

计算机科学与技术学院

刘畅博士学位论文答辩



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

目标跟踪中背景信息抑制与利用方法研究

导师	刘鹏
副导师	赵巍
研究生	刘畅
学号	15B903045



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

目录





哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

目录



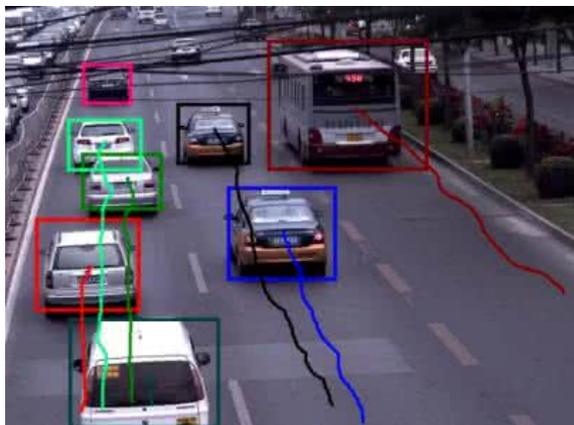
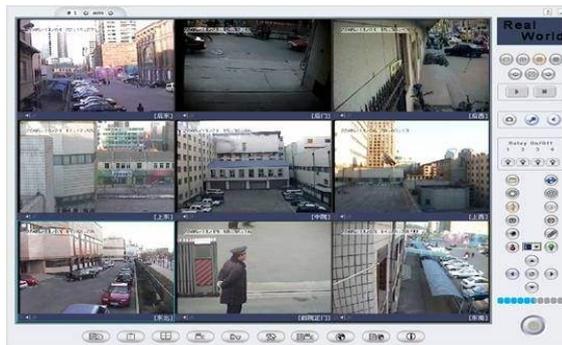
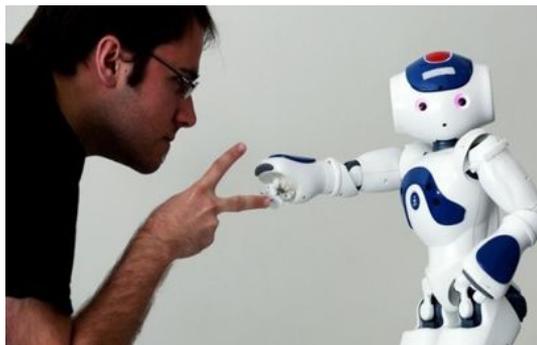


哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

研究的背景和意义





哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

目标跟踪中的挑战

形变



deformation

光照变化



illumination variation



blur & fast motion

模糊、快速运动



background clutter

背景干扰





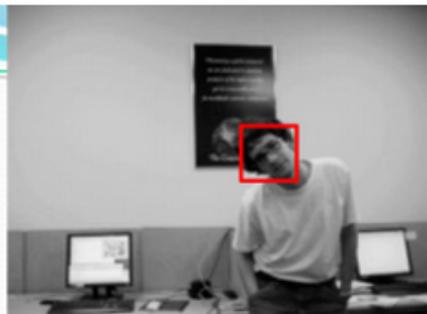
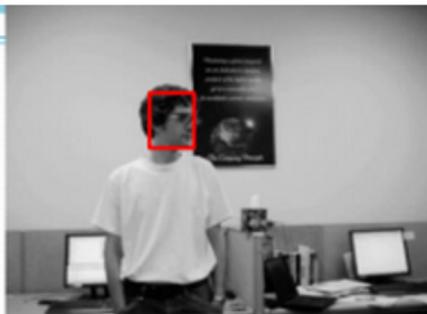
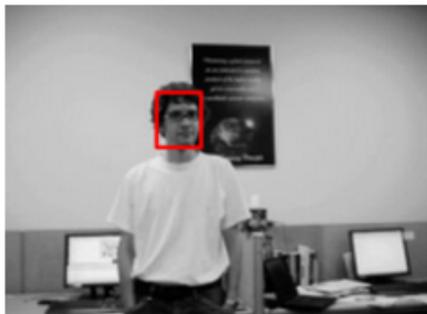
哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

目标跟踪中的挑战

绕平面旋转



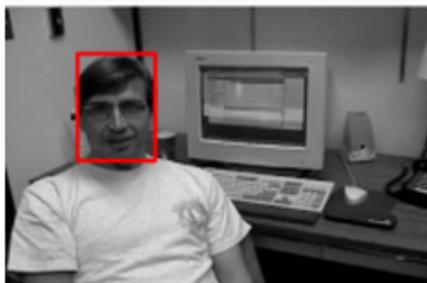
out-of-plane rotation

in-plane rotation



尺度变化

scale variation



出视场

遮挡

occlusion

out-of-view



- 针对快速运动和目标丢失问题提出了目标与背景协同建模的长短期运动模型
- 针对背景干扰和目标形变问题提出了结构性优化卷积网络的目标与背景特征提取方法
- 针对快速运动和背景干扰问题提出了多层背景自适应相关滤波观测模型
- 针对目标形变和目标丢失问题提出了基于背景中辅助目标的跟踪预测方法



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

目录





哈尔滨工业大学

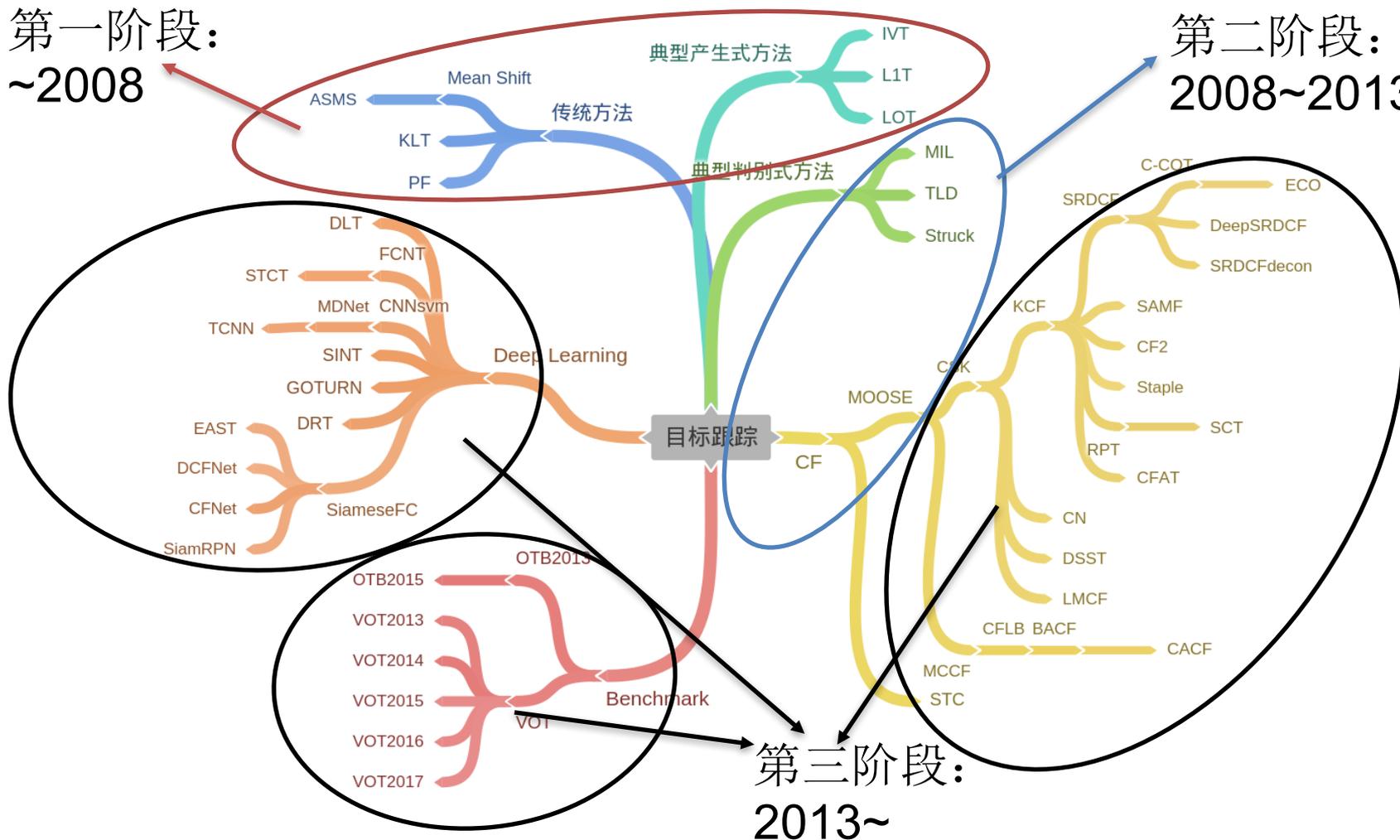
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

