**

- We detect the object independently in each frame and can record its position over time, e.g., based on blob's centroid or detection window coordinates.

# Detection vs. Tracking



- Tracking with *dynamics*:

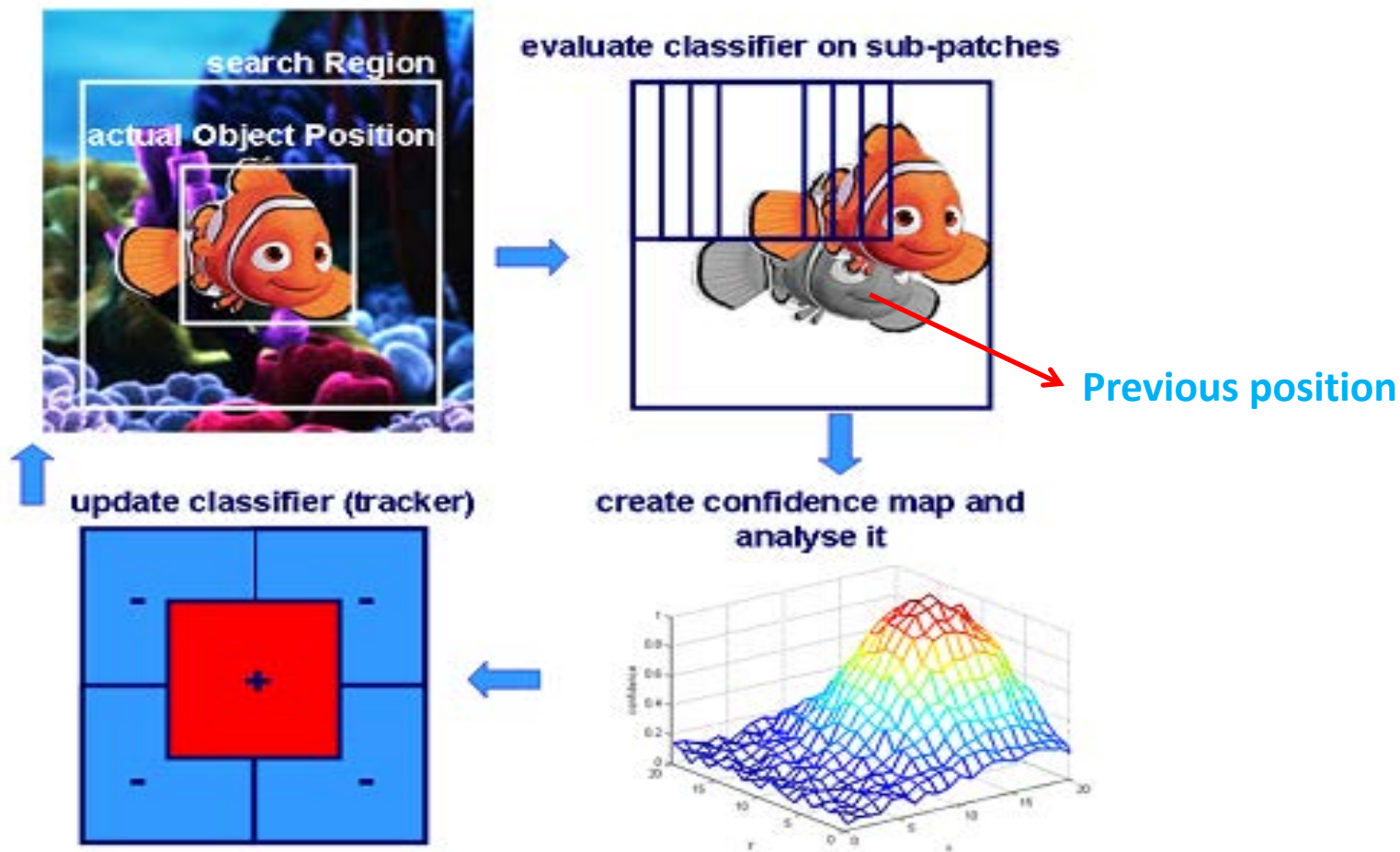
- We use image measurements to estimate the object position, but also incorporate the position predicted by dynamics, i.e., our expectation of the object's motion pattern.





# 基于检测/分类的目标跟踪框架

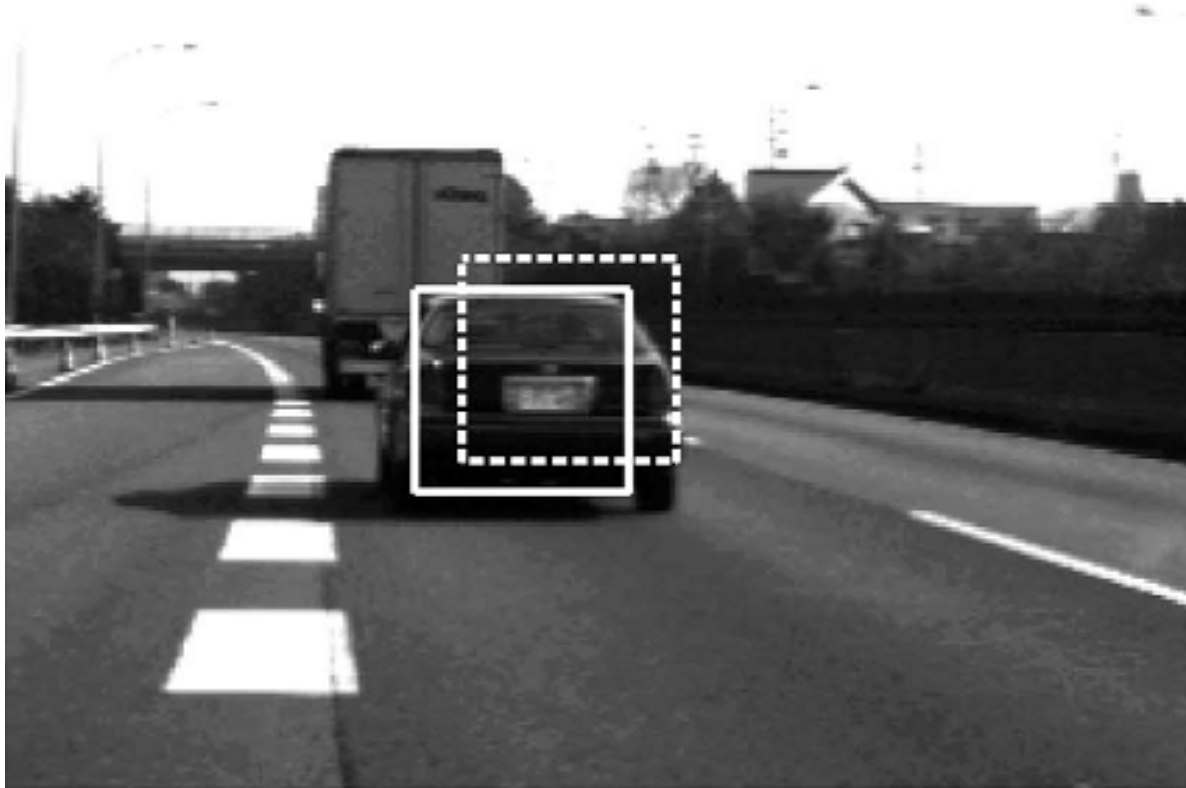
Different  
sampling  
methods







# Support Vector Tracking



1: Avidan S., [Support Vector Tracking](#). IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004.



