

基于一致性特征点匹配的目标跟踪算法实现

罗子安 毛 征 孟 灿 刘松松

(北京工业大学电子信息与控制工程学院 北京 100124)

摘 要:在复杂背景环境下针对自由模型目标在随机速度时的跟踪技术是计算机视觉研究领域的一项重要课题。其难点在于在复杂背景和运动方式中如何准确且合理的提取既定目标的特征点。本文提出一种基于一致性特征点匹配跟踪算法,通过长效自由模型目标跟踪,实现对于地面刚性目标物体在随机速度时,通过光线变化区域、部分遮挡区域、目标自身转弯或旋转、采集设备对目标尺度缩放情况下的稳定跟踪问题。该算法经数据集测试结果表明,其能够在上述情况下,实现对标定目标的稳定跟踪,并具有一定的实时性。

关键词:目标跟踪;一致性特征点;长效自由模型

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

Based on consensus feature point matching of object tracking algorithm

Luo Zi'an Mao Zheng Meng Can Liu Songsong

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In the complex background environment, the tracking technique for the target of model-free model is an important subject in the field of computer vision research. The difficulty lies in how to accurately and reasonably extract the keypoints of the set target in the complex background and the movement way. In this paper, a consistent feature points based on matching tracking algorithm, through long-term model-free model of target tracking, the rigid target objects on the ground in the random velocity, through light change area, partial occlusion target area, object turning or rotating, acquisition device on the target scaling case stabilization and tracking problems. The test results show that the algorithm can achieve the stable tracking of the calibration target in the above circumstances, and it has a certain real-time performance.

Keywords: object tracking; consistency feature points; long-term model-free model

1 引 言

如何在相对复杂的地面背景环境下,实现针对既定目标的跟踪,是计算机视觉领域在针对地面机动目标研究中的重要课题。其难点在于在复杂背景中准确且合理的提取标定目标的特征点,在实际环境中,除了视频采集设备对比度调节、光照等因素对目标跟踪效果产生的影响外,还会因地面植被或建筑物产生遮挡、目标自身转向和部分旋转以及目标尺度变化对跟踪效果产生影响。针对以上问题,众多国内外学者进行了大量的研究和实验,提出众多算法及解决方案,例如:多模子匹配算法^[1-2]、尺度不变特征变换不变算法^[3]、基于特征匹配算法^[4]等。本文将提出一种基于长效自由模型一致性特征点目标跟踪算法,来

满足以上提出的各项需求。近年来,BRISK^[5]特征点匹配算法和 FAST^[6-7]特征点匹配算法的出现极大地降低了匹配相应关键点的负担,允许在实时追踪系统中使用关键点^[8]。这种跟踪方法适用多种场合下的多种目标形态,其重要的特点是可以跟踪那些在不定时间部分消失的目标^[9],无需再次初始化,就能解决目标的长效跟踪^[10]。

本文所提到的算法拥有以下优点:1)使用特征点为基础,每一帧图像中,相应的特征点通过匹配和追踪找到;2)基于坐标体系,考虑当前特征点的集合分布,针对目标的转向和旋转进行跟踪;3)由于自由模型的应用,能够适合更加多的场景和目标物体,对于机动目标的跟踪拥有较高的适用性及长效性;4)在一定程度上减少视频跟踪中单帧耗时。

收稿日期:2016-05

2 BRISK 特征描述

BRISK 特征描述算法是一种基于 FAST 特征点匹配算法的升级,将 FAST 特征点匹配扩展到尺度空间中,基于上述基础来提取特征点和二进制字符串表示的特征点描述。相较于 SIFT 算法,其具有更高的匹配精度和实时运算速度。

BRISK 算法主要有以下 3 个步骤:1)角点检测;2)特征描述;3)特征匹配。首先,根据图像建立尺度空间金字塔,并通过 AGAST(adaptive and generic accelerated segment test)匹配算子提取连续尺度空间中亚像素精度的稳定极值点。然后利用局部图像邻域内随机采样点对灰度大小关系建立局部图像的二值特征描述。最后使用汉明距离进行特征匹配。