国内外研究现状及分析

第一阶段：
~2008

第二阶段：
2008~2013



第三阶段：
2013~

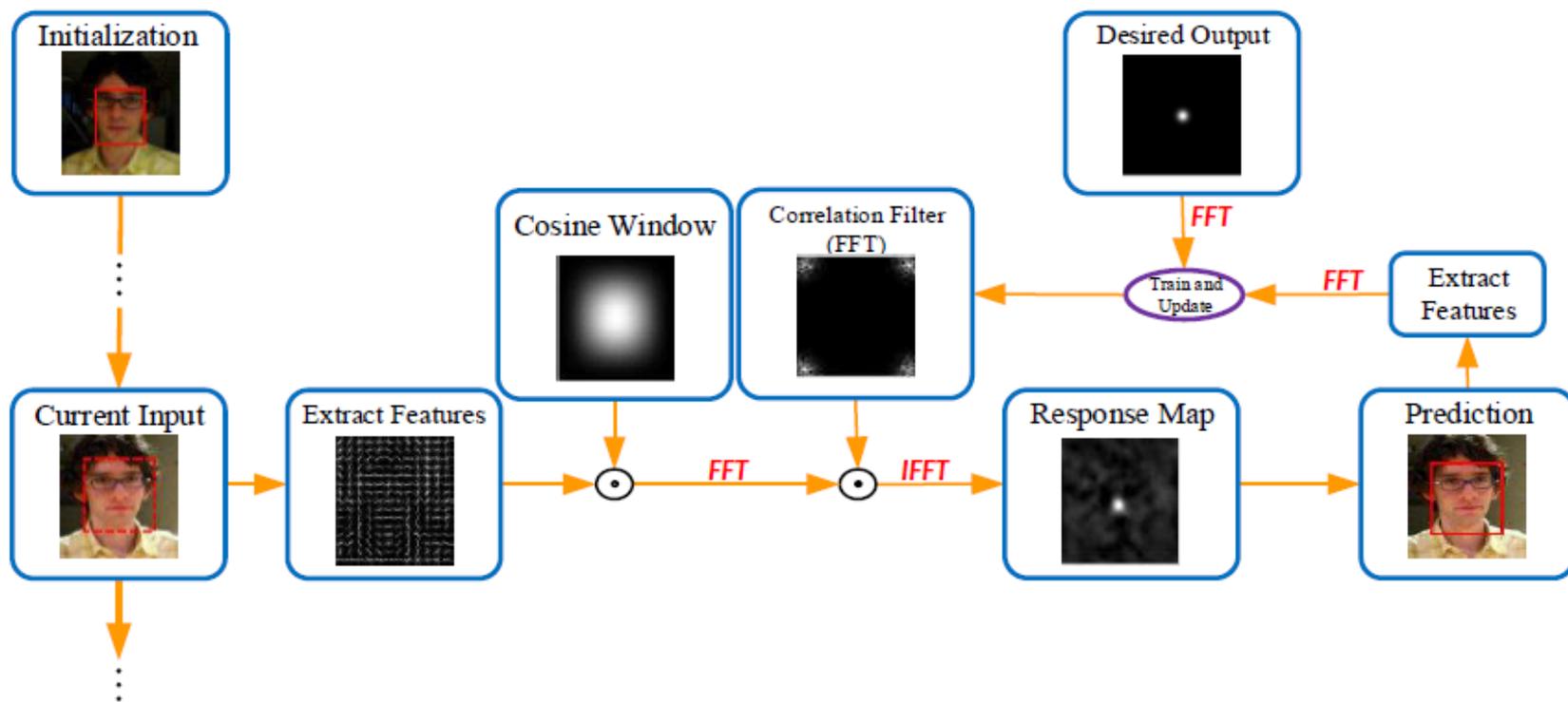


哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

相关滤波





利用背景

- 判别式模型
- 背景建模
- 相关滤波方法
- 深度学习方法

抑制背景

- 正负样本不平衡
- 对目标和背景分割
- 背景中干扰物
- 相关滤波中的空间窗格

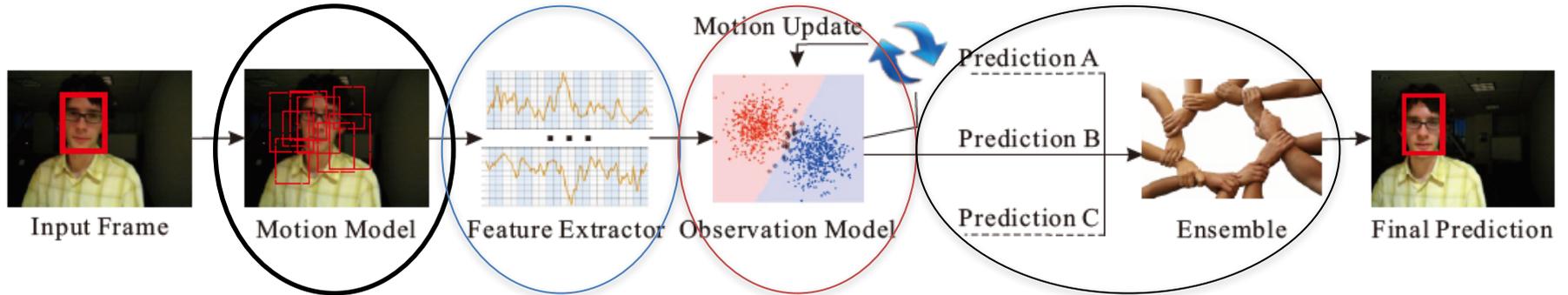


哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

目标跟踪步骤



运动模型 特征提取 观测模型 跟踪预测

利用背景信息 抑制背景信息 抑制和利用背景信息 利用背景信息

克服

快速运动
目标丢失

背景干扰
目标形变

快速运动
背景干扰

目标形变
目标丢失



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

目录



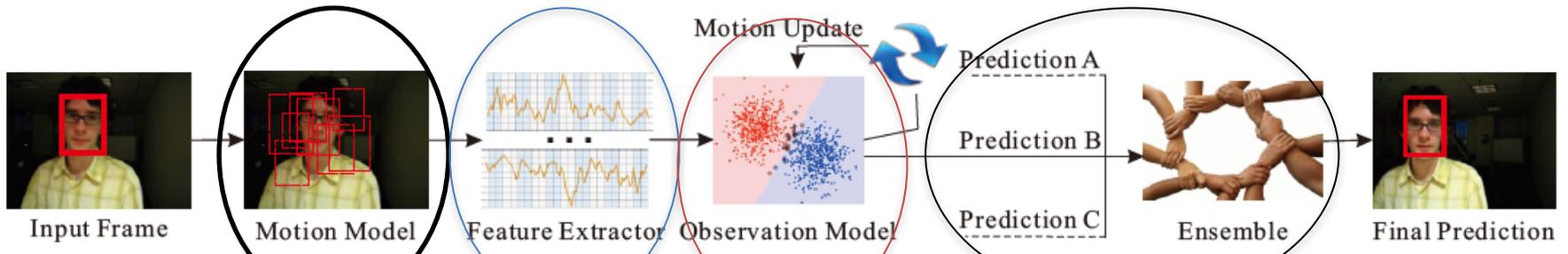


哈爾濱工業大學

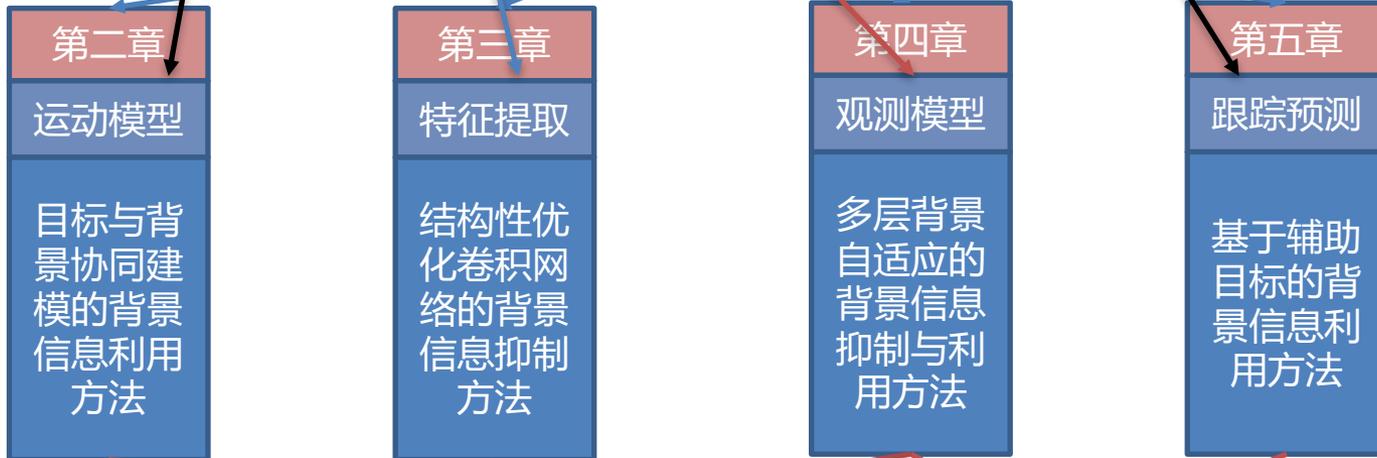
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

论文组织结构



目标跟踪中背景信息抑制与利用方法研究



抑制背景信息的目标跟踪
降低背景干扰

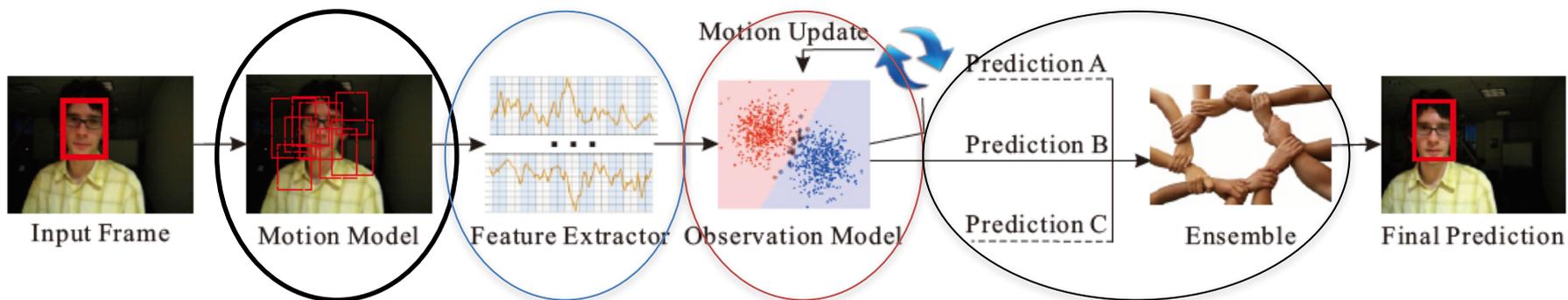
利用背景信息的目标跟踪
提高形变遮挡等情况下的鲁棒性



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家



运动模型

特征提取

观测模型

跟踪预测

第二章

目标与背景协同建模的长-短期 运动模型



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

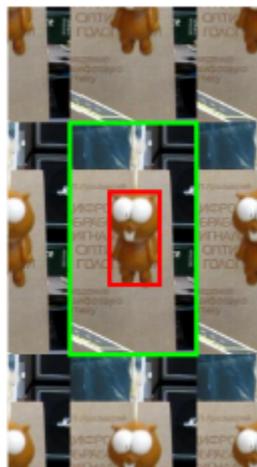
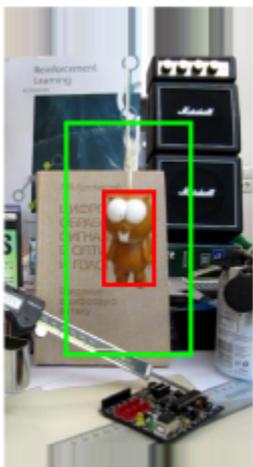
规格严格 功夫到家

第二章：问题的发现

第105帧

第107帧

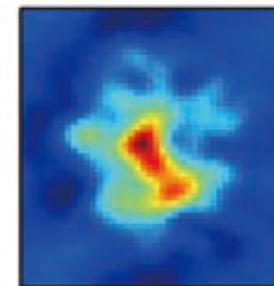
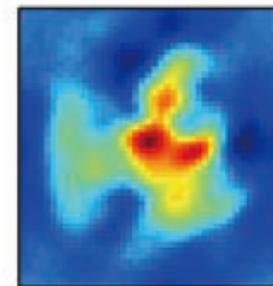
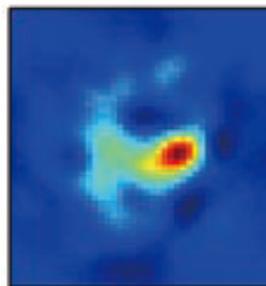
第107帧