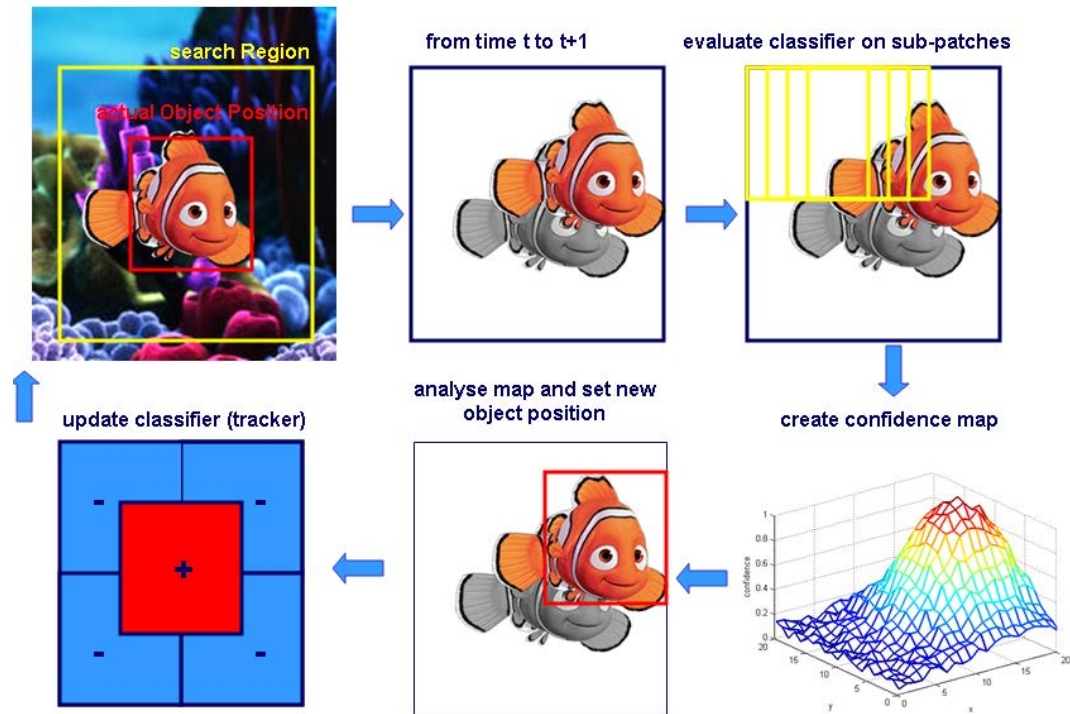
# Support Vector Tracking

- 主要跟踪汽车的尾部
- 方法：
  - 求取边缘图像（主要基于这种特殊应用，汽车尾部图像水平垂直边缘比较强）获取候选image patches
  - 用离线训练的SVM分类器来进一步验证该候选image patch是否是真正的目标
- 特点
  - 必须有关于目标的先验知识，适应性不强

# On-line boosting

Grabner, H., Bischof, H.: **On-line boosting and vision**. In: Proc. CVPR.  
Volume 1. (2006) 260-267

Grabner, H., Grabner, M., Bischof, H. **Real-Time Tracking via On-line Boosting**.  
BMCV, 2006