AGAST 匹配是将 FAST 角点匹配进行改进的一种匹配算法。依据图像的显著特征如果在平面连续,那么其在尺度空间也应连续。因此,对连续尺度空间进行非极大值抑制,剔除不稳定的极值点。最终得到在连续尺度空间中具有亚像素级且定位稳定的极值点。

BRISK 特征描述采用自定义邻域采样,如图 1 所示,即以特征点为中心的 40×40 像素块内构建多个同心圆,采样点等间距分布在圆周上,共计 60 个采样点。

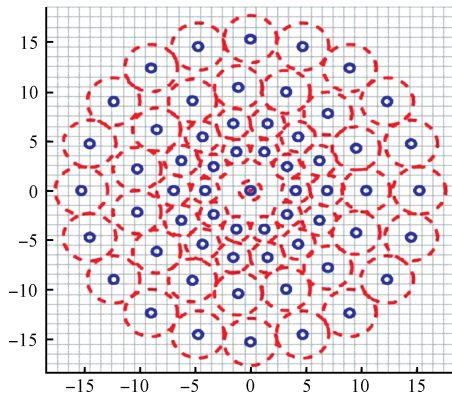


图 1 BRISK 邻域采样模式

3 一致性变换特征点匹配

本文涉及算法,在视频图像序列首帧进行手动标定,标记跟踪目标。对标记范围内图像建立一致性特征点,然后将平面图像空间中的特征点坐标,转换到尺度空间,计算目标在运动过程中,尺度变化及旋转变化。

规定图像序列为 I_t ,图像序列首帧图像 I_1 ,手动标记区域为 b_1 。目标物体使用 O (Object)表示,关键点使用 K (Keypoint)表示,目标位置使用 P (Position)表示,跟踪过程使用 T (tracking)表示,投票使用 V (vote)表示。

3.1 关键点的匹配和跟踪

将目标模型建立在一组特征点基础上,标记并验证目标,如式(1)所示:

$$O = \{(r_i, f_i)\}_{i=1}^{N^o} \quad (1)$$

式中:每一个关键点表示一个模板坐标中的一个位置 $r \in R^2$ 和一个描述子 f_i 。该描述子由一组二进制数构成。描述在图像序列首帧 I_1 中手动标记区域 b_1 的关键点位置信息,针对目标 O 进行初始化。对于每个图像序列 I_t ,当 $t \geq 2$ 时,会产生一组相应的关键点,得到关键点 K_t 如式(2)所示:

$$K_t = \{(a_i, m_i)\}_{i=1}^{N^k} \quad (2)$$

式中: a_i 指图像坐标中关键点的位置, m_i 指相应 O 中的关键点数值。通过匹配和追踪关键点,按照 2 个补充策略找到 K_t 的值。可将关键点描述表述如式(3)所示:

$$P = \{(a_i, f_i)\}_{i=1}^{N^p} \quad (3)$$

式中:图像序列 I_t 中目标位置 P 定位由关键点位置 a_i 和关键点描述子 f_i 决定。对每一个候选关键点,计算其间的汉明距离,如公式(4)所示:

$$H(f_i, f_j) = \sum_{i=j=1}^{N^p} \text{XOR}(f_i, f_j), i \neq j \quad (4)$$

对于目标的跟踪方面,采用 L-K 稀疏光流算法的图像金字塔的方法计算关键点 K_{t-1} 中从 I_{t-1} 到 I_t 每个关键点的位移。

从图像序列的第二帧开始,针对目标可能产生的旋转情况,进行图像平面坐标到尺度空间坐标的转换。坐标转换中,通过手动标定的区域中,包含两类关键点信息:一类是需要跟踪的主体目标,一类是手动标记区域中其他不相关目标,这两类目标共同构成了新的关键点信息 K' 。此过程中,所涉及到的关键点位置相关信息更新和主要目标关键点判别的方法在下节中阐述。