跟踪结果



跟踪响应



正常样本

循环样本

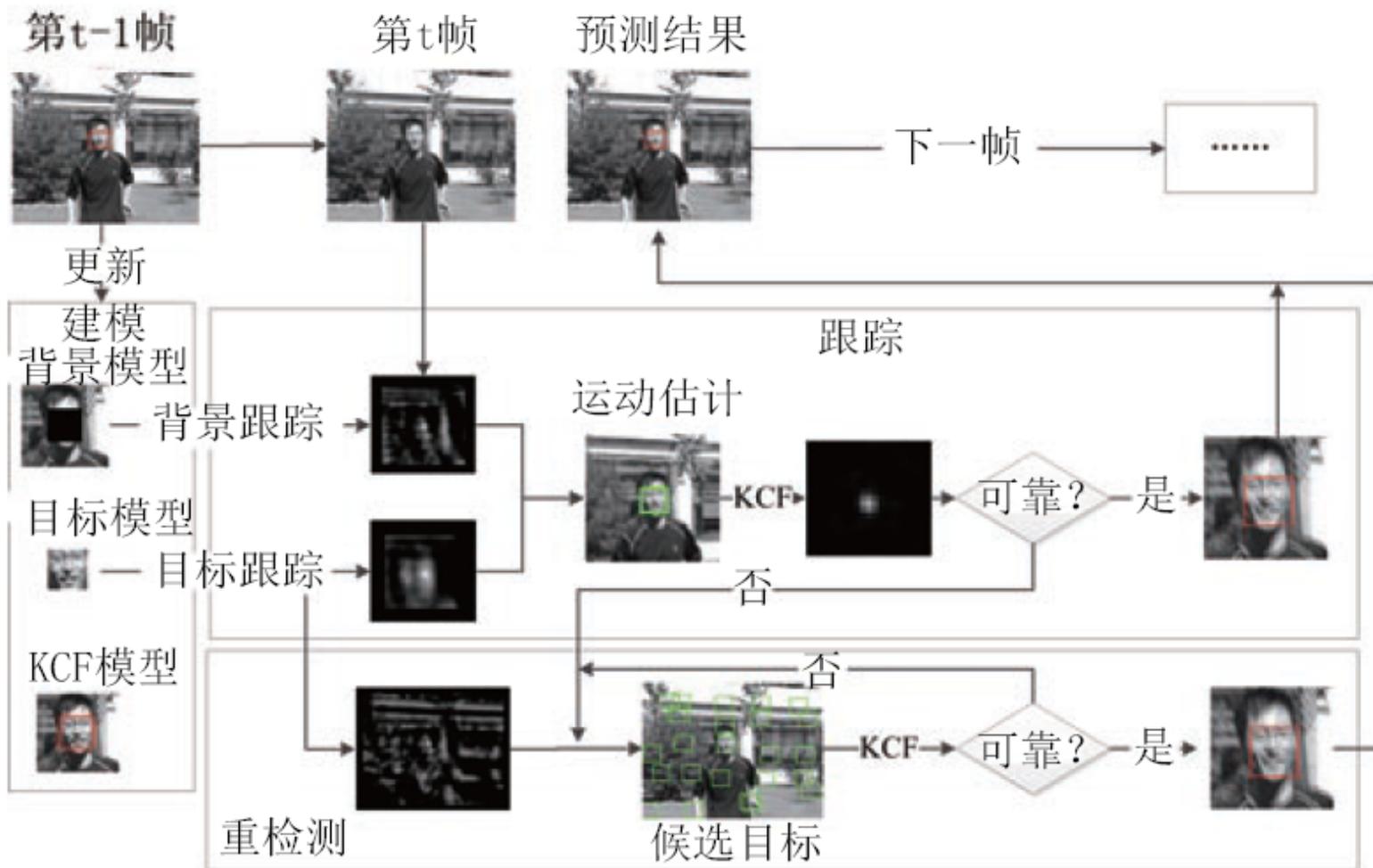


- 提出新的运动模型

- 提出短期运动模型，协同建模目标和背景，在扩大的区域中跟踪目标，以解决快速运动、跟踪器漂移问题。
- 建立新颖的背景模型，提出了对应的跟踪器，以降低跟踪器对物体形状的敏感性。
- 提出长短期结合的运动模型，在长期跟踪中当跟踪不稳定时用长期运动模型重检测目标，用短期运动模型恢复跟踪，以提高长时间视频中目标跟踪的性能。



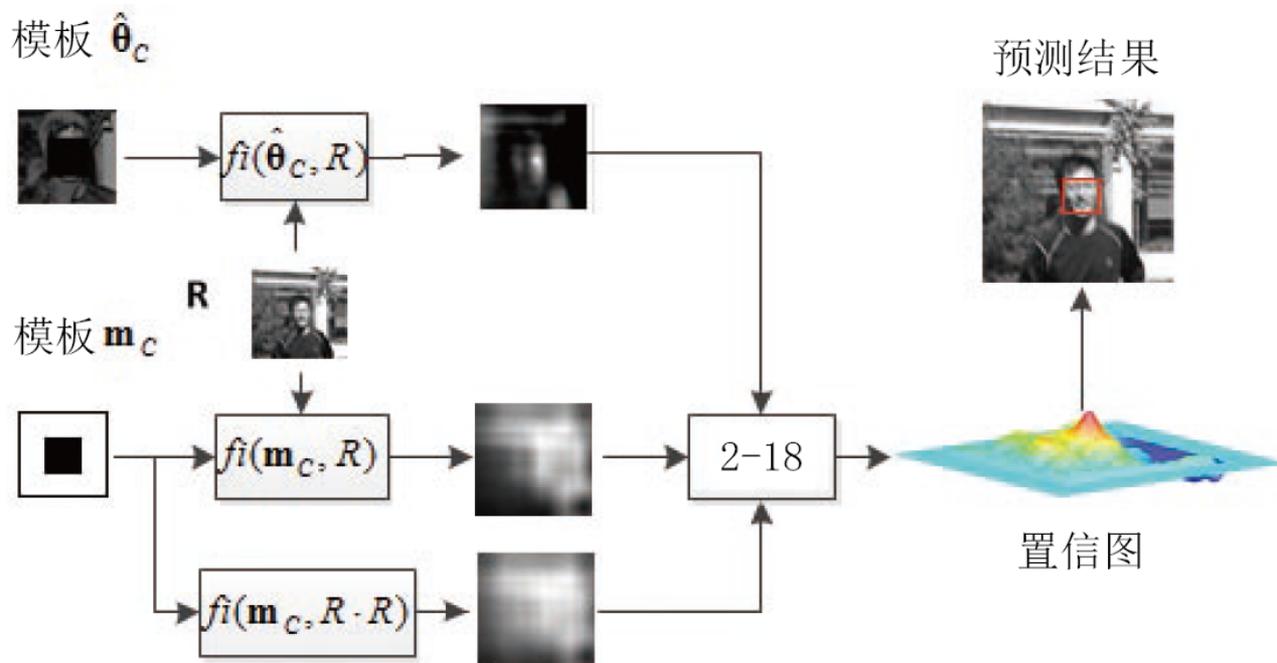
第二章：跟踪框架





第二章：背景跟踪

$$\gamma(\hat{\theta}_C, \mathbf{R}) = \frac{f_i(\hat{\theta}_C, \mathbf{R})}{\sigma_{\hat{\theta}_C} \sqrt{f_i(\mathbf{m}_C, \mathbf{R} \cdot \mathbf{R}) - \frac{1}{N_C} f_i^2(\mathbf{m}_C, \mathbf{R})}}$$





$$\begin{aligned} f_m(\mathbf{X}) &= P_{\mathbf{X} \in \mathbf{R}}(\mathbf{X}|o) = \frac{P(\mathbf{X}, o)}{P(o)} \\ &= \frac{1}{P(o)}(P(\mathbf{X}, o, T) + P(\mathbf{X}, o, C)) \\ &= \frac{P(\mathbf{X})}{P(o)}(\underbrace{P(o|\mathbf{X}, T)}_{\text{目标模型}} \underbrace{P(T|\mathbf{X})}_{\text{目标模型}} + \underbrace{P(o|\mathbf{X}, C)}_{\text{背景模型}} \underbrace{P(C|\mathbf{X})}_{\text{背景模型}}) \end{aligned}$$

归一化
参数

目标模型

背景模型



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

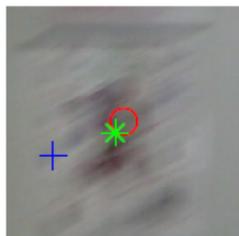
规格严格 功夫到家

第二章：短期运动模型评估

BlurBody #0302



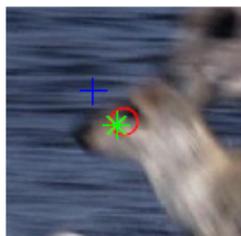
BlurOwl #0384



Couple #0091



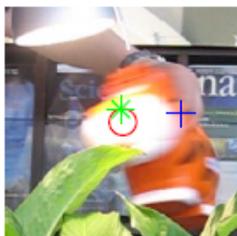
Deer #0037



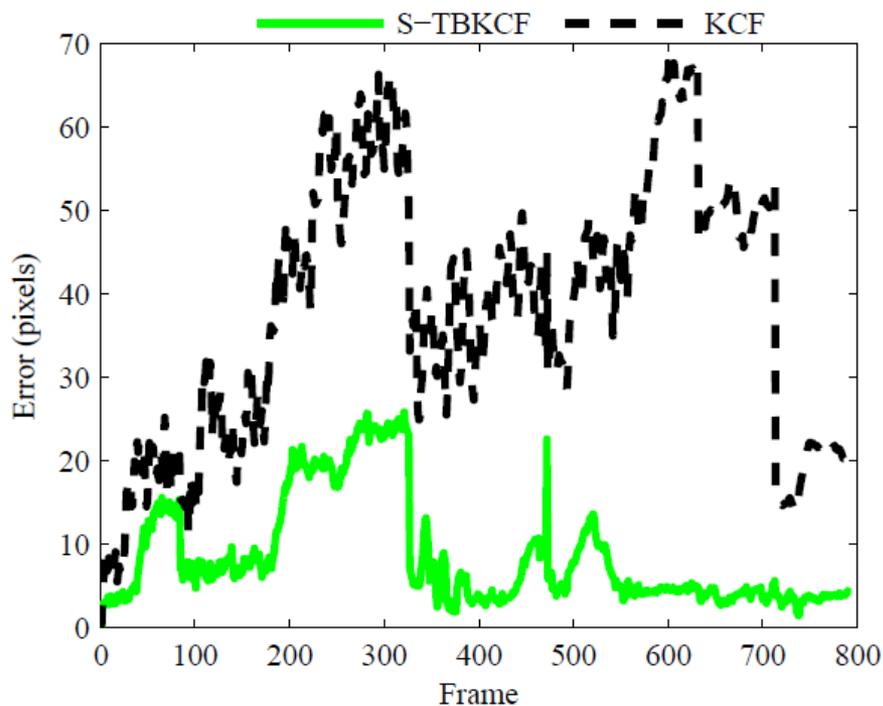
Jumping #0096



Tiger2 #0325



○ True Position + Old Position
* Motion Prediction





	OS(%)		
	S-TBKCF	T-TBKCF	KCF
BlurBody	98.8	98.8	58.7
BlurOwl	98.9	99.8	22.8
Couple	72.9	72.9	24.3
Deer	100.0	100.0	81.7
Jumping	99.4	98.7	28.1
Tiger2	82.2	81.4	36.4
KiteSurf	96.4	44.1	31.0
Freeman1	23.3	16.6	16.0
Freeman4	21.9	18.4	18.4
Human5	34.2	34.2	23.6
Human6	22.6	22.6	22.5
Human7	38.4	34.4	40.8
Singer1	29.6	29.6	27.6
Twinnings	64.0	63.8	54.2
Crowds	92.5	95.4	99.7
Average	65.0	60.7	39.0



哈爾濱工業大學

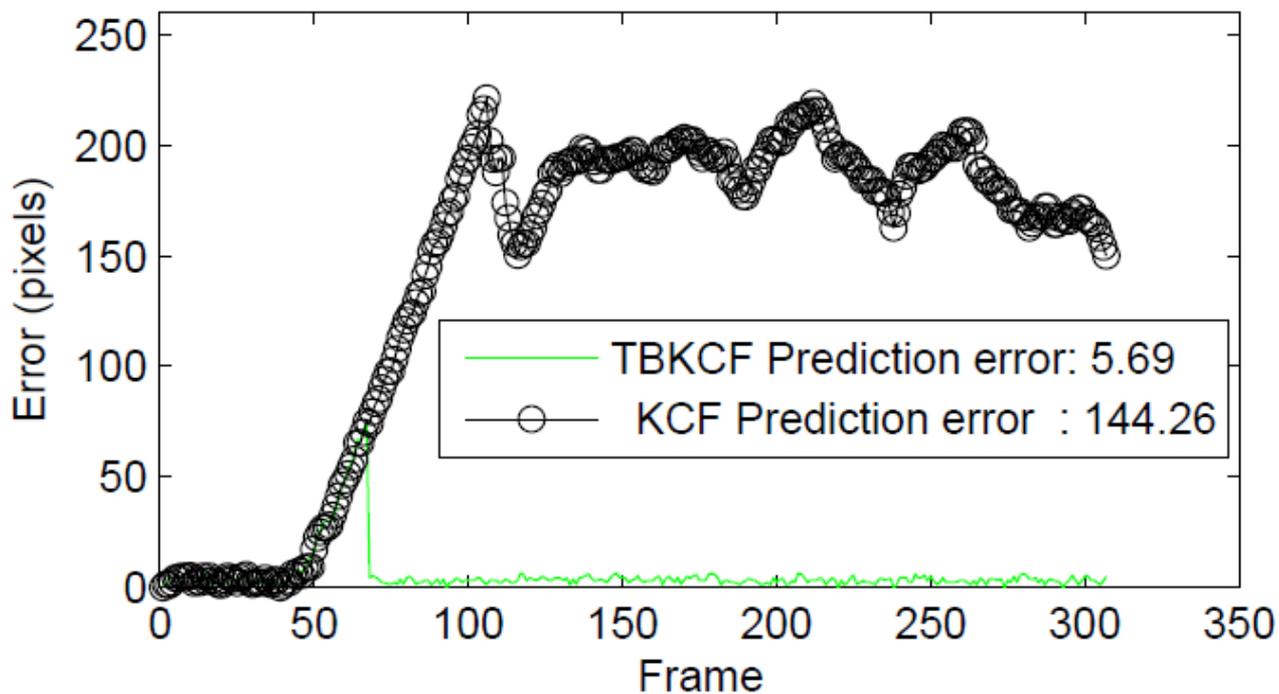
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