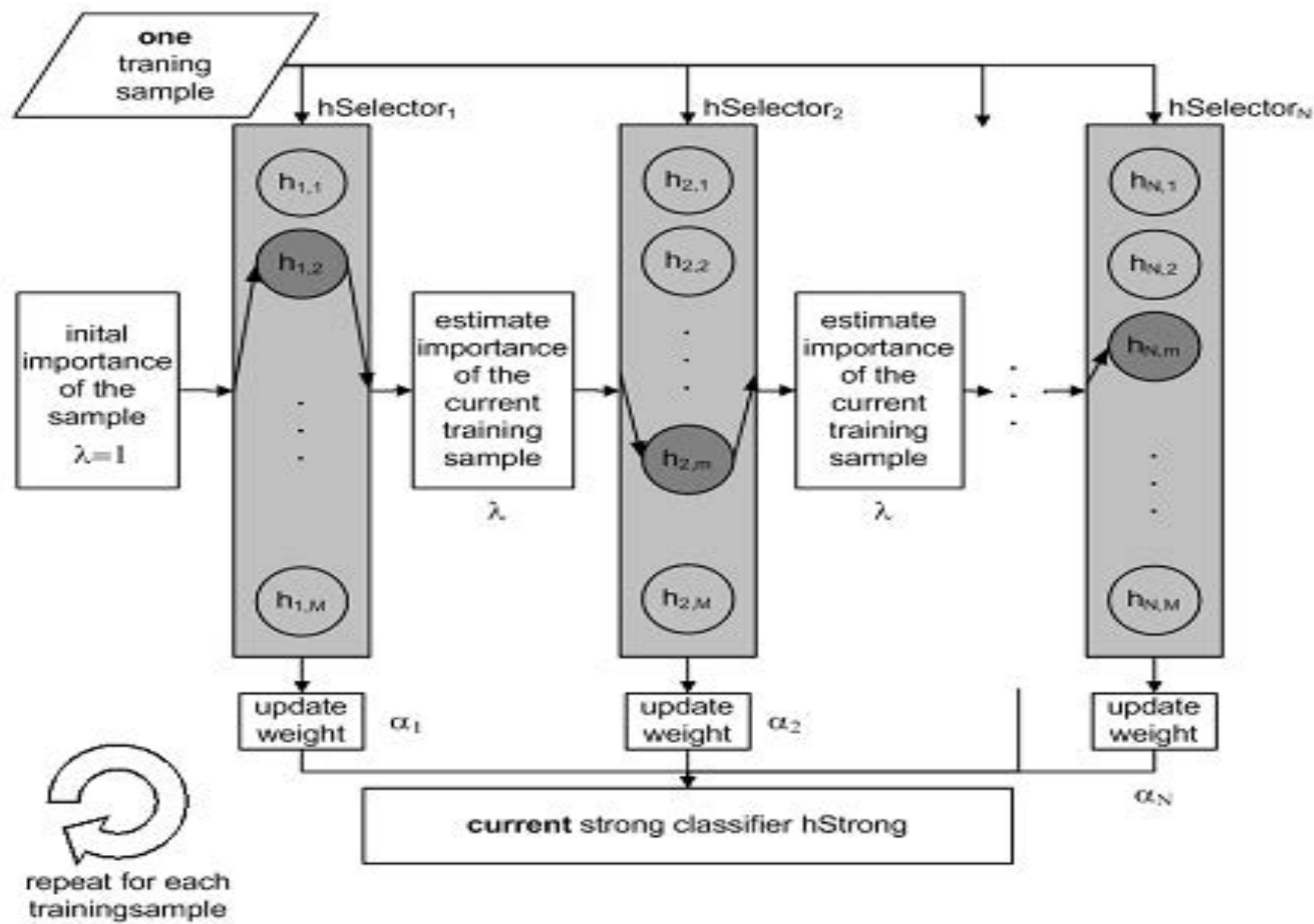
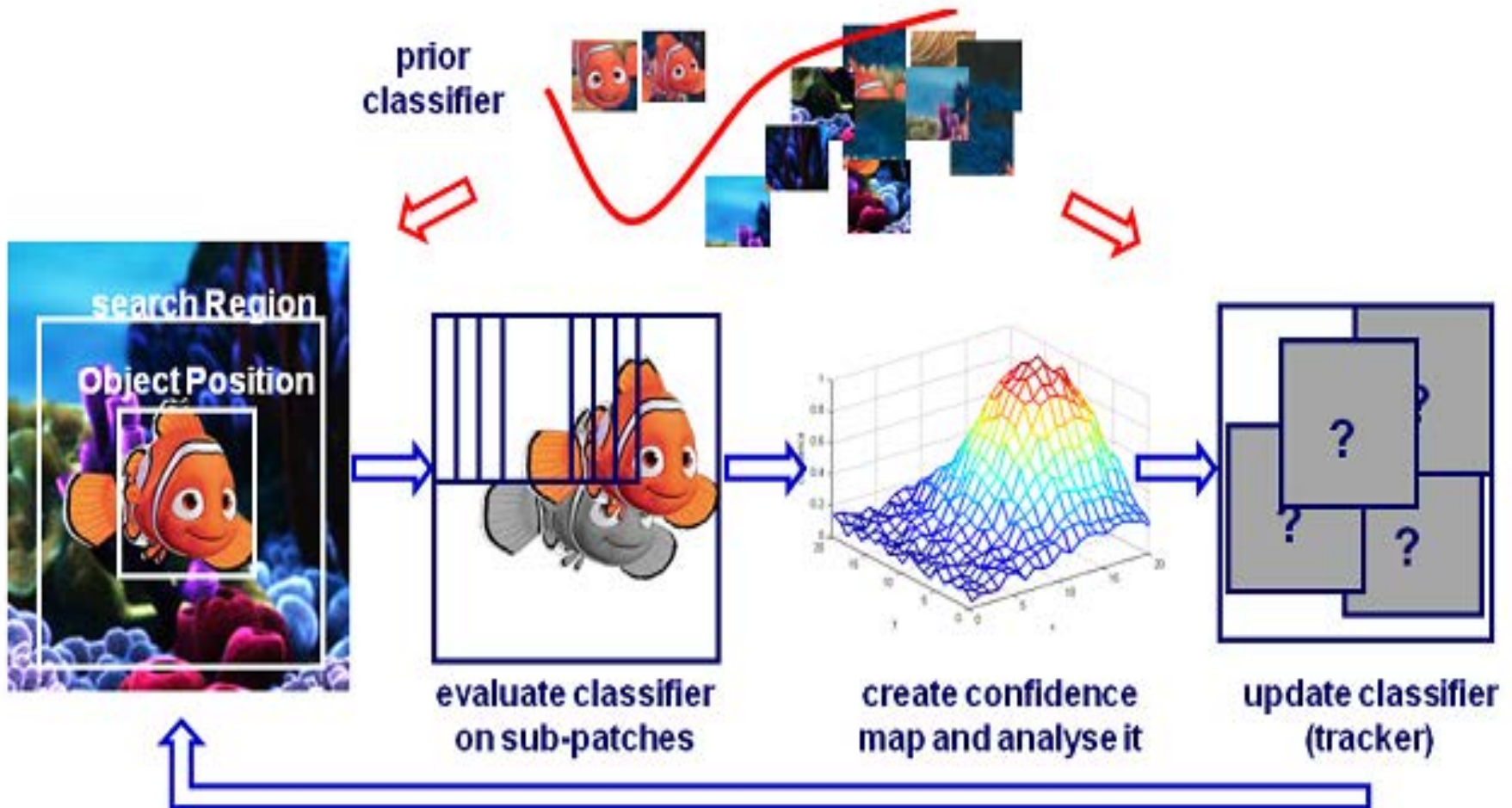


Figure 1. Novel on-line boosting for feature selection.



