

红外视频中的小目标检测

刘宏康

2020 年 6 月

中图分类号： TQ028.1

UDC分类号： 540

红外视频中的小目标检测

作 者 姓 名	刘宏康
学 院 名 称	计算机学院
指 导 教 师	张磊副教授
答辩委员会主席	黄华教授
申 请 学 位	工学硕士
学 科 专 业	计算机科学与技术
学位授予单位	北京理工大学
论文答辩日期	2020 年 6 月

Spatio-temporal Tensor Model for small target detection in infrared videos

Candidate Name:	<u>Liu Hongkang</u>
School or Department:	<u>School of Computer Science</u>
Faculty Mentor:	<u>Assoc. Prof. Zhang Lei</u>
Chair, Thesis Committee:	<u>Prof. Huang Hua</u>
Degree Applied:	<u>Master of Engineering</u>
Major:	<u>Computer Science and Technology</u>
Degree by:	<u>Beijing Institute of Technology</u>
The Date of Defence:	<u>June, 2020</u>

红外视频中的小目标检测

北京理工大学

研究成果声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是我本人在指导教师的指导下进行的研究工作获得的研究成果。尽我所知，文中除特别标注和致谢的地方外，学位论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京理工大学或其它教育机构的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的合作者对此研究工作所做的任何贡献均已在学位论文中作了明确的说明并表示了谢意。

特此申明。

作者签名：_____ 签字日期：_____

关于学位论文使用权的说明

本人完全了解北京理工大学有关保管、使用学位论文的规定，其中包括：①学校有权保管、并向有关部门送交学位论文的原件与复印件；②学校可以采用影印、缩印或其它复制手段复制并保存学位论文；③学校可允许学位论文被查阅或借阅；④学校可以学术交流为目的，复制赠送和交换学位论文；⑤学校可以公布学位论文的全部或部分内容（保密学位论文在解密后遵守此规定）。

作者签名：_____ 导师签名：_____

签字日期：_____ 签字日期：_____

摘要

目标检测是很多应用中重要的组成部分，然而在夜晚或者一些特殊环境下，可见光视频无法提供目标的有效信息，需要通过红外视频进行目标检测与追踪等任务。然而目前的红外视频中的小目标检测算法存在许多不足。首先是在复杂的背景状况下，已有算法检测效果不佳，误报率较高，准确率很低。其次，一些有效的红外视频小目标检测算法，在考虑检测效果的同时会牺牲掉时间效率和计算效率，导致检测算法效率低下，无法达到检测算法的实效性要求。

针对红外视频小目标检测方法在高度复杂的背景状况下，检测效果不佳的问题，分析得到如下两点原因：1) 强边缘的干扰和其他类目标成分的相似性干扰，2) 未能充分利用背景和目标在时间域和空间域内的上下文信息。基于这两点原因，本文提出首先在视频帧中滑动窗口；然后根据当前视频帧图像块与其时空邻域内的图像块组成一个时空立方体，并将时空立方体转换为时空张量模型；进一步，根据目标稀疏先验和背景局部相似性先验，目标-背景分离问题可以转换为低秩-稀疏张量分解问题；最后，张量分解得到的目标张量可以进一步重构为目标图像。实验表明，通过充分利用时空上下文信息，我们提出的检测方法在背景复杂的红外视频中具有更好的检测效果。

针对红外视频中小目标检测算法时间效率较低的问题，并结合本文提出的时空张量模型，本文提出一种基于区域推荐的加速检测算法。首先充分利用小目标在时序上的连续性，根据当前视频帧的预检测结果，为相邻后续视频帧提供搜索区域推荐，减少后续视频帧检测区域；然后，在本文提出的时空张量模型分解中，加入 Anderson Acceleration ADMM 算法，进一步提高时空张量分解速度。经过实验验证，本文提出的基于区域推荐的小目标检测算法，在保持原有效果的同时，时间效率大幅度提升，基本接近实时水平。

关键词：红外视频；小目标检测；时空张量模型；安德森加速；区域推荐

Abstract

Target detection is an important part of many applications. However, at night or in some special environments, visible videos cannot provide effective information about targets. So infrared videos are needed to perform target detection and tracking tasks. However, the existing small target detection methods in infrared videos have many shortcomings. Firstly, under complex background conditions, existing methods have poor detection results, high false alarm rates and low accuracy rates. Secondly, some effective small target detection algorithms in infrared videos, while considering the detection effect, will sacrifice time efficiency and calculation efficiency, resulting in low detection efficiency and failing to meet the practical requirements of detection methods.