第二章：长期运动模型评估



— TBKCF — KCF



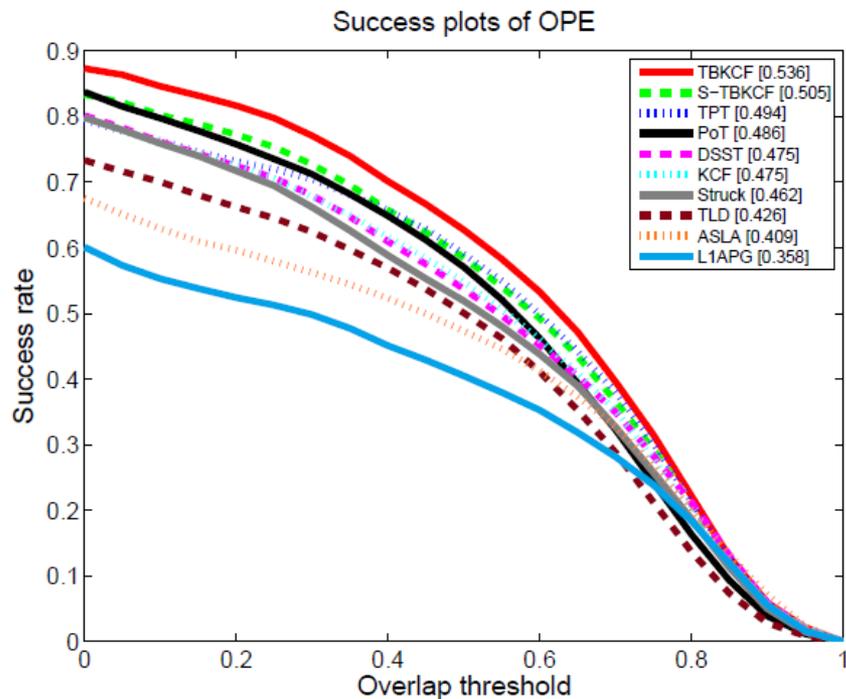
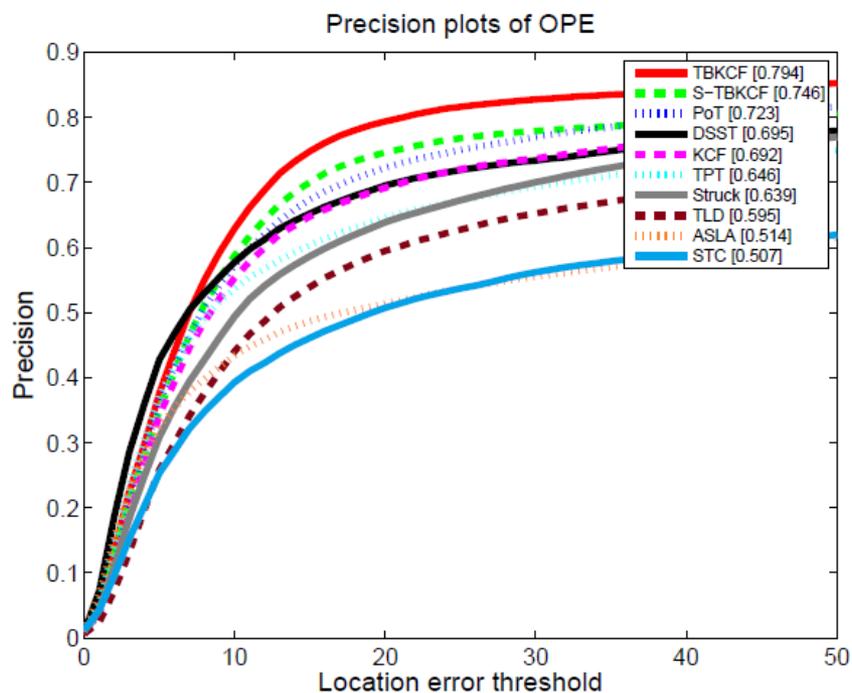


哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

第二章：性能对比





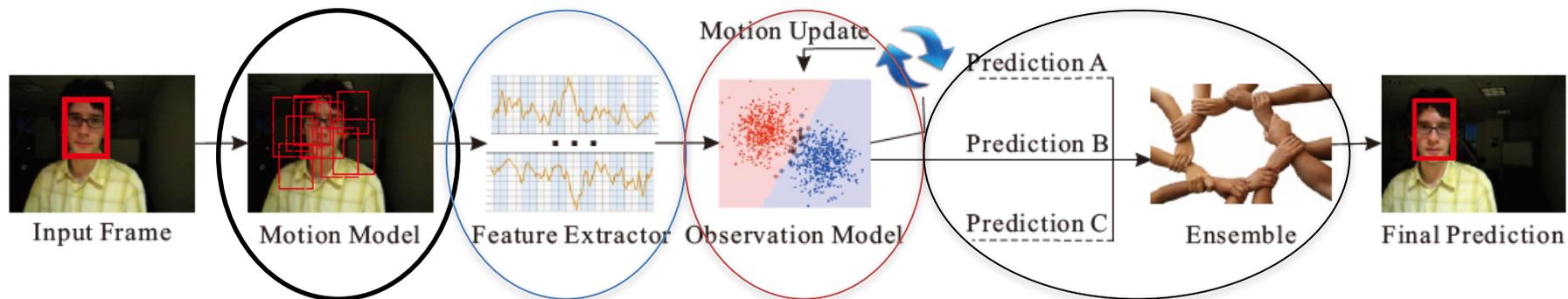
- 目标的背景中包含有用的信息
- 提出的方法有效挖掘了目标与背景的关系，目标与背景协同建模是有效的
- 提出的短期运动模型能解决快速运动问题
- 提出的长期运动模型能在跟踪失败后恢复跟踪



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家



运动模型

特征提取

观测模型

跟踪预测

第三章

结构性优化卷积网络的目标与背景特征提取方法



- 预训练卷积神经网络
 - 优点：
 - 比传统特征提取方法表现更好
 - 随目标变化，特征不变性较强
 - 缺点：
 - 依靠非目标跟踪任务完成预训练
 - 参数多，提取特征耗时长
- 目标跟踪任务
 - 单样本
 - 目标是单个物体，非一类物体



- 在压缩网络的同时抑制背景并提高特征对目标与背景的判别力
 - 卷积神经网络降维方法：从最后一个卷积层挑选适合表示目标以及区分目标与背景的特征图并降低维度，以实现高效跟踪。
 - 通道裁剪方法：剔除冗余通道，保留目标信息，同时降低背景信息。
 - 单样本网络权值重建方法：在压缩网络后降低目标信息损失，保留网络鲁棒性。



哈爾濱工業大學

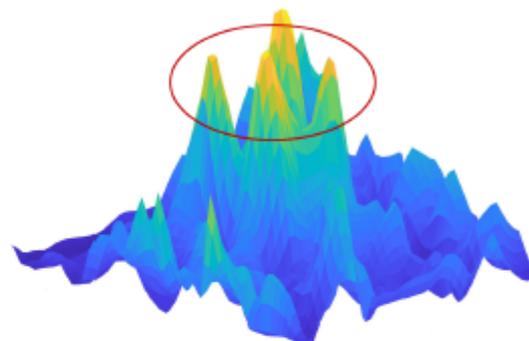
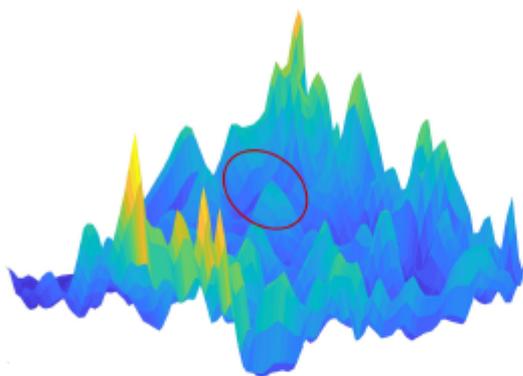
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

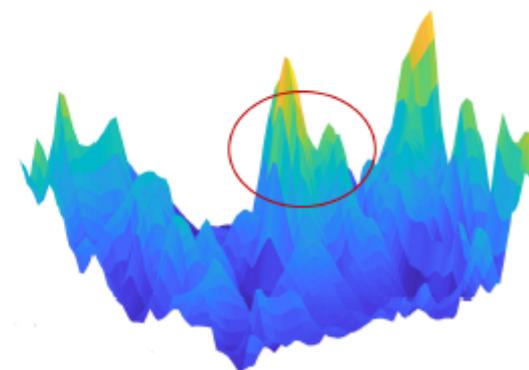
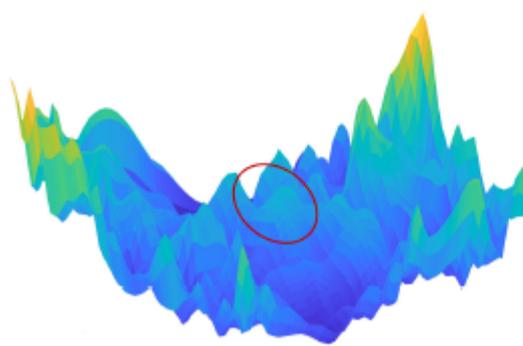
第三章：结构性优化前后特征对比