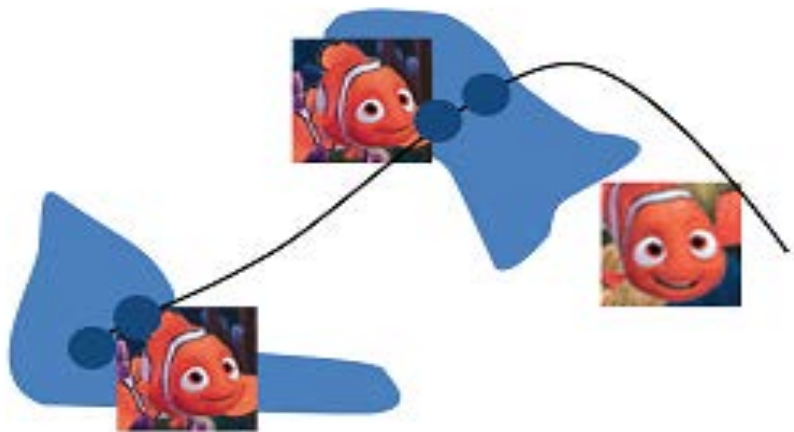
# Semi-supervised on-line boosting

H. Grabner, C. Leistner, and H. Bischof. **Semi-supervised on-line boosting for robust tracking.** In Proc. ECCV, 2008.





# 漂移 vs. 适应性



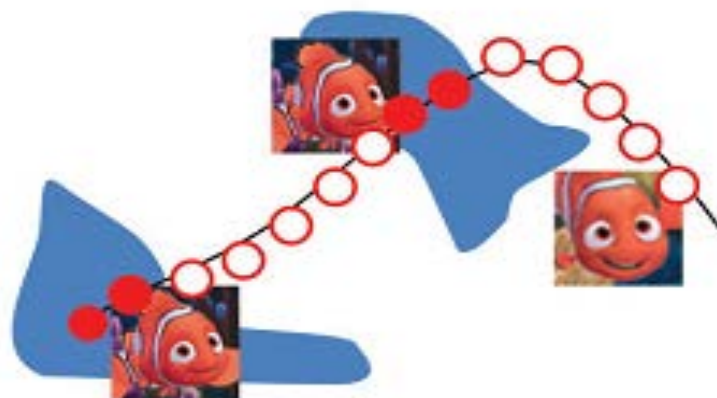
(a) Detection



(b) Supervised tracking



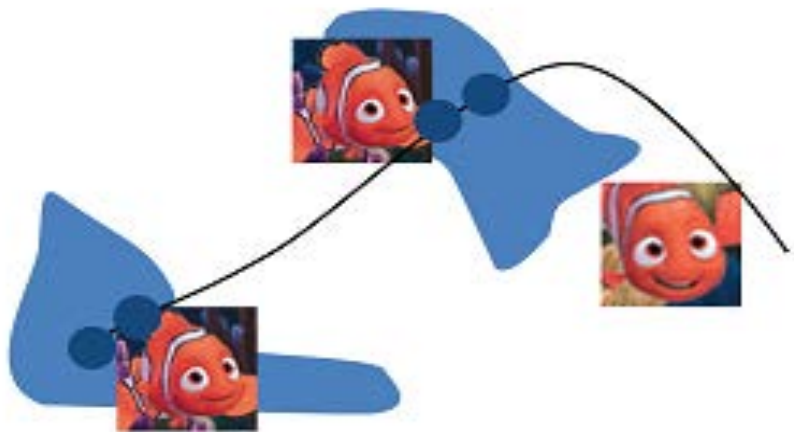
(c) Semi-supervised tracking



(d) Our Approach

Detection: 固定的检测器，避免漂移的能力，但是没有自适应能力

# 漂移 vs. 适应性



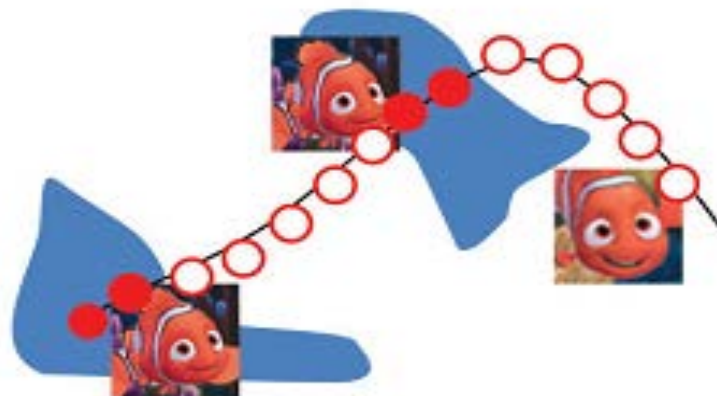
(a) Detection



(b) Supervised tracking



(c) Semi-supervised tracking

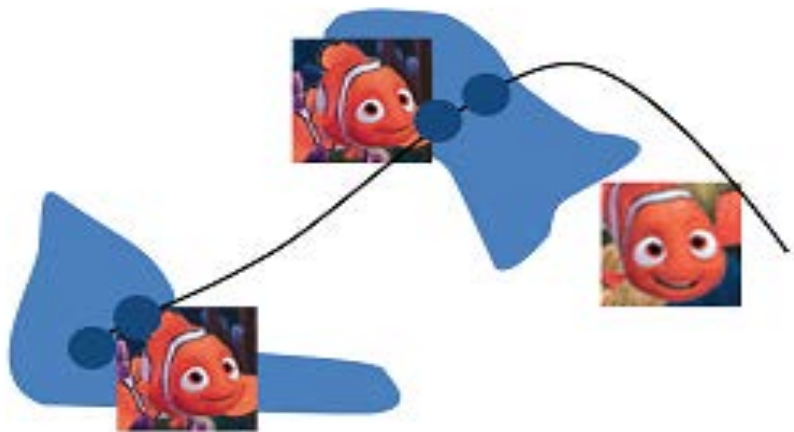


(d) Our Approach

Supervise tracking: 适应目标变化



# 漂移 vs. 适应性



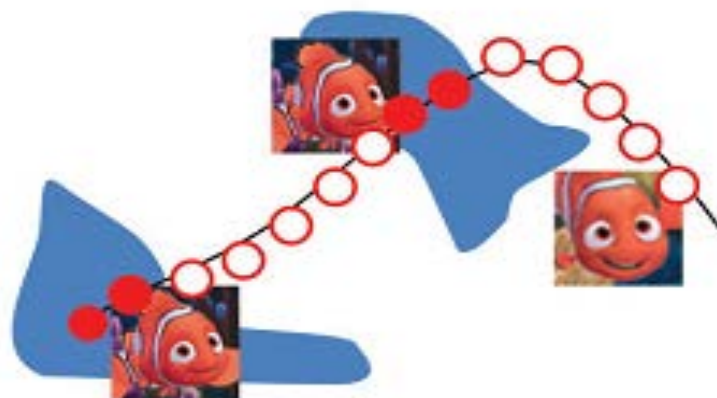
(a) Detection



(b) Supervised tracking



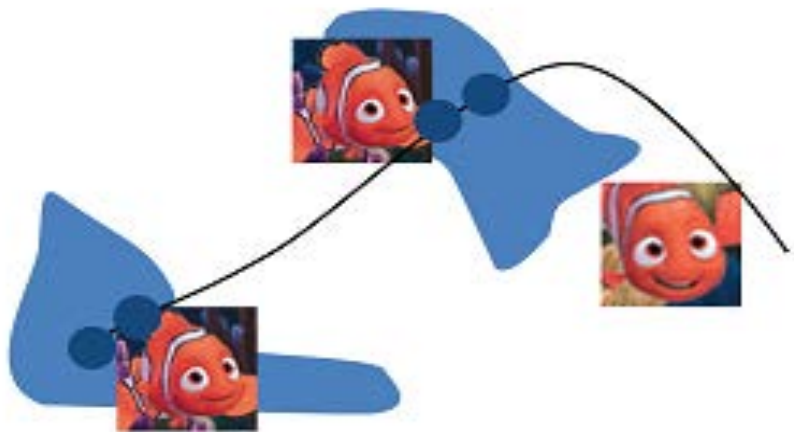
(c) Semi-supervised tracking



(d) Our Approach

Semi-supervised tracking: 漂移和自适应直接平衡

# 漂移 vs. 适应性



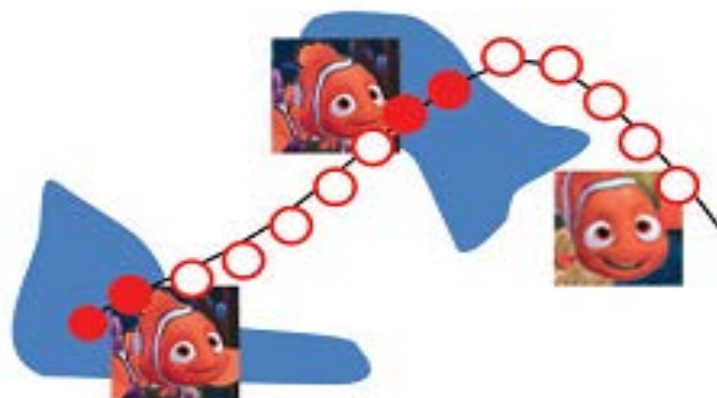
(a) Detection



(b) Supervised tracking



(c) Semi-supervised tracking



(d) Detector, recognizer and tracker

在半监督基础上又加了对特定目标的先验



# TLD 目标跟踪方法

---

## TLD: Tracking-Learning-Detection

- Z. Kalal, K. Mikolajczyk, and J. Matas, “[Tracking-Learning-Detection](#),” Pattern Analysis and Machine Intelligence 2011.
- Z. Kalal, K. Mikolajczyk, and J. Matas, “[Face-TLD: Tracking-Learning-Detection Applied to Faces](#),” International Conference on Image Processing, 2010.