3.2 投票法

为了定位目标,每个特征点 (a_i, m_i) 在 K' 中都有单一的投票值 $h(a_i, m_i) \in R^2$ 作为目标的中心,产生一组选票,如式(5)所示:

$$V = \{h(a_i, m_i)\}_{i=1}^{N^v} \quad (5)$$

针对标定区域中待选目标每一组选票,其基础变化默认为只有针对位置的平移变化,即目标只有在平面产生具有相对速度的简单运动,没有对目标缩放或目标自身旋转,如式(6)所示:

$$h^T(a, m) = a - r_m \quad (6)$$

式中: a 为关键的初始位置, r_m 为关键点的相对位移。

当目标在运动过程中,因采集设备针对目标进行缩放,就产生了目标的尺度变化,尺度变化量记为 s 。则式(6)针对尺度变化生成式(7),如下所示:

$$h^S(a, m) = a - s \cdot r_m \quad (7)$$

为了计算 s 值,依靠欧几里得算法计算 K' 中的 a_i 和 a_j 间的距离,并且与相应关键点 r_{m_i} 及 r_{m_j} 在目标 O 中的值比较。让 $a^{i,j} = a_i - a_j$, 并且 $r^{i,j} = r_{m_i} - r_{m_j}$, 然后所有个体变化比例分布如式(8)所示:

$$D_i = \left\{ \left\| \frac{a^{i,j}}{r^{i,j}} \right\|, i \neq j \right\} \quad (8)$$

这一分布的中位数值 $s = \text{med}(D_s)$ 是一个合适的缩放比例估值,对异常值具有鲁棒性。

当目标进行一个平面旋转时,选票也相应的要旋转,以便能够一直对准目标中心。通过式(7),产生新的式(9):

$$h^R(a, m) = a - s \cdot Rr_m \quad (9)$$

式中: R 是一个 2D 的旋转矩阵,如式(10)所示:

$$R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (10)$$

如图 2 所示为在图像序列首帧进行初始化的投票向量,该投票只出现在第一帧里。根据当前关键点集群位置投票比例变化,旋转。

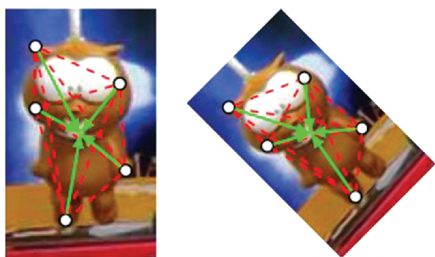


图 2 图像序列首帧进行特征点集群投票

通过分析关键点间相对于它们初始集群的角度改变,可绘制如图 3 所示的角度变化,采用了 $\arctan 2$ 功能,如式(11)所示:

$$\alpha_{i,j} = \arctan 2(a_y^{i,j}, a_x^{i,j}) - \arctan 2(r_y^{i,j}, r_x^{i,j}) \quad (11)$$

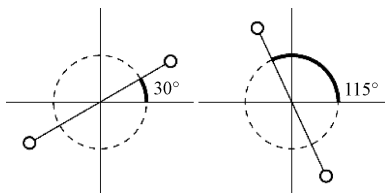


图 3 特征点之间角度变化

从所有的成对角度变化的分布中,得到目标旋转的估计值,如式(12)所示:

$$D_a = \{\alpha_{i,j}, i \neq j\} \quad (12)$$

3.3 一致性

不管什么时候,目标的初始位置 a 或者 K' 中的模型指数 m 出错的话,投票将不会对准目标中心,而是指向图像的任意位置。在计算目标中心 μ 之前,首先要消除选定区域中非主体目标的影响,通过进行如图 4 所示的投票,选出主体目标。

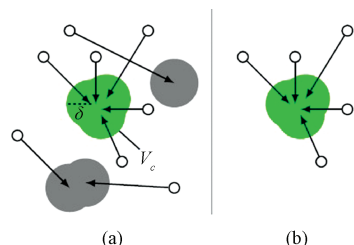


图 4 找到投票行为的一致性

如图 4(a)所示,投票行为基于欧几里得距离聚类,中止阈值 δ 。一致性聚类值 V_c 基于投票最高值确定。如图 4(b),

保留关键点投票值的一致性聚类,移除其他所有的关键点。

针对于本文,每一选票中包含目标的所有特征点信息、目标缩放比例信息及旋转信息,从中选取只属于或极大属于主体目标的相关信息。根据以上需求,选择 K-均值分层聚类方法,计算现有特征点间两两点的欧几里得距离,同时,定义一个终止阈值 δ 。在这类性的聚类中,数据根据一个近似矩阵,通过分层的结构组织,造成了一个树状图,在特定的阈值去掉。因此,选票 V 被分割为不相交自己 V_1, \dots, V_m 。这个子集包含最大数量的一致性聚类 V_c 和 K_i 组到 K' 子集。选取本文中将聚类投票变为一个目标的估计值,如式(13)所示:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^c \quad (13)$$