结构性优化前的特征 结构性优化后的特征

第1帧

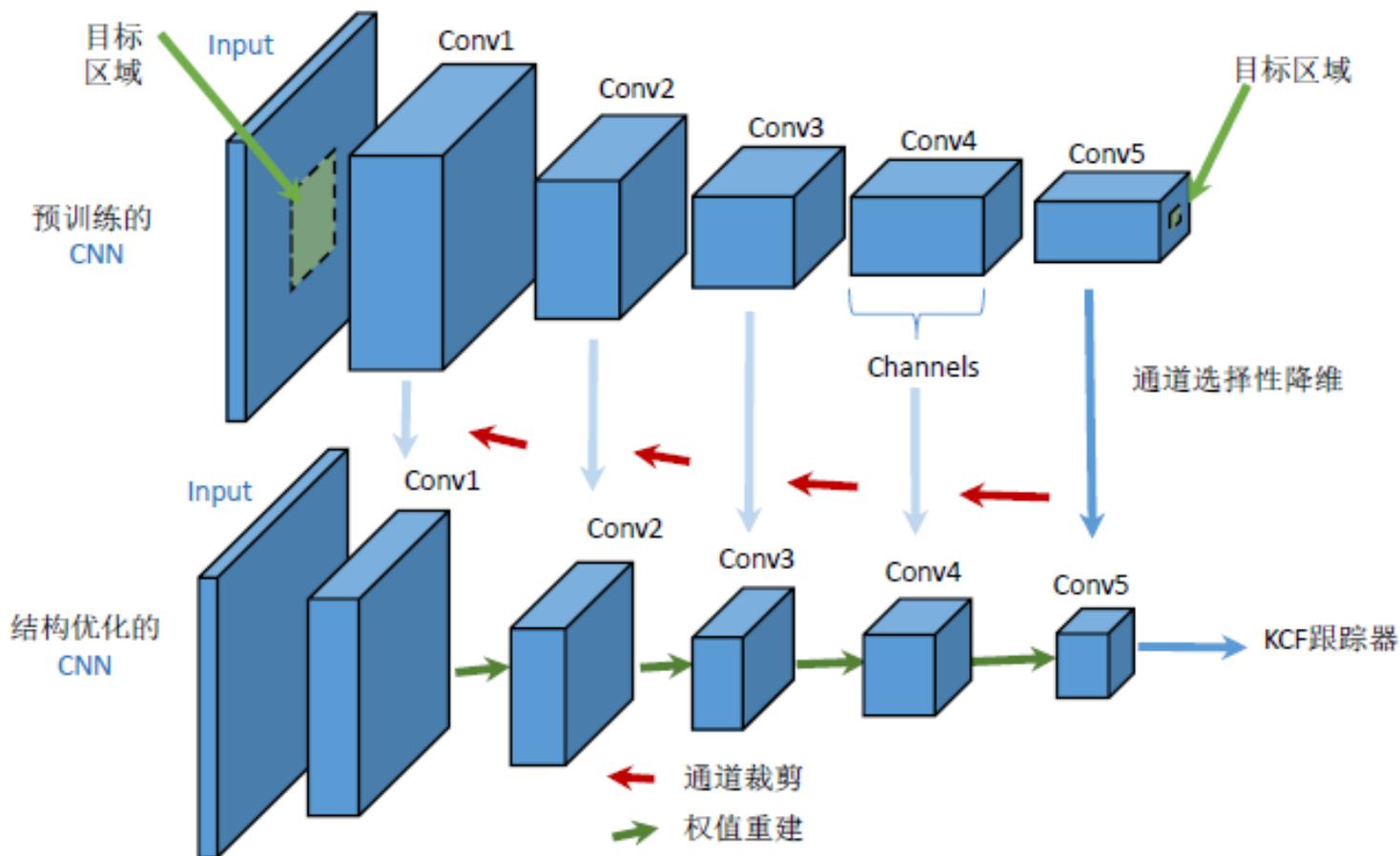


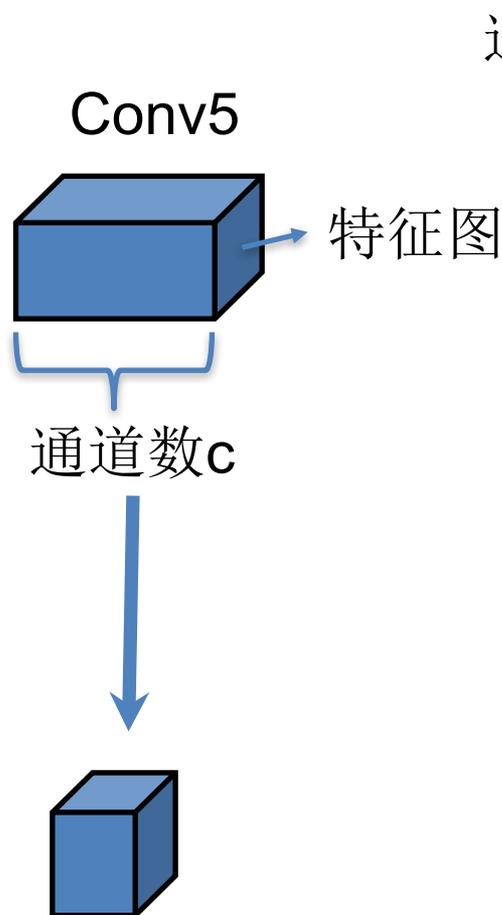
第300帧





第三章：跟踪框架





通道选择参数

$$L(\alpha) = \underbrace{L_{PCA}(\mathbf{X} \text{diag}(\alpha))}_{\text{特征图之间的冗余性}} + \sum_c (1 - \alpha_c) \underbrace{In(\mathbf{x}_c)}_{\text{信息量}} + \alpha_c \underbrace{E(\mathbf{x}_c)}_{\text{跟踪误差}}$$

特征图之间的冗余性

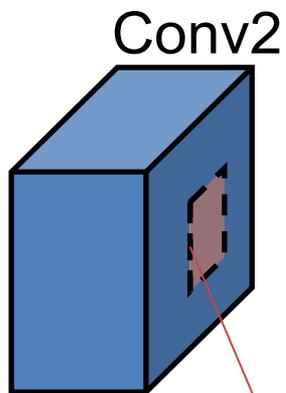
特征图

信息量

跟踪误差

$$In(\mathbf{x}_c) = \|\mathbf{x}_c\|_2^2$$

$$E(\mathbf{x}_c) = \|\mathcal{F}^{-1}\left(\frac{\mathcal{F} \mathbf{y} \mathcal{F}(\mathbf{k}^{x_c^0} x_c^b)}{\mathcal{F}(\mathbf{k}^{x_c^0} x_c^a) + \lambda}\right)\|_2^2$$



$$L_s(\beta, c' | \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{W}) = \left\| \mathbf{Y}^O - \sum_{i=1}^c \beta_i \mathbf{W}_i^T \mathbf{X}_i^O - \mathbf{b} \mathbf{1}_O^T \right\|_F^2$$

目标部分
信息变化量

$$+ \lambda_B \left\| \sum_{i=1}^c \beta_i \mathbf{W}_i^T \mathbf{X}_i^B + \mathbf{b} \mathbf{1}_B^T \right\|_F^2$$

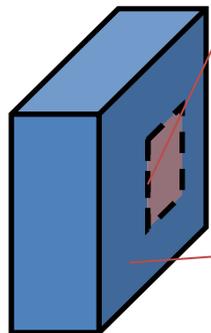
背景部分
信息输出

$$s.t. \|\beta\|_0 \leq c'$$

裁剪通道

目标部分信息

背景部分信息





Conv1

Conv2

Y'

$$L_r(\gamma|X, Y, W) = \sum_{j=1}^{c'_{l+1}} \left\| \mathbf{Y}'_j^O - \sum_{i=1}^{c'_l} \gamma_{ij} \mathbf{W}_{ij}^T \mathbf{X}_i^O \right\|_2^2$$

目标部分信息

恢复目标信息

X

Y

背景部分信息

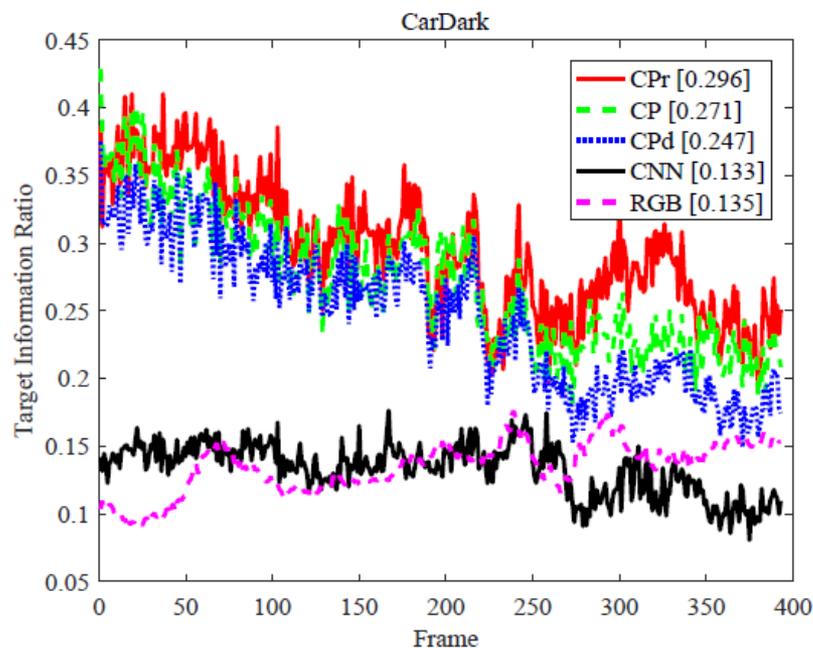
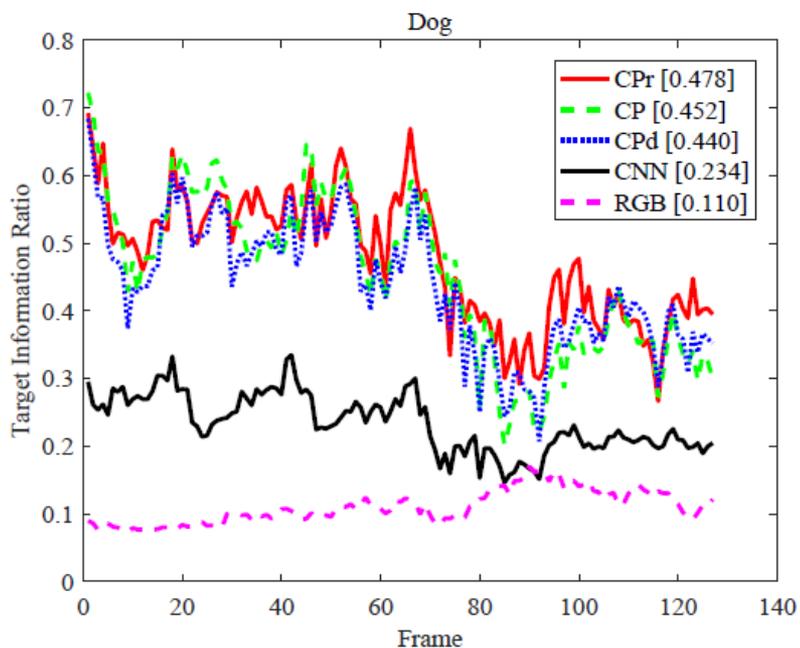


哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

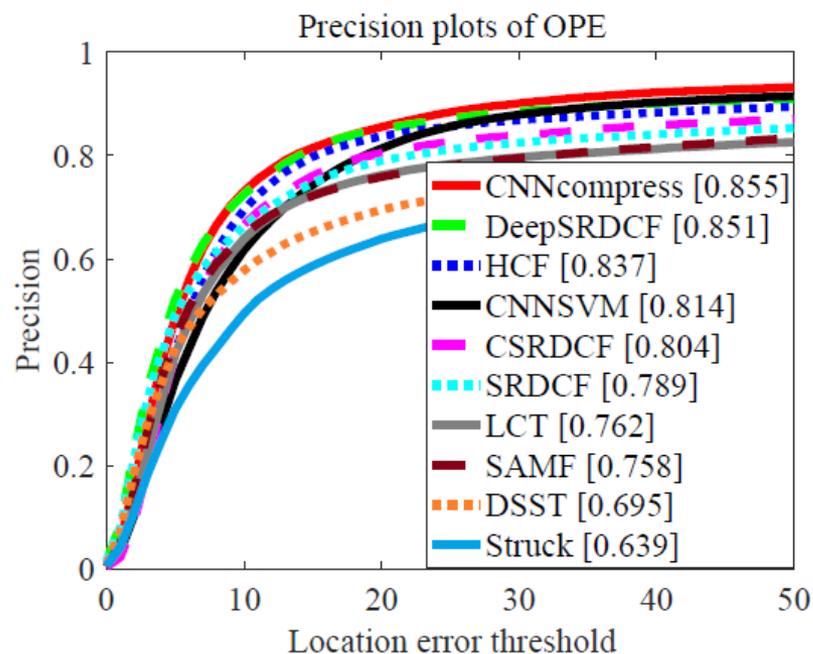
第三章：特征表现力评估





第三章：网络结构优化评估

配置	FLOPs	Params	特征速度 (FPS)	跟踪速度 (FPS)
Ratio/Layer	Ratio	Ratio	(CPU/GPU)	(CPU/GPU)
Base	1	1	5.08/74	2.3/25
0.5/Conv4-3	0.934	0.846	5.29/102	2.59/29
0.75/Conv4-3	0.901	0.768	5.34/144	2.74/34
0.875/Conv4-3	0.884	0.73	5.61/112	2.84/40
0.5/Conv4-2	0.81	0.556	5.89/199	3.01/50
0.5/Conv4-1	0.785	0.498	5.89/183	3.04/48
0.5/Conv3-3	0.785	0.614	5.98/170	3.05/48
0.5/Conv3-2	0.752	0.652	6/158	3.1/46
0.5/Conv3-1	0.785	0.672	5.8/129	3.12/45
0.5/Conv2-2	0.785	0.7	5.96/153	2.98/45
0.5/Conv2-1	0.785	0.715	5.91/170	3.07/45
0.5/Conv1-2	0.785	0.722	6.13/162	3.18/49
0.5/Conv1-1	0.815	0.727	6.29/140	3.11/38
0.25/all	0.502	0.418	7.97/194	4.17/48
0.5/all	0.227	0.192	14.06/183	7.02/52
0.75/all	0.06	0.053	32.86/186	15.2/52