- Z. Kalal, K. Mikolajczyk, and J. Matas, “[Forward-Backward Error: Automatic Detection of Tracking Failures](#),” International Conference on Pattern Recognition, 2010, pp. 23-26.
- Z. Kalal, J. Matas, and K. Mikolajczyk, “[P-N Learning: Bootstrapping Binary Classifiers by Structural Constraints](#),” Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010.



# TLD 目标跟踪方法

---

- 目标

长期, 实时 目标跟踪 (未知类别)

- 挑战

- 表观变化
- 部分或全部遮挡
- 目标可能短期消失
- 相似物体
- 实时性能
- .....

模型更新:  
逐帧更新  
选择更新



# TLD 目标跟踪方法

---

- 目标

长期, 实时 目标跟踪 (未知类别)

- 挑战

- 表观变化
- 部分或全部遮挡
- 目标可能短期消失
- 相似物体
- 实时性能
- .....

通过检测器初始化跟踪器



# TLD 目标跟踪方法

---

- 目标

长期, 实时 目标跟踪 (未知类别)

- 挑战

- 表观变化
- 部分或全部遮挡
- 目标可能短期消失
- 相似物体
- 实时性能
- .....



重识别

A callout box with a blue border and an orange fill, containing the text '重识别' (Re-identification). The box has a tail pointing towards the '目标可能短期消失' (Target may disappear for a short time) item in the list.



# TLD 目标跟踪方法

---

- 目标

长期, 实时 目标跟踪 (未知类别)

- 挑战

- 表观变化
- 部分或全部遮挡
- 目标可能短期消失
- 相似物体
- 实时性能
- .....

- 方法

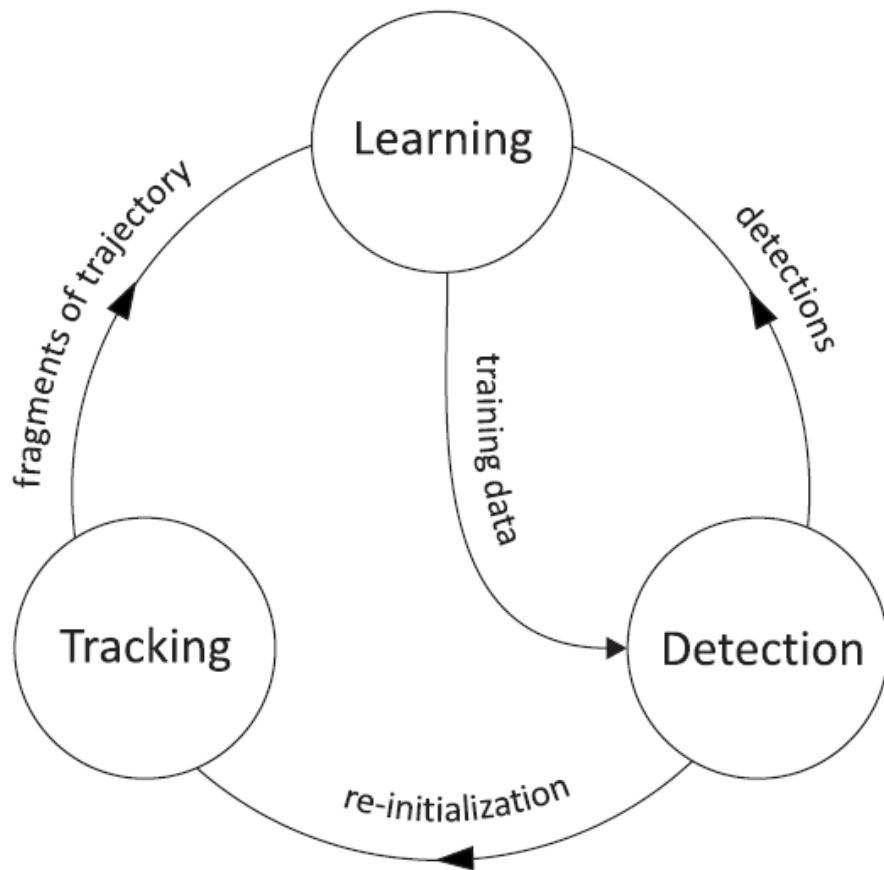
- **TLD**: a Framework that integrates adaptive **T**racking with online **L**earning of object-specific **D**etector





# TLD 目标跟踪方法

- TLD 框架

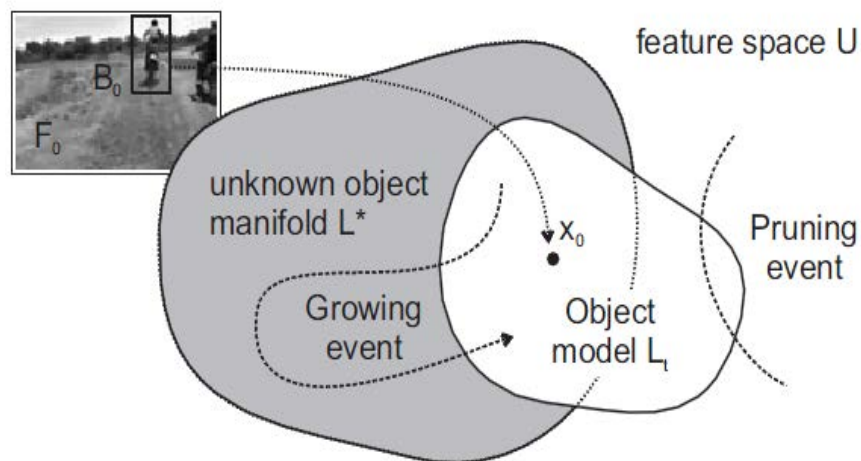


- **跟踪器**是观察帧与帧之间的目标运动
- **检测器**将每帧图像当成独立的，然后去定位。检测器可以定位之前所有出现的目标
- **学习器**评估检测器的误差，并更新检测器防止后续错误



