

表1 标准数据集测试结果

测试视频	作者	本系统
Basketball	0.923	0.891
Biker	0.458	0.550
Bird1	0.069	0.042
BlurBody	0.584	0.580
BlurCar2	0.939	0.944
BlurFace	1.000	0.925
BlurOwl	0.228	0.214
Bolt	0.989	1.000
Box	0.415	0.433
Car1	0.739	0.712
Car4	0.950	0.900
CarDark	1.000	0.862
CarScale	0.806	0.753
ClifBar	0.445	0.500
Couple	0.357	0.139
Crowds	1.000	1.000
David	1.000	1.000
Deer	0.817	0.714
Diving	0.535	0.317
Dog	0.992	0.954
DragonBaby	0.336	0.257
Dudek	0.877	0.591
Football	0.796	0.635
Freeman4	0.530	0.664
Girl	0.864	0.884
Human3	0.536	0.423
Human4	0.252	0.353
Human6	0.290	0.248
Human9	0.725	0.606
Ironman	0.217	0.352
Jump	0.057	0.420
Jumping	0.339	0.246
Liquor	0.977	0.900
Matirx	0.170	0.137
MotorRolling	0.049	0.026
Panda	0.364	0.913
ReadTeam	1.000	1.000
Shaking	0.025	0.300
Singer2	0.945	0.849
Skating1	1.000	0.976
Skating2	0.768	0.657
Skiing	0.074	0.021
Soccer	0.793	0.763
Surfer	0.910	0.862
Sylvester	0.843	0.915
Tiger2	0.356	0.548
Trellis	1.000	1.000
Walking	1.000	0.966
Walking2	0.440	0.387
Woman	0.938	1.000
平均值	0.634	0.627

由于每次实验中所框选出的目标区域大小不同,因此系统在不同实验中的跟踪速度也有差别,实际测

试中,其平均处理帧率为 25 帧/秒,满足工程应用中的实时性指标;在跟踪准确率方面,由于测试数据由系统实时采集得到,无法对视频进行 ground truth 标定,因此跟踪准确率无法精确量化.从视觉上看,系统的跟踪准确率处在较高水平,平均可达 95% 以上,与标准数据集测试实验相比性能有较大提升,这主要是由于本系统应用于实际工程环境中时,视频采集电路由二轴云台进行稳定控制,云台的控制模块可以根据视频处理模块计算输出的目标脱靶量对云台运动进行实时修正,进而可以最大限度地保证 CCD 摄像机的视轴始终处于稳定状态,因此,采集到的视频数据相较于标准测试集中的视频数据更加稳定,抖动较小,且目标运动更连贯,目标区域可以一直处于视野中心附近,这对目标跟踪模块的功能实现具有积极作用.图 3 为实际工程场景测试实验中使用的上位机主界面,界面左上角为视频跟踪显示区域.



图3 上位机主界面

4.2.1 场景一

目标的平移运动是目标跟踪过程中的最简单最基本的运动,本场景目的是用来测试系统的最大跟踪速度,视频中跟踪目标在测试人员的控制下以一定速度在桌面上沿椭圆轨迹做循环往复运动,测试结果如图 4 所示.在实际的工程环境中,本系统的最大跟踪角速度可达 20 度/秒.

4.2.2 场景二

在实际的工程环境中,待跟踪的目标所处的背景环境中往往会出现与目标相似的物体,这对跟踪结果会产生一定的干扰,同时目标在视野中的远近位置变化还会引起尺度变化,系统能否顺利应对这种干扰和

变化也是系统鲁棒性的重要参考标准. 本场景是实际公路的航拍片段, 以道路上某辆行驶中的小汽车作为跟踪目标, 其余汽车以及背景中的道路标识为干扰项, 同时在汽车由远及近的过程中会发生明显的尺度变化.

测试结果如图5所示, 从测试结果来看, 本系统在该场景下能够顺利避开背景干扰信息, 准确跟踪指定目标, 且目标在由远及近的过程中, 系统均可实现对目标的跟踪.