- 压缩网络时抑制背景信息，增强目标信息
- 优化了预训练卷积网络结构，降低网络复杂度的同时增强了特征的表现力，提高了跟踪效率和鲁棒性。

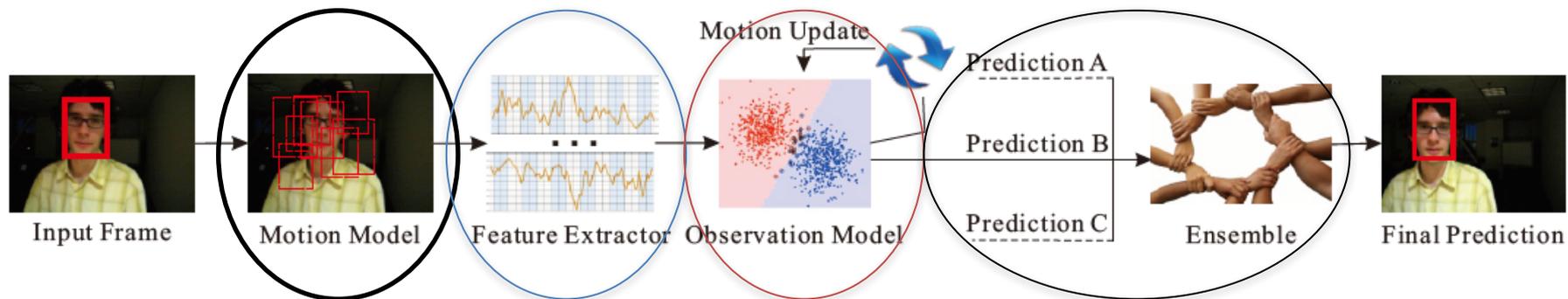


哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

第四章



运动模型

特征提取

观测模型

跟踪预测

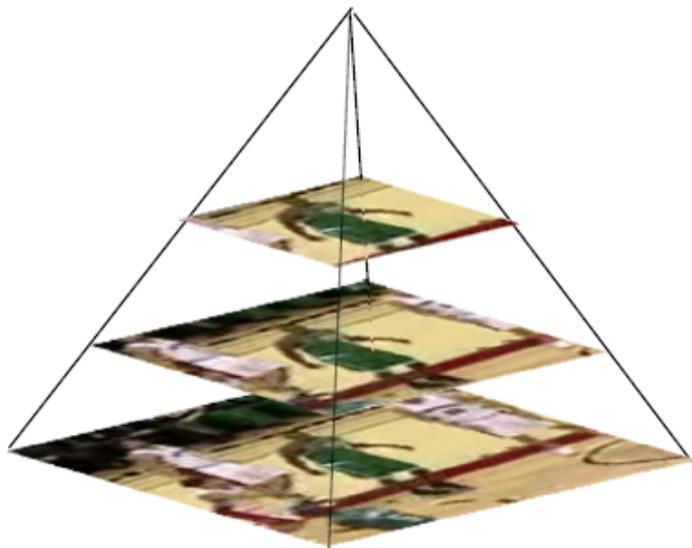
第四章 多层背景自适应 相关滤波观测模型



- 小搜索窗格跟踪准确度高，但在快速运动场景下表现很差，当目标移动到窗格边缘或以外，跟踪器会丢失目标
- 大搜索窗格改善了对快速运动目标的跟踪效果，但也引入了更多的背景，当窗格中出现干扰物体，跟踪易发生漂移



- 充分挖掘目标与背景的潜在联系
 - 提出上下文金字塔目标表示方法，以挖掘更完备的目标与背景的关系
 - 提出上下文自适应空间窗格方法，以自适应抑制背景
 - 提出多层相关滤波联合训练和自适应跟踪方法，以适应环境变化





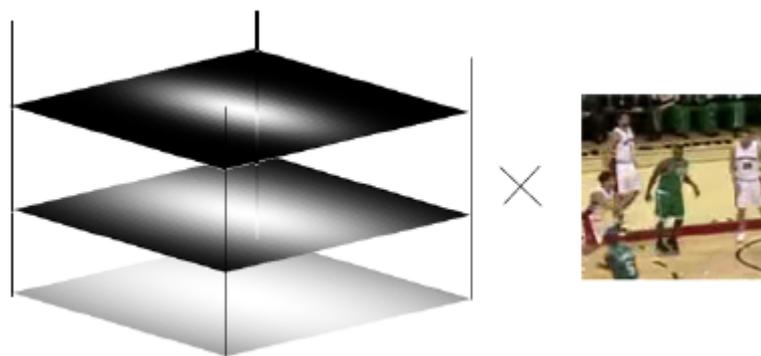
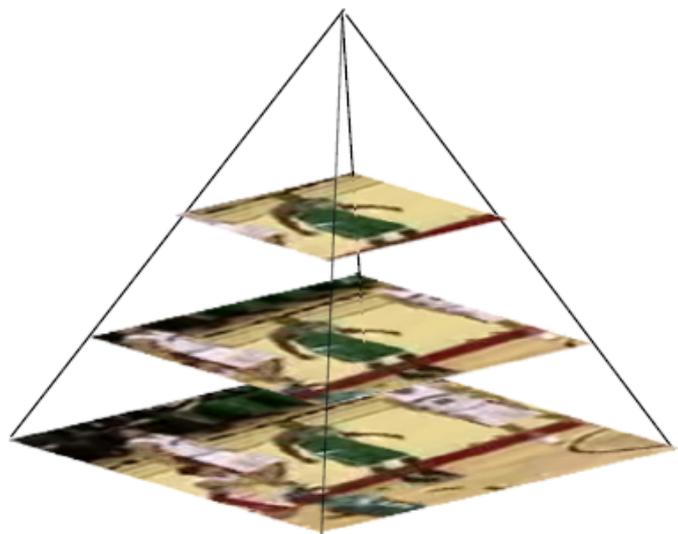
哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

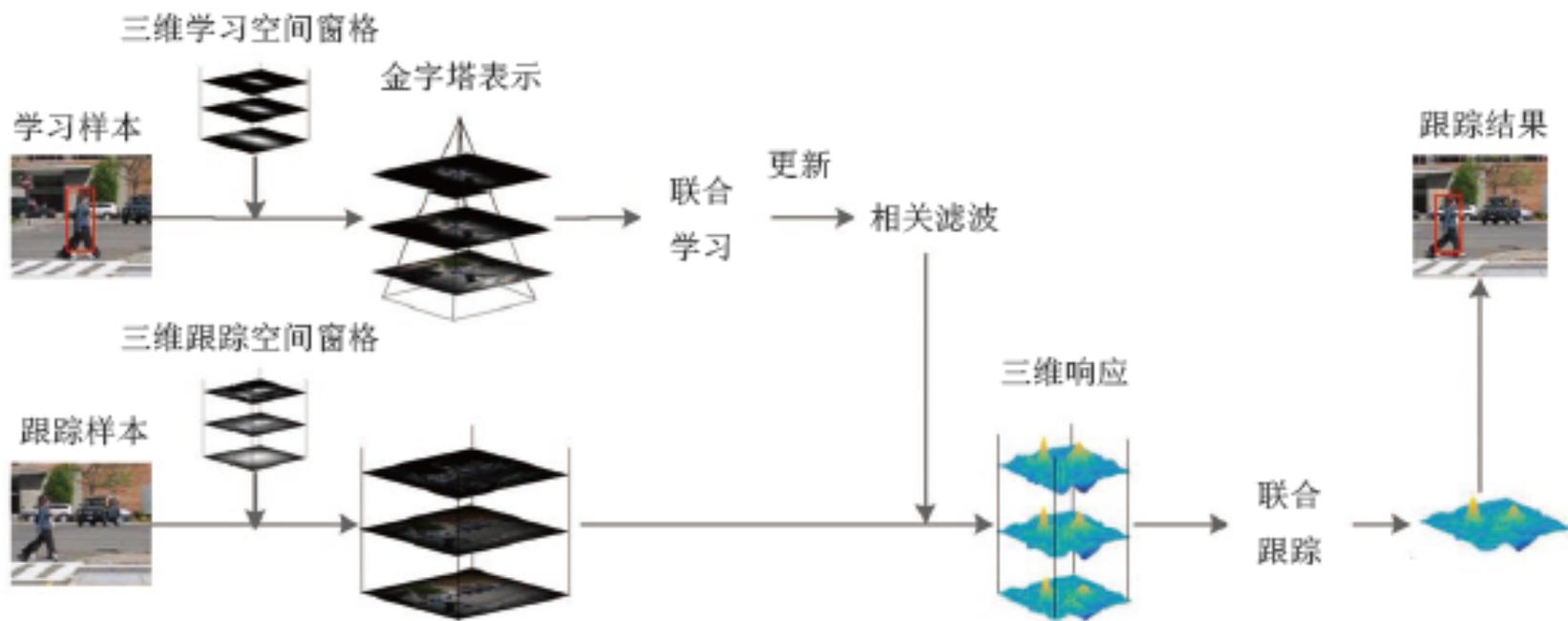
第四章：上下文自适应空间窗格

$$r_i = p_i \odot f, i = 1, \dots, n.$$





第四章：跟踪框架





$$\min_h \left\| g - \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{l=1}^d h_i^l * r_i^l \right\|_2^2 + \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^d \|h_i^l\|_2^2.$$

金字塔各层
响应加权求和

正则项

学习：

$$H_i^l = \frac{\alpha_i \bar{G} R_i^l}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \sum_{k=1}^d \bar{R}_i^k R_i^k + \lambda}, \begin{cases} l = 1, \dots, d \\ i = 1, \dots, n \end{cases},$$

跟踪：

$$Y = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{l=1}^d H_i^l Z_i^l.$$



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

第四章：自适应权值估计方法

背景
干扰



$$\begin{aligned} \min_{\beta} \quad & \sum_{i=1}^n \beta_i L_i + \lambda_L \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i^2}{\alpha_i^2}, \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n \beta_i = 1, \\ & \beta_i \geq 0, i = 1, \dots, n, \end{aligned}$$