# TLD 目标跟踪方法

- TLD 框架



- **Growing events** 通过在线模型扩展空间
- **Pruning events** 去除错误样本



# TLD 目标跟踪方法

---

## ❖ P-N learning

- **目的:** 提高检测器性能。采用半监督学习方法进行在线检测器更新，每一帧评估当前检测器，针对错误情况进行更新避免将来出现类似错误
- **两类检测器错误:** 假阴 && 假阳
- P-N learning 主要思想是利用两类 “专家 ( expert ) ” 解决这两类错误
  - **P-expert:** 识别假阴
  - **N-expert:** 识别假阳



# TLD 目标跟踪方法

---

## ❖ P-N learning

- P-N learning 主要思想是利用两类 “专家 ( expert ) ” 解决这两类错误
  - **P-expert**: 识别假阴
  - **N-expert**: 识别假阳
- 专家的特点
  - 采用独立的信息
  - 可以反驳对方
  - 可能发生错误



# TLD 目标跟踪方法

---

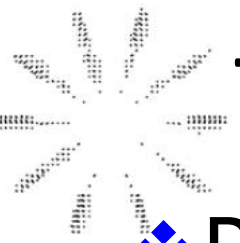
## ❖ P-N learning

### ■ 数据

- 标记数据集： $L_l = (\mathcal{X}, \mathcal{Y})$
- 未标记数据集： $X_u = (X)$

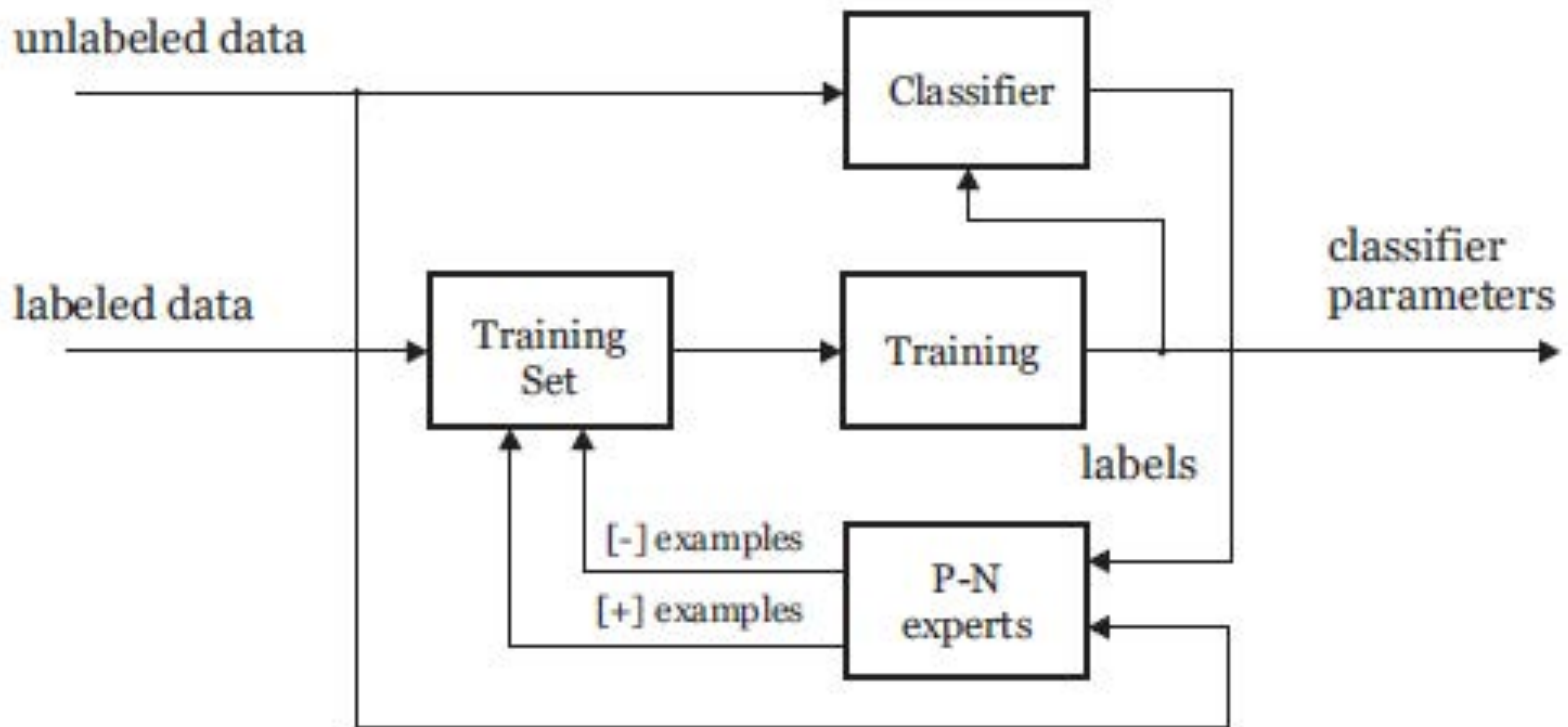
- P-N学习的任务是根据标记数据集学习一个分类器  $f: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ ，并利用未标记数据集提升其性能

- 分类器  $f: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$  为一个来自由参数  $\theta$  参数化的函数族  $F$  的函数，训练过程和参数  $\theta$  的估计有关



# TLD 目标跟踪方法

## ❖ P-N learning





# TLD 目标跟踪方法

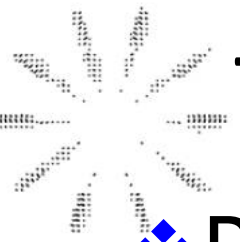
---

## ❖ P-N learning

### ■ Procedures of P-N Learning

- 学习过程的初始化：将标记数据集  $L$  嵌入训练集
- 训练集用于监督学习，训练一个分类器，即估计初始参数  $\Theta^0$
- 在第  $k$  次迭代中，利用之前训练好的分类器对未标记样本进行分类， $y_u^k = \hat{f}(x_u | \Theta^{k-1})$ ，for all  $x_u \in X_u$ .
- P-N experts对分类进行性能评估，找到错误分类的样本，并加入训练集
- 重新训练分类器，即估计参数  $\Theta^k$
- 迭代，直到收敛或者达到迭代次数



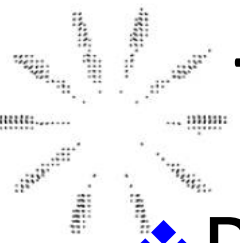


# TLD 目标跟踪方法

---

## ❖ P-N learning

- P-N Learning的关键要素
  - 估计分类器的错误: 将两种错误分别处理



# TLD 目标跟踪方法

---

## ❖ P-N learning

### ■ P-N Learning的关键要素

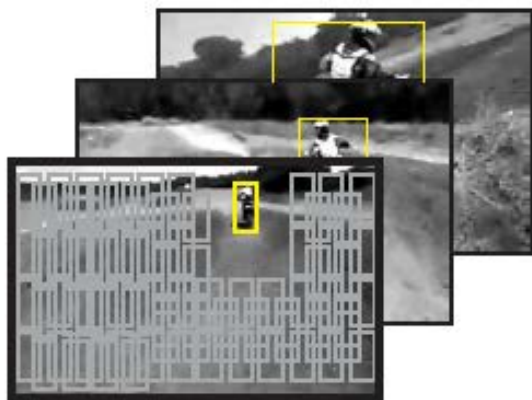
- 估计分类器的错误: 将两种错误分别处理
- 无监督的数据集根据当前分类器分为两部分，每部分都用不同的expert处理
  - **P-expert** 分析错分的负样本，赋予正的标签并加入训练集。在第  $k$  次迭代，P experts输出 $n+(k)$  个正样本
  - **N-expert** 分析错分的正样本，赋予负的标签并加入训练集。在第  $k$  次迭代，N experts输出 $n-(k)$  个负样本