式中: μ 为目标中心, n 为某一个聚类集中特征点个数。然后使用缩放比例 s 和旋转比例 a 定义目标姿态,从特征点中随机选取多个点,构成 $C_i = C_1, C_2, \dots, C_n, i = 1, 2, \dots, n$, 形成一个聚类集合。通过一个不可逆计算,得出主体目标,如式(14)所示:

$$C'_i = \mu + s \cdot R C_i \quad (14)$$

式中: R 是公式(10)中的矩阵旋转角。

3.4 算法流程

给定一个图像序列 I_1, \dots, I_t , 标定区 b_1 在 I_1 中, 目标是在每个序列的每一帧中重新获得目标或者指出目标不可见。如果目标中心为 μ , 估计目标姿态, 其比例 s 和平面旋转角 a , 其中 s 和 a 根据目标初始表现估计。下面, 给出基于一致性特征点匹配的算法步骤, 应用此步骤可以进行特征点的描述和跟踪。如表 1 所示。

表 1 一致性变换特征点匹配算法步骤

算法: 一致性特征点匹配算法步骤:

输入: I_1, \dots, I_t, b_1
输出: b_2, \dots, b_n
1: $O \leftarrow$ 标记检测(I_1, b_1)
2: $K_1 \leftarrow O$
3: for t_2, \dots, t_n do
4: $P \leftarrow$ 检测(I_t)
5: $M \leftarrow$ 匹配(P, O)
6: $T \leftarrow$ 跟踪(K_{t-1}, I_{t-1}, I_t)
7: $K' \leftarrow T \cup M$
8: $s \leftarrow$ 预计缩放比例(K', O)
9: $a \leftarrow$ 预计旋转比例(K', O)
10: $V \leftarrow$ 投票(K', O, s, a)
11: $V_c \leftarrow$ 一致性(V)
12: $K_t \leftarrow$ 投票(V_c)
13: if $ V_c \geq 0 \cdot N^0$ then
14: $\mu \leftarrow \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^c$
15: $b_t \leftarrow$ bounding_box(b_1, μ, s, a)
16: else
17: $b_t \leftarrow \varphi$
18: end if
19: end for

4 实验

本文所提出的算法,要在目标物体经历光线变换,部分遮挡,旋转及微小形变的情况下,能够稳定跟踪为目的。为此,从公共数据集及自行拍摄地面目标视频中选取多个不同的目标,涵盖多种类型。以此来验证本文所提出算法的跟踪性能,并对算法运行过程中的单帧耗时等相关信息进行记录。

与其他跟踪方法定量比较,比如 TLD, HT(霍夫追踪)。从各项目网站上获得这些追踪系统源代码并把各项参数设置为默认值。具体数据将在本节后面篇幅具体展示。

本文中算法实验环境基于 Windows7 系统, Visual Studio 2013 编译平台及 OpenCV2. 4. 9 图形库,使用 Benchmark 公共数据集中 CAR、Carscale、Liquor、SUV 数据,因本数据集中数据由图片形式给出,首先将同一相关内容的图像通过附加程序合成为视频文件,再在本文所提出算法环境下进行相关实验。除上述图像外,其他视频文件来自实验室自行拍摄视频,此部分视频文件包含实验室内拍摄分辨率为 384×288 的 TANK1 视频、分辨率为 $1\,600 \times 1\,200$ 的 TANK2、TANK3 视频,两视频区别在于 TANK3 视频经历自身短时间内大角度转弯和自身部分旋转。TANK4 视频为目标在短距离短时间内经历连续两次部分遮挡区域。基于上述数据,验证章节算法是否能够稳定跟踪。