目标
变化
剧烈



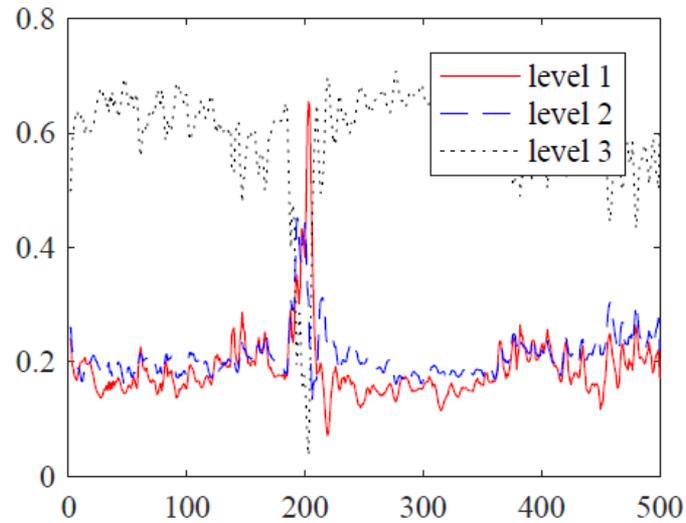


哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

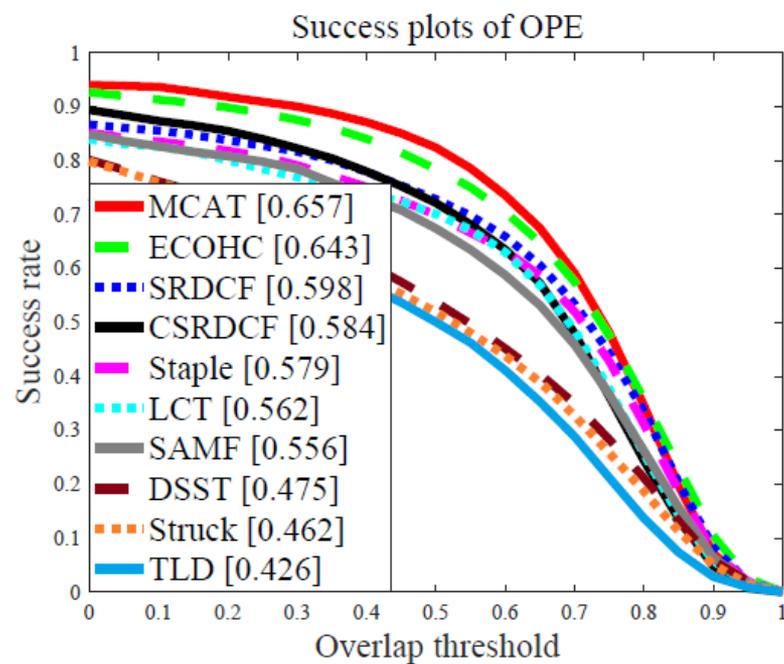
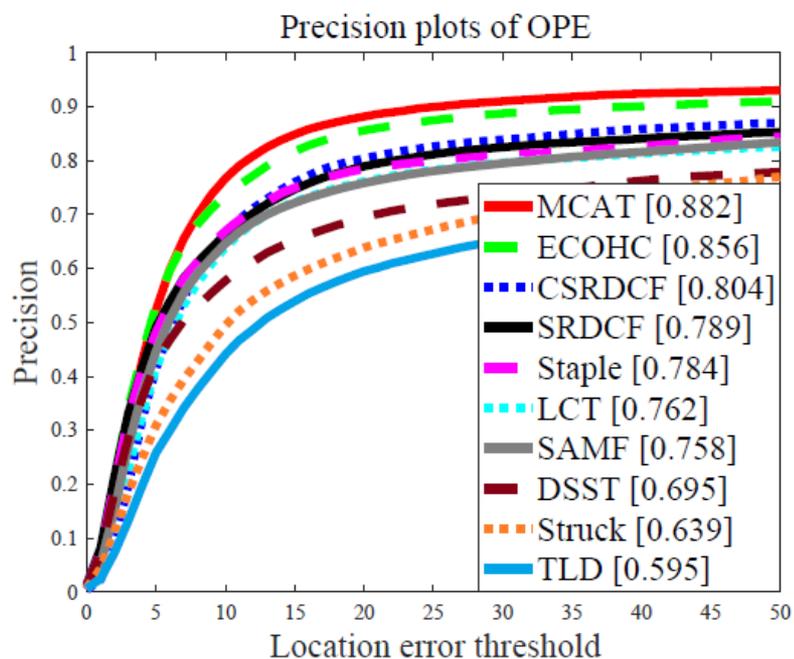
第四章：自适应权值方法评估



a)



b)





第四章：性能对比

	MCAT	ECO	MCPF	DeepSRDCF	HCF	HDT
AUC	0.657	0.694	0.628	0.635	0.562	0.564
DP	0.882	0.91	0.873	0.851	0.837	0.848
	CNNSVM	MDNet	CREST	DNT	PTAV	ADNet
AUC	0.554	0.678	0.623	0.627	0.635	0.646
DP	0.814	0.909	0.837	0.851	0.849	0.88



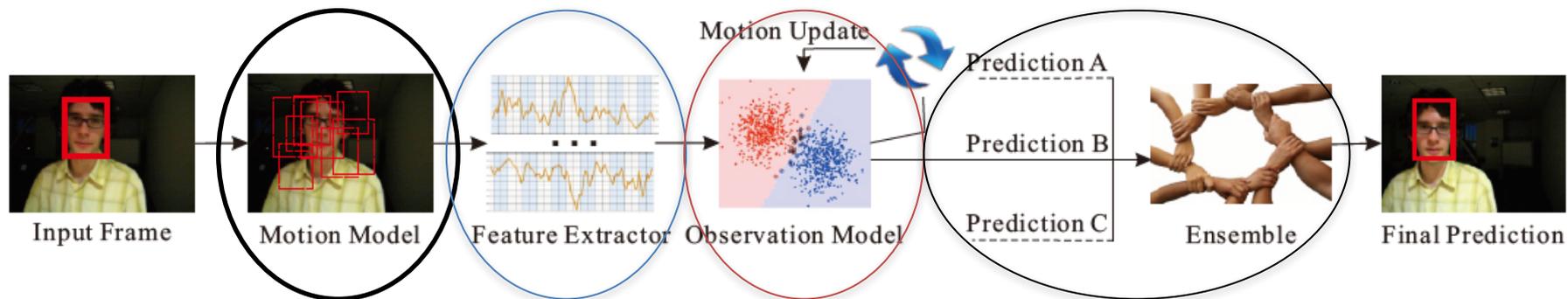
- 上下文金字塔表示比起传统表示能够更好地描述目标与其周围背景之间的关系。
- 三维空间窗格模型能够自适应地构建不同层次的上下文，只需进行一次特征提取。
- 自动分配权值，使金字塔不同层次发挥互补作用。自动感知目标与环境变化，自适应地抑制背景，自适应地利用目标与背景的联系。
- 即使只使用手工特征就能取得与深度学习方法相似的精度。



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家



运动模型

特征提取

观测模型

跟踪预测

第五章

基于背景中辅助目标的跟踪预测方法



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

第五章：辅助目标是广泛存在的

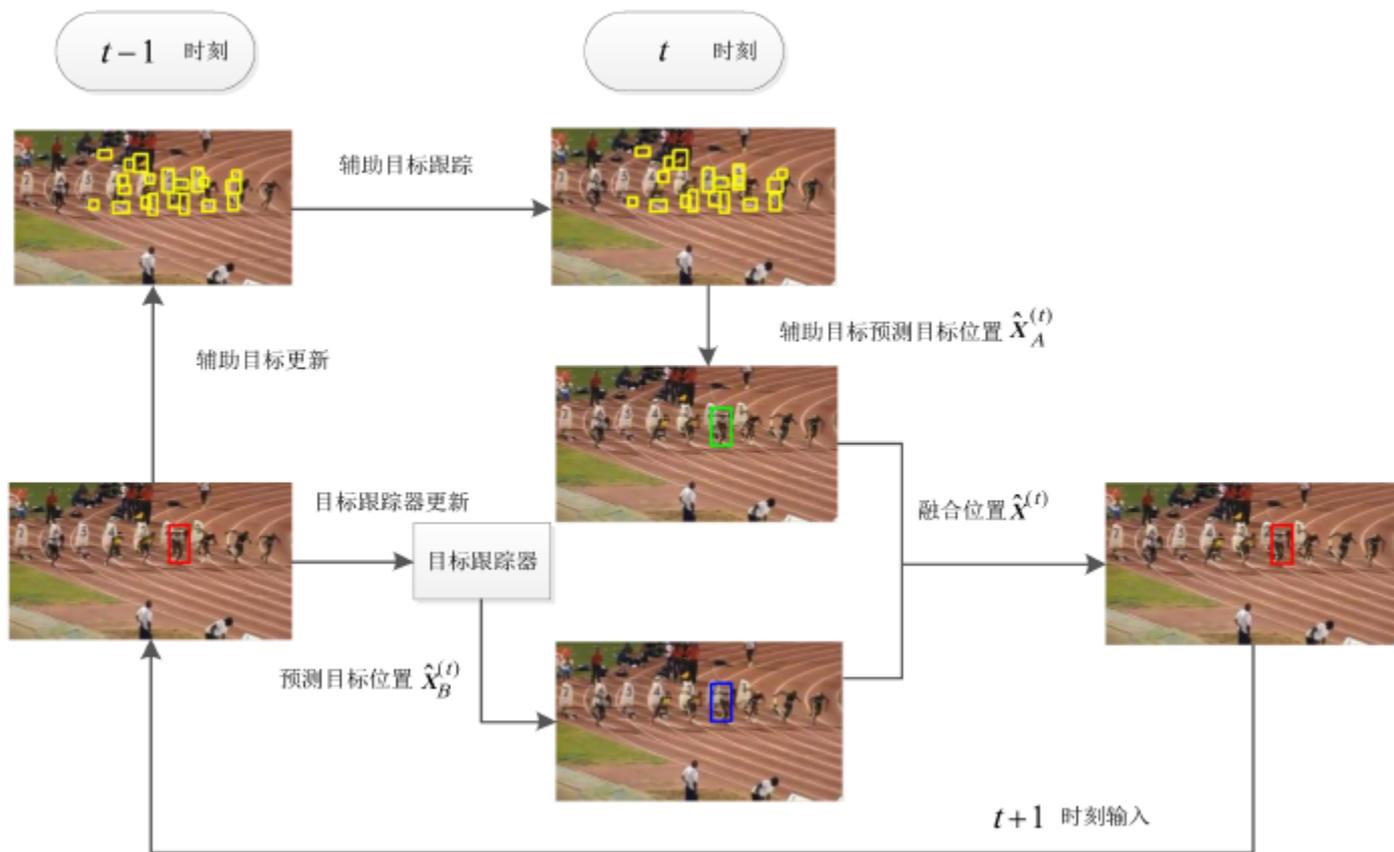




- 从动态背景中挖掘有利信息—辅助目标与目标之间的依赖关系
 - 提出辅助目标选择和跟踪方法，高效筛选辅助目标并跟踪
 - 提出目标与辅助目标运动关系模型，在跟踪过程中挑选与目标运动关系稳定的辅助目标
 - 提出辅助目标与目标融合的跟踪预测方法，利用辅助目标协助预测目标位置



第五章：跟踪框架





运动相关性

$$\hat{x} = x_{A_i} + u_i + v_i + \eta_i$$

目标跟踪器

$$\hat{x}_B^{(t)} = \underset{x \in I^{(t)}}{\operatorname{argmax}} P(x|I^{(t)}, \theta_B^{(t-1)})$$

融合预测

$$\hat{x} = \underset{x \in \operatorname{Region}(x_A, x_B)}{\operatorname{argmax}} P(R_x = O)$$

辅助目标跟踪器

$$\hat{x}_{A_i}^{(t)} = \underset{x \in I^{(t)}}{\operatorname{argmax}} P(x|I^{(t)}, A_i, \theta_{A_i}^{(t-1)})$$

$$P(R_x) = f_{k_R} \sum_{x \in R_x} k_R(x) P(x \in O)$$



辅助目标联合预测

$$\hat{x}_A^{(t)} = \underset{x \in I^{(t)}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^n w_i^{(t)} \|x - \hat{x}_{A_i}^{(t)}\|_2^2$$



辅助目标数量	KCEAOT		PFAOT	
	FPS	CLE	FPS	CLE
0	178.47	329.81	1.96	11.11
1	34.5	120.17	1.85	8.38
5	16.11	7.39	1.8	7.81
10	9.75	6.58	1.62	8.18
20	5.43	7.15	1.51	8.12
40	3.167	6.79	1.25	8.42



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

第五章：性能对比

跟踪器	KCFAOT	KCF	CT	Frag	DFT	IVT	CPF
平均成功率	76.29	68.67	35.16	38.53	34.69	48.89	53.52
平均位置误差	42.56	63.64	90.71	107.77	112.24	97.69	53.39