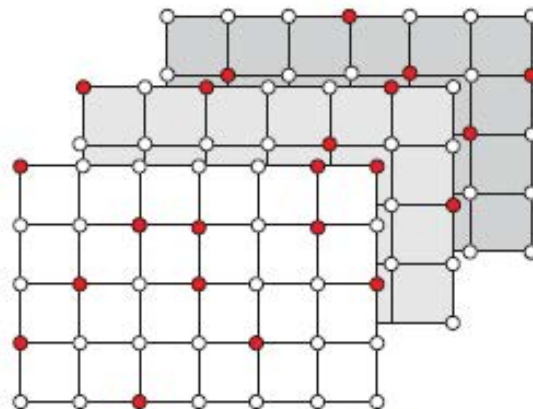
# TLD 目标跟踪方法

## ❖ P-N learning

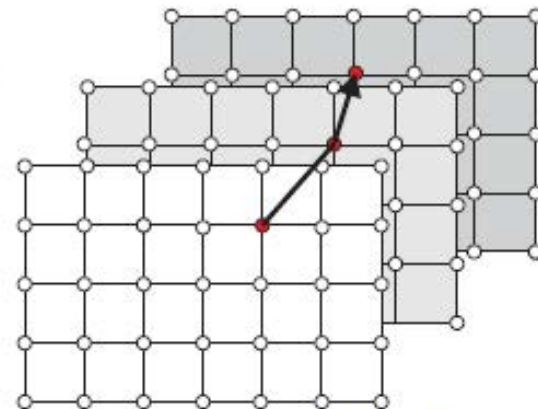
### ■ Design of experts



a) scanning grid



b) unacceptable labeling



c) acceptable labeling

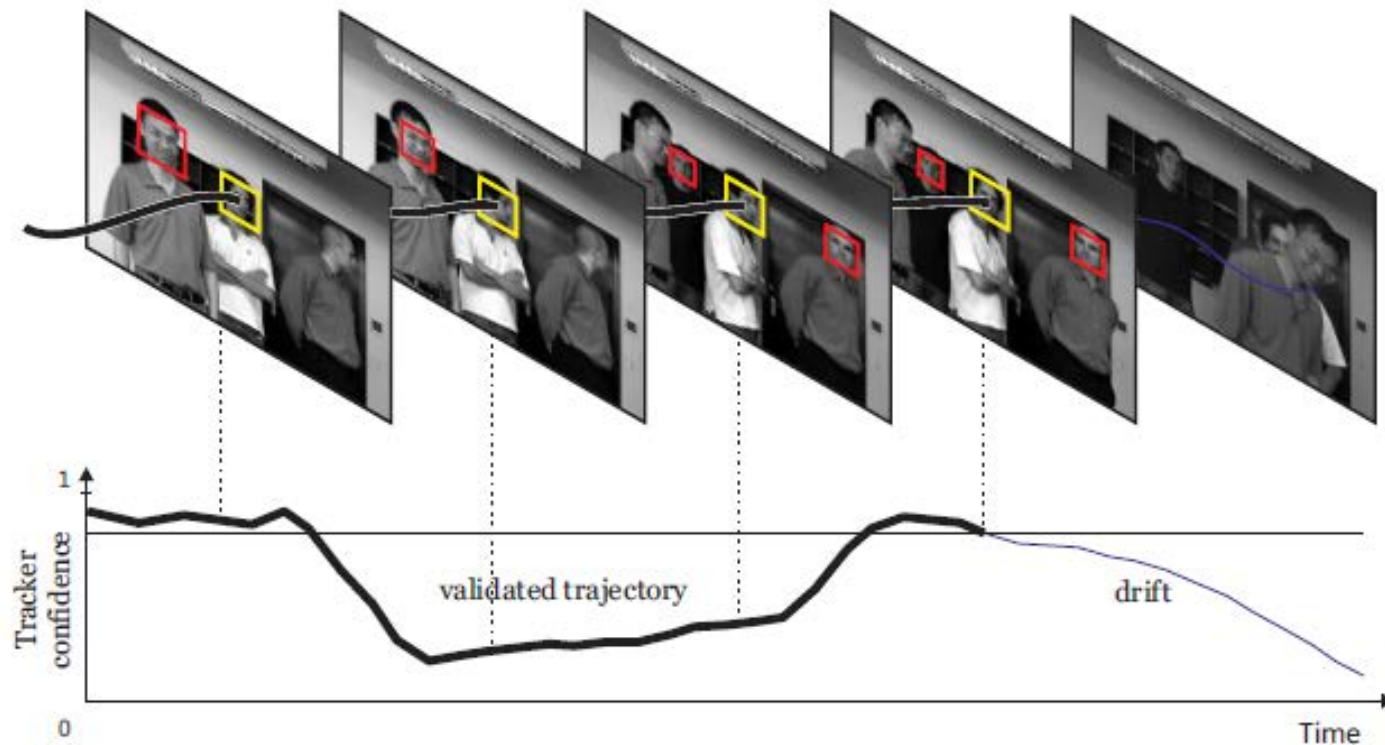
- 每个图像块的标签是**独立的**
- 这种唯一连续的性质称为**结构性**
- P-N 学习的关键就是找到这种结构性的数据，来判别检测器所产生的错误标签



# TLD 目标跟踪方法

## ❖ P-N learning

### ■ Design of experts





# TLD目标跟踪方法

---

## ❖ P-N learning

### ■ Design of experts

**P-experts**寻找视频序列中的**时域**上的结构性特征，并且假设目标是沿着轨迹线移动的。P-experts记录目标在上一帧中的位置，并根据帧与帧之间的跟踪算法来预测目标在当前帧中的位置。如果**检测模块**将目标在**当前帧中的位置**标记为**负标签**，那么P-experts就产生一个**正样本**。