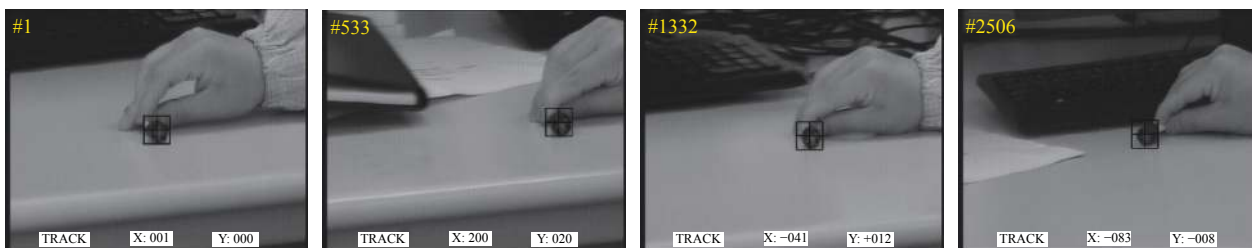


图4 场景一下的跟踪结果



图5 场景二下的跟踪结果

4.2.3 场景三

实际应用场景中, 跟踪目标所处环境一般会出现明暗、阴影等变化, 目标有时也会被遮挡, 导致其在视野中发生较为明显的形变等. 跟踪系统能否在这种复杂多变的环境下完成跟踪任务, 亦是衡量系统可靠性和稳定的重要参考标准. 本场景中将对公路上行驶的大巴车进行跟踪, 在其行驶过程中会经过阴影区、树木遮挡区等, 并会发生一定程度的形变. 测试结果如图6所示, 在整个跟踪过程中, 当跟踪目标所处的环境出现阴影、遮挡时, 系统均能正常工作, 完成跟踪

任务.

5 结语

为实现目标跟踪算法的工程应用问题, 本文提出一种以 DSP 为核心处理器、FPGA 为协处理器的嵌入式目标跟踪系统设计方案, 并基于此平台对 KCF 算法进行优化与实现, 使之能满足实际工程应用的指标要求. 本系统具有“小规模、低成本、高效率”的特点, 在典型工程环境中能实现良好的目标跟踪效果. 本目标跟踪系统中还配套开发了上位机操作平台和视频采集

电路的运动控制模块,使得本系统可很好兼容其余功能模块,极大提高工程项目的开发效率.本系统的嵌入

式硬件平台和算法优化思想具有通用性,为计算机视觉领域内的各类算法的嵌入式应用实现提供参考.