Aiming at the problem that small target detection methods in infrared videos have a poor detection effect under highly complicated background conditions, the following two reasons are analyzed: i) interference from strong edges and similar interference from other similar target components; ii) the lack of the context information of both the background and the target in the spatio-temporal domain. By considering these two points, we propose to slide a window in a single frame firstly and form a spatio-temporal cube with the current frame patch and other frame patches in the spatio-temporal domain. Then we transform the cube to a spatio-temporal tensor model. Further, According to the sparse prior of the target and the local correlation of the background, the separation of the target and the background can be cast as a low rank and sparse tensor decomposition problem. Finally, the sparse tensor obtained from tensor decomposition can be further reconstructed into the target image. The experiments show that our method gains better detection performance in infrared videos with highly complex background, by making full use of the spatio-temporal context information.

Aiming at the problem of low time efficiency of small target detection methods in infrared videos, combined with the spatio-temporal tensor model proposed in this paper, we propose an accelerated detection method for infrared small target based on region proposal. Firstly, making full use of the temporal continuity of small targets, search region proposal can be provided for subsequent frames based on the pre-detection results of current frame to reduce the detection area of subsequent frames. Then, the Anderson Acceleration ADMM

algorithm is added in the process of the spatio-temporal tensor decomposition proposed by us to further accelerate the spatiotemporal tensor decomposition. After experimental verification, the small target detection method based on region proposal proposed in this paper maintains the original detection performance while greatly improving the time efficiency, which is basically close to the real-time level.

Key Words: infrared videos; small target detection; spatio-temporal tensor model; anderson acceleration; region proposal

主要符号对照表

BIT	北京理工大学的英文缩写
\LaTeX	一个很棒的排版系统
$\text{\LaTeX 2}_{\epsilon}$	一个很棒的排版系统的最新稳定版
\XeTeX	\LaTeX 的好兄弟，事实上他有很多个兄弟，但是这个兄弟对各种语言的支持能力都很强
ctex	成套的中文 \LaTeX 解决方案，由一帮天才们开发
H_2SO_4	硫酸
$e^{\pi i} + 1 = 0$	一个集自然界五大常数一体的炫酷方程
$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	一个昂贵的生成生命之源的方程式

目 录

摘要	I
Abstract	II
主要符号对照表	IV
第 1 章 绪论	1
1.1 本论文研究的目的和意义	1
1.2 国内外研究现状及发展趋势	1
1.2.1 形状记忆聚氨酯的形状记忆机理	1
1.2.2 形状记忆聚氨酯的研究进展	2
1.2.3 水系聚氨酯及聚氨酯整理剂	2
结论	3
附录 A ***	4
附录 B Maxwell Equations	5
攻读学位期间发表论文与研究成果清单	6
致谢	7
作者简介	8

插 图

图 1.1 热塑性形状记忆聚氨酯的形状记忆机理示意图	1
----------------------------------	---

表 格

表 1.1 水系聚氨酯分类	2
---------------------	---

第 1 章 绪论

1.1 本论文研究的目的和意义

近年来，随着人们生活水平的不断提高，人们越来越注重周围环境对身体健康的影响。作为服装是人们时时刻刻最贴近的环境，尤其是内衣，对人体健康有很大的影响。由于合时时刻刻最贴近的环境，尤其是内衣，对人体健康有很大的影响。由于合成纤维的衣着舒适性、手感性，天然纤维的发展又成为人们关注的一大热点。

... .. [?????]

1.2 国内外研究现状及发展趋势

1.2.1 形状记忆聚氨酯的形状记忆机理

形状记忆聚合物（SMP）是继形状记忆合金后在 80 年代发展起来的一种新型形状记忆材料^[2]。形状记忆高分子材料在常温范围内具有塑料的性质，即刚性、形状稳定恢复性；同时在一定温度下（所谓记忆温度下）具有橡胶的特性，主要表现为材料的可变形性和形变恢复性。即“记忆初始态 - 固定变形 - 恢复起始态”的循环。