视频在输入系统后,将在首帧进行跟踪目标标记,标记后开始跟踪目标,跟踪效果视频截图如图 5 所示。由图可看出:本文所提出的一致性特征匹配算法,在对公共数据集和自行拍摄数据的跟踪效果比较稳定,能够在目标物体通过光线变化区域、部分遮挡区域、目标自身大角度转弯和自身部分旋转的区域,以及图像采集设备自身针对目标缩放的情况下,能够对目标跟踪保持鲁棒性。

在跟踪过程中,实时记录每帧的平均耗时,如表 2 所示,每一组实验,使用本文提出的算法和对比算法进行 10 次实验,记录每次每组实验中每帧图像的处理时间,再根据记录的处理时间,求得该组实验的平均单帧耗时,单位为 ms。

表 2 平均单帧耗时 (ms)

	TLD	HT	一致性特征
SUV	41	30	20
CarScale	48	Null	31
CAR	45	31	19
Liquor	46	Null	21
TANK1	36	38	20
TANK2	86	68	34
TANK3	46	Null	39
TANK4	42	Null	41

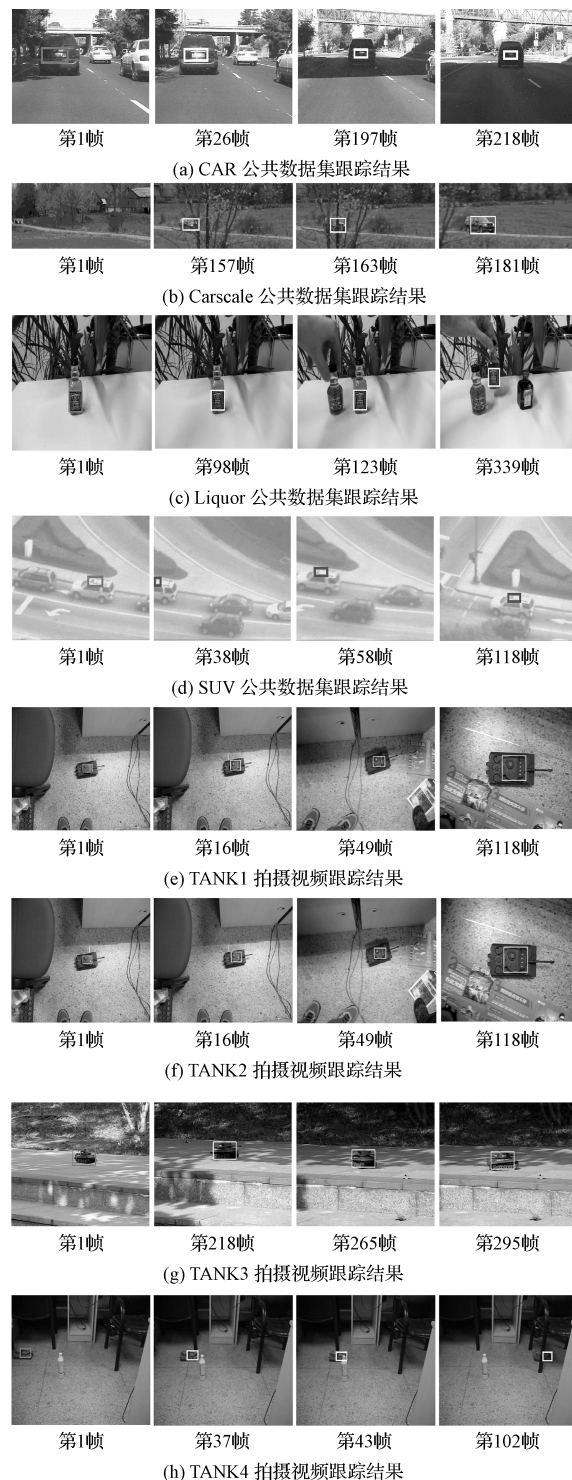


图 5 跟踪效果展示

由上表可看出:本文提出的算法在跟踪过程中的平均单帧耗时上略微优于对比算法,针对光线变化、部分遮挡、目标自身转弯旋转及尺度缩放具有一定的鲁棒性。其中 Null 表示为在平均 10 次的跟踪实验中,超过 5 次出现目标跟踪丢失的情况,基于该前提,记为跟踪失败(即该种算法不适合此类目标跟踪)。