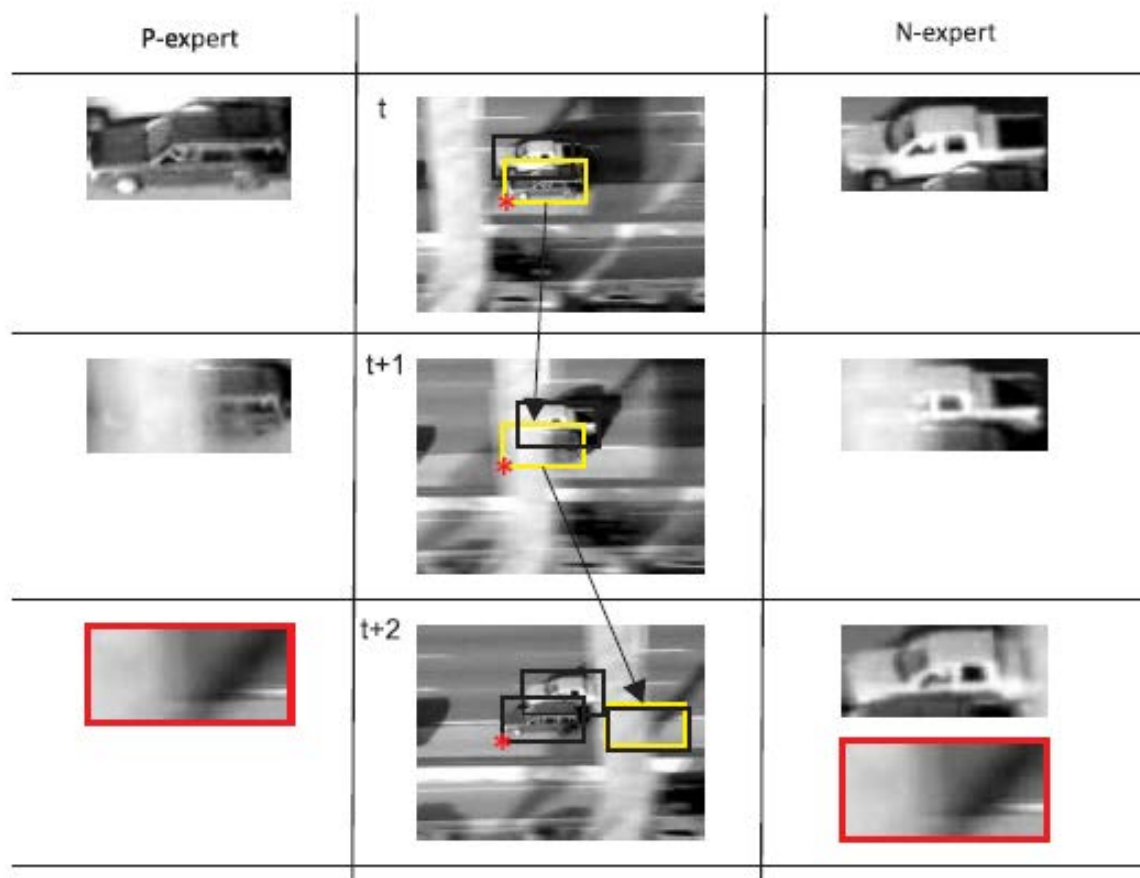
**N-experts**寻找视频序列中的**空域**上的结构性特征，并且假设目标在一个视频帧中只可能出现在一个位置。N-experts对**检测模块**在当前帧中的所有输出结果以及**跟踪模块**的输出结果进行分析，并找到**置信度最高**的结果。同**置信度最高**区域之间没有重叠的图片被认定为**负样本**。另外，具有最大可能性的那个区域，被用于**重新初始化**跟踪模块。



# TLD 目标跟踪方法

## ❖ P-N learning

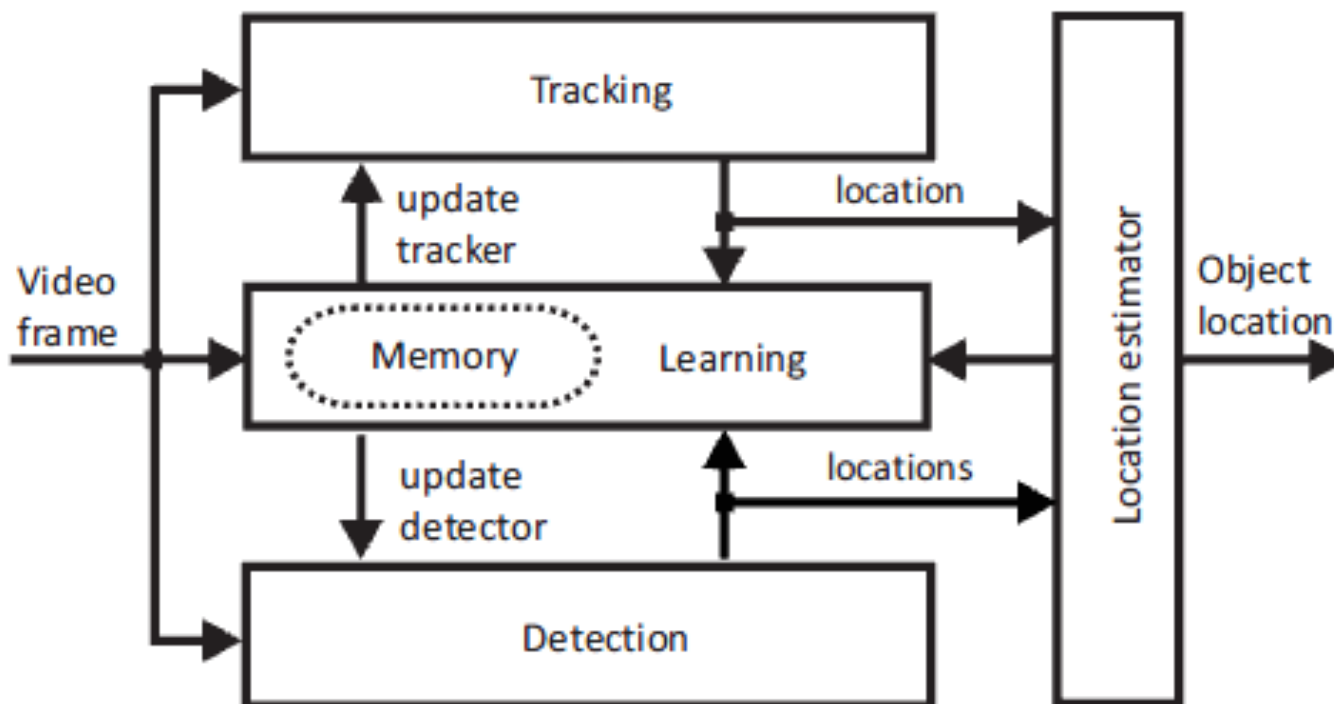
### ■ Design of experts





# TLD 目标跟踪方法

## ❖ TLD实现







# TLD 目标跟踪方法





# TLD 目标跟踪方法

---

- 局限性
  - 不能很好解决发生平面外旋转问题
  - 不能很好跟踪铰链式的物体
  - 仅适合单目标跟踪
  - .....



**The end !**