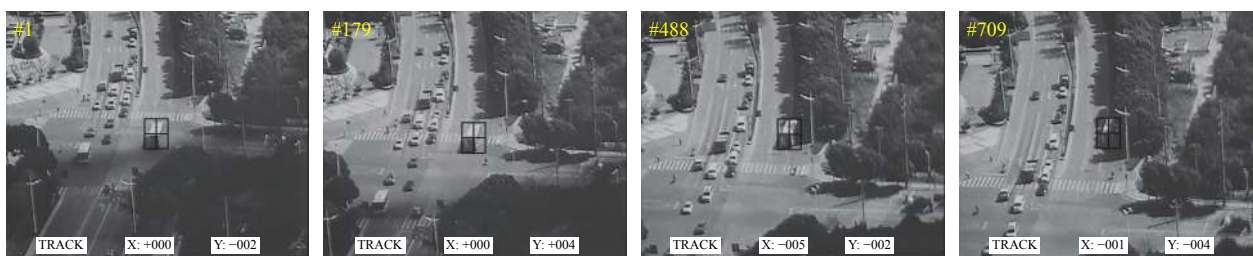


图6 场景三下的跟踪结果

参考文献

- 王新洁. 单目标跟踪算法的研究与分析. 计算机系统应用, 2012, 21(5): 245–249.
- 于明. 基于嵌入式系统的运动目标跟踪视频监控系统的的设计. 自动化与仪器仪表, 2015, (12): 17–19.
- 朱建武, 李榕, 凌云. 基于 FPGA 的目标跟踪系统设计与实现. 计算机工程, 2012, 38(5): 243–246. [doi: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.05.076]
- 刘磊, 蔡坚勇, 马正文, 等. 基于遮挡检测的尺度自适应相关滤波跟踪. 计算机系统应用, 2018, 27(10): 285–290. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.006589]
- Henriques JF, Caseiro R, Martins P, *et al.* High-speed tracking with kernelized correlation filters. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2015, 37(3): 583–596. [doi: 10.1109/TPAMI.2014.2345390]
- Henriques JF, Caseiro R, Martins P, *et al.* Exploiting the circulant structure of tracking-by-detection with kernels. In: Fitzgibbon A, Lazebnik S, Perona P, *et al.*, eds. *Computer Vision - ECCV 2012*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. 702–715.
- 江维创, 张俊为, 桂江生. 基于改进核相关滤波器的目标跟踪算法. 计算机工程, 2018, 44(11): 222–227.
- 张乘龙, 夏筱筠, 柏松, 等. 基于 KCF 跟踪算法的目标轨迹记录系统. 计算机系统应用, 2017, 26(5): 113–118. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005780]
- International Telecommunication Union, Radio Communication Sector, Broadcasting Service (Television). The digital video standard according to ITU-R BT. 601/656. 2001.
- 康艳霞, 曹剑中, 田雁, 等. 实时视频处理系统中乒乓缓存的设计. 弹箭与制导学报, 2007, 27(4): 218–221. [doi: 10.3969/j.issn.1673-9728.2007.04.068]
- 杜建宝. 基于 FPGA 的视觉目标跟踪算法研究与实现[硕士学位论文]. 天津: 天津理工大学, 2018.
- 刘志强. 基于核相关滤波的高速目标跟踪算法研究与系统实现[硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- 柯俊敏, 洪亲, 蔡坚勇, 等. 融合颜色特征的核相关滤波器目标长期跟踪算法. 计算机系统应用, 2018, 27(4): 190–195. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.006313]
- 闫钧华, 姜惠华, 杨勇, 等. DSP 实现基于改进压缩跟踪算法的目标实时跟踪. 电子设计工程, 2016, 24(20): 9–12, 16. [doi: 10.3969/j.issn.1674-6236.2016.20.003]
- 杜文彬, 毛征, 梅伟军, 等. 基于 DSP6678 的 KCF 算法实现及优化系统设计. 国外电子测量技术, 2017, 36(7): 62–67. [doi: 10.3969/j.issn.1002-8978.2017.07.016]
- Kristan M, Matas J, Leonardis A, *et al.* The visual object tracking VOT2015 challenge results. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshop*. Santiago, Chile. 2015. 564–586.
- Hare S, Saffari A, Torr PHS. Struck: Structured output tracking with kernels. *Proceedings of International Conference on Computer Vision*. Barcelona, Spain. 2011. 263–270.
- 陈仁爱, 凌强, 徐骏, 等. 基于 DSP 的实时圆检测算法的设计实现与优化. 微型机与应用, 2016, 35(11): 93–96, 100.
- 张雷, 王延杰, 孙宏海, 等. 采用核相关滤波器的自适应尺度目标跟踪. 光学精密工程, 2016, 24(2): 448–459.
- 张雷. 复杂场景下实时目标跟踪算法及实现技术研究[博士学位论文]. 长春: 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2016.
- Ali U, Malik MB. Hardware/software co-design of a real-time kernel based tracking system. *Journal of Systems Architecture*, 2010, 56(8): 317–326. [doi: 10.1016/j.sysarc.2010.04.008]
- TMS320C6000 Programmer's guide. Texas Instruments Incorporated, 2011.
- 纪铁军, 任雨军, 赵爱明. TMS320C6000 系列 DSP 的 C 代码优化方法. 单片机与嵌入式系统应用, 2003, (7): 76–77. [doi: 10.3969/j.issn.1009-623X.2003.07.024]
- Wu Y, Lim J, Yang MH. Online object tracking: A benchmark. *Proceedings of 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Portland, OR, USA. 2013. 2411–2418.