在跟踪过程中,假设在当前帧未能实时跟踪,需要调用历史缓存来判断跟踪,判断后能再度跟踪情况,记为该帧跟踪失败,并记录。若不能继续跟踪,则记为该视频跟踪失败,数据记录为 Null,此部分用于记录长效跟踪成功率,结果如表 3 所示,应用 $[(\text{视频帧数}-\text{失败帧数})/\text{视频帧数}]\times 100\%$ 的结果进行记录。

表 3 成功率统计 (%)

	TLD	HT	一致性特征
Car	91.4	59.8	90.4
CarScale	34.0	23.8	62.9
SUV	91.3	49.7	96.5
Liquor	70.2	Null	91.3
TANK1	90.1	88.4	99.6
TANK2	85.6	86.9	95.9
TANK3	46.8	Null	94.8
TANK4	49.8	Null	54.3

由上表可看出:本文所提出的算法在每帧跟踪的成功率上优于对比算法,能够适应在光线变化区域、部分遮挡情况、目标自身转弯及旋转情况和采集设备镜头缩放情况下的目标跟踪,并保证一定的成功率,再次证明本文算法具有较好的鲁棒性。其中,Null 表示在该种算法下,针对特定的目标跟踪情况并不适用,10 次实验中,超过 5 次实验,对既定目标的跟踪出现匹配错误,导致跟踪失败。

5 结 论

在本文中,提出一种针对地面机动目标基于一致性特征点长效自由模型的目标跟踪算法。本文算法,同 TLD、HT 算法进行对比,选取公共数据集 Benchmark 及实验室数据集中相关图像序列,通过算法单帧耗时对比,跟踪成功率对比。根据对比实验,说明本文选取的算法在针对地面机动目标在通过光线变化区域、部分遮挡区域、目标自身旋转及尺度变化情况时,相比于对比算法,能够更好的实现对目标的跟踪。在一定程度上,对于实时性的支持相较于对比算法具有一定优势。但对于目标物体在长时间通过全部或部分遮挡区域时,表现上尚有欠佳,需在今后的工作中,进一步改进。

参 考 文 献

[1] 魏小鹏,刘瑞,张强,等. 基于模板匹配的人体运动

捕捉数据处理方法[J]. 系统仿真学报, 2010(10): 2368-2372.

- [2] 杨杨,张田文. 一种基于特征光流的运动目标跟踪方法[J]. 宇航学报, 2000, 21(2):8-15.
- [3] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, 1999:1150-1157.
- [4] 张滢,齐美彬,周云,等. 基于特征提取和多示例学习的图像区域标注[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(8):909-914.
- [5] 何林阳,刘晶红,李刚,等. 改进 BRISK 特征的快速图像配准算法[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(8): 2722-2727
- [6] GUO L, LI J, ZHU Y H, et al. A novel Features from Accelerated Segment Test algorithm based on LBP on image matching[C]. 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), 2011:355-358.
- [7] 孙东辉,鞠秀亮,冯登超,等. 基于 FAST 检测器和 SURF 描述子的聚合图像人脸识别[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(1):94-98.
- [8] 戚世贵,戚素娟. 一种基于图像特征点的图像匹配算法[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(1):3-4.
- [9] ZHANG L, MAATEN L J P V D. Preserving Structure in Model-Free Tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2014, 36(4):756-69.
- [10] SPRUYT V, LEDDA A, PHILIPS W. Real-time, long-term hand tracking with unsupervised initialization[C]. IEEE International Conference on Image Processing, 2013:3730-3734.

作 者 简 介

罗子安,1988 年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为光电跟踪技术研究及相关硬件。

毛征,1959 年出生,工学博士,教授。主要研究方向为光电跟踪技术研究及相关硬件。

E-mail:maozheng@but.edu.cn

孟灿,1990 年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为光电跟踪技术研究及相关硬件。

刘松松,1987 年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为光电跟踪技术研究及相关硬件。