跟踪器	ASLA	CXT	KMS	L1APG	LOT	TLD
平均成功率	61.06	56.68	42.16	51.65	44.12	53.97
平均位置误差	69.74	69.37	-	92.86	-	-



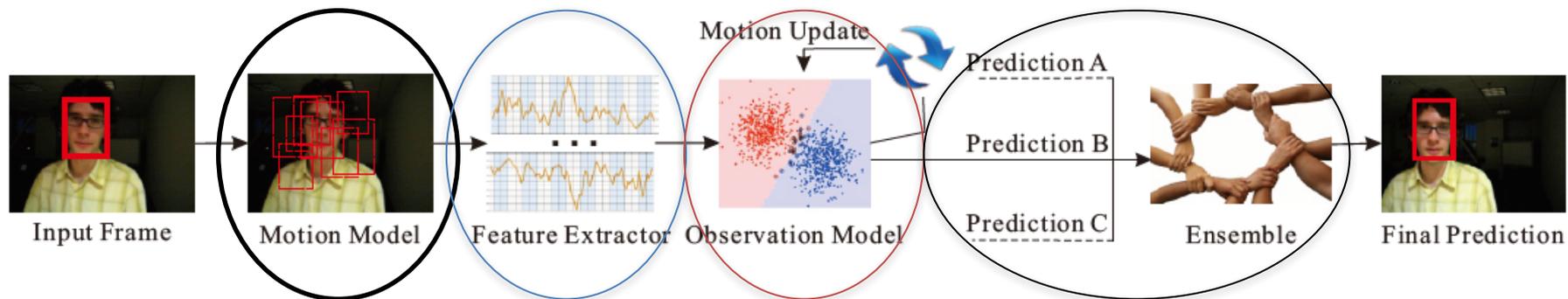
- 基于辅助目标的目标跟踪方法在目标跟踪过程中一直追寻目标周围的背景变化，使方法在复杂环境下具有鲁棒性。
- 辅助目标跟踪器预测结果与目标跟踪器预测结果融合能有效抑制跟踪器漂移。
- 辅助目标在目标跟踪中发挥重要作用，在跟踪预测中利用背景信息是有效的。



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家



运动模型

特征提取

观测模型

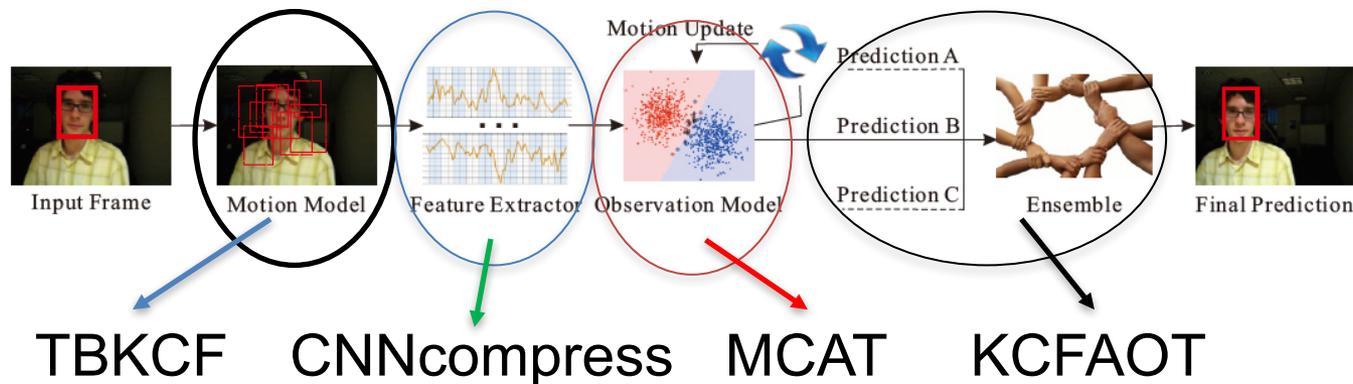
跟踪预测

第六章

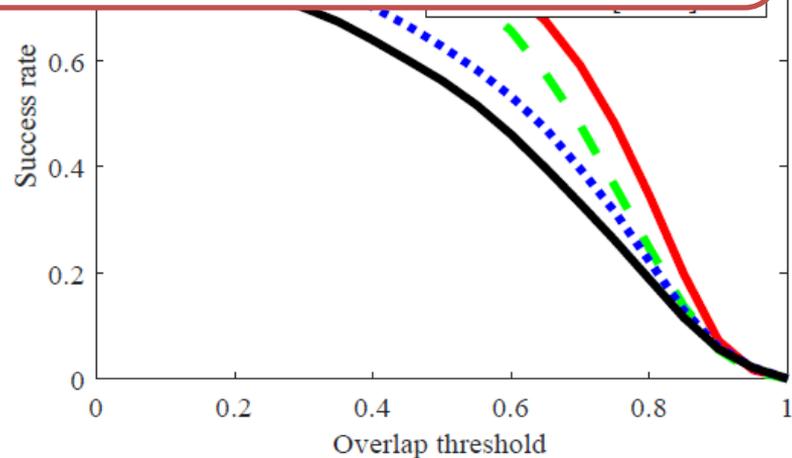
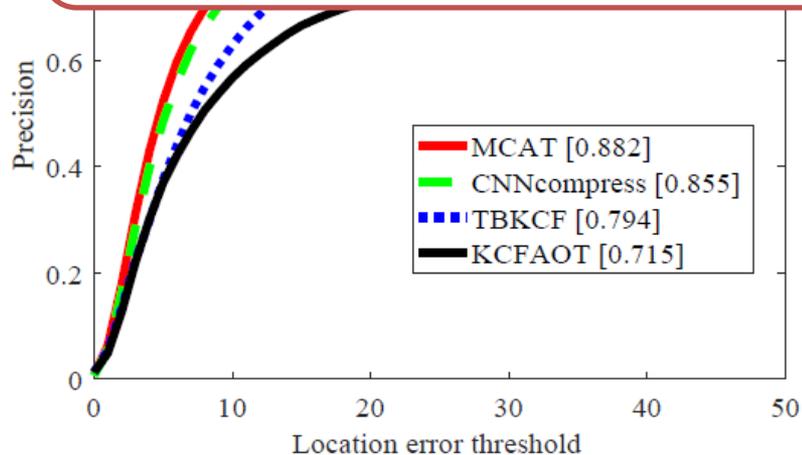
目标跟踪中背景信息抑制与利用方法分析



第六章：跟踪性能比较

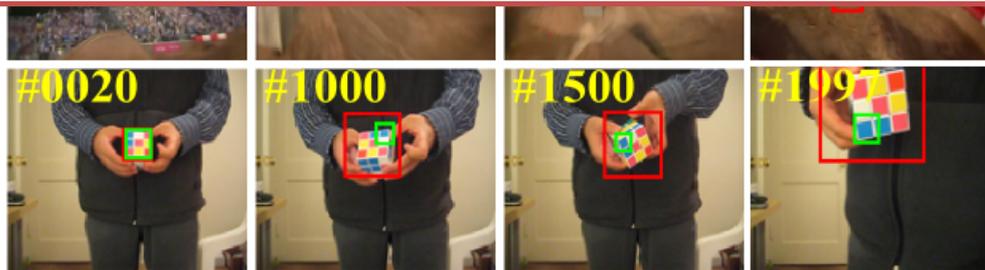


观测模型与特征提取是目标跟踪中最重要的两个环节，在这两个环节中抑制或利用背景能取得较好的跟踪效果。





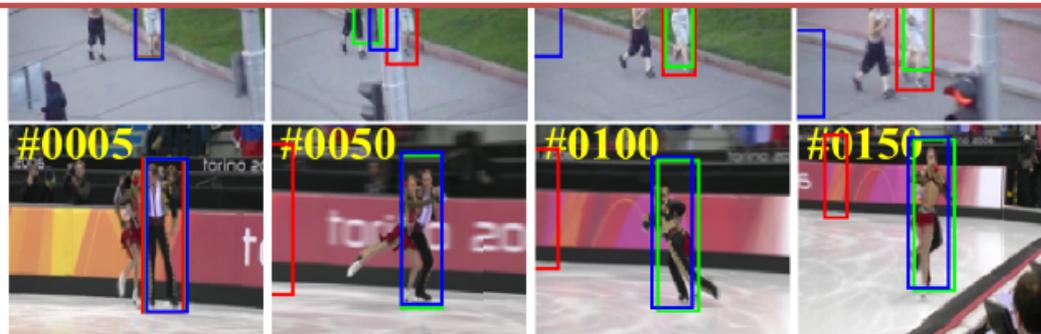
抑制背景信息能提高跟踪方法的拟合能力，适合跟踪当前目标。



— CNNcompress — MCAT



利用背景信息能提高跟踪方法的泛化能力，应对跟踪过程中各种突发挑战，保证长期跟踪的稳定。



— MCAT — TBKCF — KCFAOT



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

第六章：在校园视频监控中的应用

第10帧

第30帧

第100帧

第140帧

第180帧

KCF



MCAT





哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格 严格 功夫 到家

目录





结论

- 提出目标与背景协同建模的长-短期运动模型，解决了快速运动与目标丢失问题
- 提出了结构性优化卷积网络的目标与背景特征提取方法，解决了背景干扰与目标形变问题，并提高了跟踪效率
- 提出了多层背景自适应相关滤波观测模型，改善了目标跟踪中快速运动与背景干扰问题
- 提出了基于背景中辅助目标的跟踪预测方法，改善了目标跟踪中目标形变和目标丢失问题



发表论文情况（已发表）

- **Chang Liu, Peng Liu, Wei Zhao, Xianglong Tang.** Robust Tracking and Redetection: Collaboratively Modeling the Target and Its Context[J]. **IEEE Transactions on Multimedia.** 20(4): 889-902, 2018. (SCI 收录号：000427623000010，IF=3.977，EI 收录号：20174304296727，CCF B 类，对应论文第二章).
- Peng Liu, **Chang Liu,** Wei Zhao, Xianglong Tang. Multi-level context-adaptive correlation tracking[J]. **Pattern Recognition.** 87(1): 216-225, 2019. (SCI 收录号：000453338200018，IF=5.898，EI 收录号：20184305992242，CCF B 类，对应论文第四章).
- Peng Liu, **Chang Liu,** Wei Zhao, Xianglong Tang. Extended Kernelized Correlation Tracking with Target Enhancement and Sample Selection[C]. **Proceedings of 2017 International Conference on Tools with Artificial Intelligence.** 2017: 559-565. (EI 收录号：20182505333785，CCF C 类).
- **刘畅, 赵巍, 刘鹏, 唐降龙.** 目标跟踪中辅助目标的选择、跟踪与更新[J]. **自动化学报.** 44(7):1195-1211, 2018.(EI 收录号：20184105927176，对应论文第五章).



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

发表论文情况（在审）

- **Chang Liu, Peng Liu, Wei Zhao, and Xianglong Tang. Visual Tracking by Structurally Optimizing Pre-trained CNN[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. (SCI 收录，IF=3.558，CCF B 类，对应论文第三章).**



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

规格严格 功夫到家

科研项目及获奖情况

- 国家自然科学基金：随机介质中成像模型和图像恢复方法研究。项目编号：61671175。第六参加人。分工：随机介质图像序列中目标检测与跟踪。
- 空间智能控制技术国家重点实验室开放基金：在轨循环神经网络小天体三维测绘方法研究。第三参加人。分工：地形特征跟踪。
- 中国空间技术研究院空间光电测量与智能感知实验室开放基金：面向下降段导航和定点着陆的小天体视觉测绘规划方法研究。第四参加人。分工：地形识别与跟踪。
- 2014年11月哈尔滨工业大学硕士生国家奖学金
- 2017年11月哈尔滨工业大学博士生国家奖学金



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

規格 嚴格 功夫 到家

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32

谢谢老师!