固定相只有物理交联结构的聚氨酯称为热塑性 SMPU, 而有化学交联结构称为热固性 SMPU。热塑性和热固性形状记忆聚氨酯的形状记忆原理示意图如图 1.1 所示

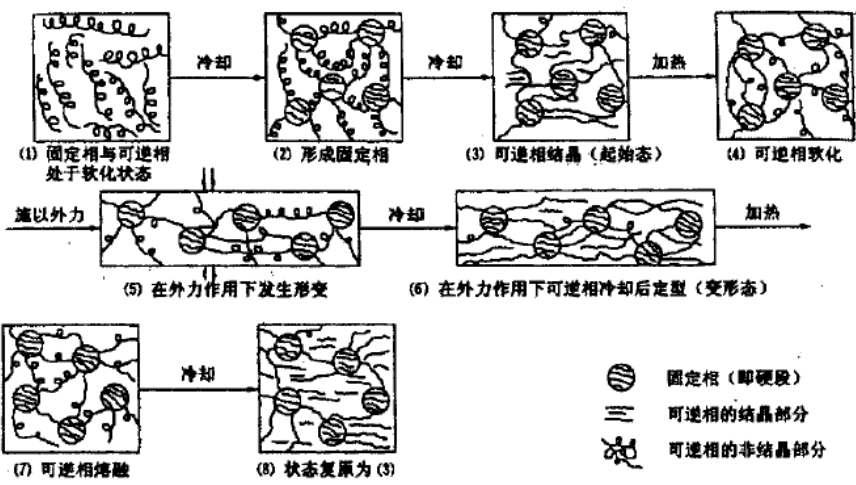


图 1.1 热塑性形状记忆聚氨酯的形状记忆机理示意图

表 1.1 水系聚氨酯分类

类别	水溶型	胶体分散型	乳液型
状态	溶解 ~ 胶束	分散	白浊
外观	水溶型	胶体分散型	乳液型
粒径 / μm	< 0.001	0.001 – 0.1	> 0.1
重均分子量	1000 ~ 10000	数千 ~ 20万	> 5000

1.2.2 形状记忆聚氨酯的研究进展

首例 SMPU 是日本 Mitsubishi 公司开发成功的……。

1.2.3 水系聚氨酯及聚氨酯整理剂

水系聚氨酯的形态对其流动性，成膜性及加工织物的性能有重要影响，一般分为三种类型^[2]，如表 1.1 所示。

由于它们对纤维织物的浸透性和亲和性不同，因此在纺织品染整加工中的用途也有差别，其中以水溶型和乳液型产品较为常用。另外，水系聚氨酯又有反应性和非反应性之分。虽然它们的共同特点是分子结构中不含异氰酸酯基，但前者是用封闭剂将异氰酸酯基暂时封闭，在纺织品整理时复出。相互交联反应形成三维网状结构而固着在织物表面。……

结论

本文采用……。 (结论作为学位论文正文的最后部分单独排写，但不加章号。结论是对整个论文主要结果的总结。在结论中应明确指出本研究的创新点，对其应用前景和社会、经济价值等加以预测和评价，并指出今后进一步在本研究方向进行研究工作的展望与设想。结论部分的撰写应简明扼要，突出创新性。)

附录 A ***

附录相关内容…

附录 B Maxwell Equations

因为在柱坐标系下, $\bar{\mu}$ 是对角的, 所以 Maxwell 方程组中电场 \mathbf{E} 的旋度
所以 \mathbf{H} 的各个分量可以写为:

$$H_r = \frac{1}{\mathbf{i}\omega\mu_r} \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \theta} \quad (\text{B-1a})$$

$$H_\theta = -\frac{1}{\mathbf{i}\omega\mu_\theta} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad (\text{B-1b})$$

同样地, 在柱坐标系下, $\bar{\epsilon}$ 是对角的, 所以 Maxwell 方程组中磁场 \mathbf{H} 的旋度

$$\nabla \times \mathbf{H} = -\mathbf{i}\omega\mathbf{D} \quad (\text{B-2a})$$

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right] \hat{\mathbf{z}} = -\mathbf{i}\omega\bar{\epsilon}\mathbf{E} = -\mathbf{i}\omega\epsilon_z E_z \hat{\mathbf{z}} \quad (\text{B-2b})$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} = -\mathbf{i}\omega\epsilon_z E_z \quad (\text{B-2c})$$

由此我们可以得到关于 E_z 的波函数方程:

$$\frac{1}{\mu_\theta\epsilon_z} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{\mu_r\epsilon_z} \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \theta^2} + \omega^2 E_z = 0 \quad (\text{B-3})$$

攻读学位期间发表论文与研究成果清单

- [1] 高凌. 交联型与线形水性聚氨酯的形状记忆性能比较 [J]. 化工进展, 2006, 532 - 535. (核心期刊)

致谢

本论文的工作是在导师……。

作者简介

本人…。