

机载ADVB航电系统测试技术研究

李宁宁 陈海洋

Research on testing technology of airborne ADVB avionics system

LI Ningning, CHEN Haiyang

引用本文:

李宁宁, 陈海洋. 机载ADVB航电系统测试技术研究[J]. 应用光学, 2023, 44(6): 1300–1305. DOI: 10.5768/JAO202344.0601003

LI Ningning, CHEN Haiyang. Research on testing technology of airborne ADVB avionics system[J]. Journal of Applied Optics, 2023, 44(6): 1300–1305. DOI: 10.5768/JAO202344.0601003

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.5768/JAO202344.0601003>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

地面最小操纵速度试飞光电测试方法

Photoelectric test method for ground minimum control speed flight test

应用光学. 2021, 42(6): 1072–1079 <https://doi.org/10.5768/JAO202142.0603003>

基于图像的空中加油软管平衡拖曳位置测量方法

Image-based method for measuring balance towing position of aerial refueling hose

应用光学. 2021, 42(4): 723–727 <https://doi.org/10.5768/JAO202142.0403005>

用于光电设备的航电总线数据测试系统

Avionics bus measurement system used for EO equipments

应用光学. 2018, 39(6): 947–950 <https://doi.org/10.5768/JAO201839.0608002>

某型机载武器投放轨迹姿态测量方法研究

Method for measuring delivery trajectory and attitude of a certain type of airborne weapon

应用光学. 2017, 38(6): 953–957 <https://doi.org/10.5768/JAO201738.0603002>

MRTD高精度测试和校准技术研究

Research on high precision MRTD testing and calibration technology

应用光学. 2020, 41(5): 1026–1031 <https://doi.org/10.5768/JAO202041.0503004>

基于多视场拼接的飞机偏心定位距精确测量

Accurate measurement of aircraft eccentricity based on multi-field splicing

应用光学. 2018, 39(3): 379–384 <https://doi.org/10.5768/JAO201839.0303002>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

文章编号: 1002-2082 (2023) 06-1300-06

机载 ADVB 航电系统测试技术研究

李宁宁, 陈海洋

(中国飞行试验研究院 技术中心测试所, 陕西 西安 710089)

摘要: 近年来随着航空电子数字视频总线 (avionics digital video bus, ADVB) 的快速发展, ADVB 逐渐替代了机载原有的数字视频接口 (digital visual interface, DVI)、视频图形阵列 (video graphics array, VGA)、低电压差分信号 (low-voltage differential signal, LVDS) 等视频传输方式, 在先进战斗机、民机、直升机、教练机等新型试验机航电系统中成为重要的数据载体。面对新型视频总线测试, 现有的试验测试方法已经不能满足要求。从基础协议研究出发, 结合机载航电系统的接口控制文件 (interface control document, ICD) 结构特征信息, 通过自适应识别、重采样、时序重构等技术途径, 完成了高速率、多样化视频格式的自适应处理, 实现了多型机的通用化测试; 通过搭建试验平台, 成功实现 1 680×1 050@60 fps 等非常规视频、2 560×1 024 @30 fps 等高分辨率视频的采集记录。回放视频数据完整清晰, 验证了本文方法的有效性。设计的测试系统兼容现有的视频测试现状, 能够有效降低试飞成本, 提高试飞效率。

关键词: ADVB 协议; 重采样; 通用化测试; 飞行试验

中图分类号: TN206

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202344.0601003

Research on testing technology of airborne ADVB avionics system

LI Ningning, CHEN Haiyang

(Technology Center Testing Institute, Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of ADVB avionics digital bus, it has gradually replaced the original airborne video transmission methods such as DVI, VGA, LVDS, and etc. It has become an important data carrier in the avionics systems of new test aircraft such as advanced fighter jets, civilian aircraft, helicopters, and trainer aircraft. The existing test methods are no longer sufficient for the new video bus. Starting from the basic protocol research, in combination with the ICD structure feature information of airborne avionics system, the self-adaptive processing of high-speed and diversified video formats and were completed through the technical approaches such as adaptive identification, resampling, timing reconstruction, and etc., and the generalized test of multi-type machines was realized. By building an experimental platform, the acquisition and recording of the unconventional videos such as 1 680×1 050@60 fps and the high-resolution videos such as 2 560×1 024@30 fps were successfully realized, and the playback video data was complete and clear, which could verify the method effectiveness. The designed test system is compatible with the existing video test status, which can effectively reduce the cost of flight test and improve the efficiency of flight test.

Key words: ADVB protocol; resampling; generalized test; flight test

引言

目前多型军机^[1]、民机、直升机等试验机均采用了新型视频总线—ADVB 进行数据传输^[2], 根据任务需求, 需要完成机载 ADVB 光纤数字视频的测试, 为实时监控以及事后分析提供有效支撑。

目前的研究现状是, 现有测试系统只针对固定格式分辨率、DVI、VGA 等电信号进行测试, 且目前机载 ADVB 总线的传输速率已达 4.25 Gbps, 现有测试技术已经不能满足新一代飞机的测试需求。

针对该问题, 有两种解决方法: 一是升级测试

收稿日期: 2023-01-05; 修回日期: 2023-03-01

基金项目: 民机试飞技术及规范体系研究 (MJZ3-3N21)

作者简介: 李宁宁 (1989—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事飞行试验和光电测试研究。E-mail: 741708356@qq.com

系统内的采集记录设备, 缺点是周期长、经费高, 升级后也只能专机专用; 二是对抽引数据进行预处理, 可实现不同格式 ADVB 视频的自适应转换, 最终实现多型机间通用化测试, 以降低测试成本。本文针对第二种解决方法进行研究, 主要从以下 3 个方面进行: 一是分析研究 ADVB 光纤数字视频特点^[3], 构建 ADVB 光纤视频信号测试方案, 完成新型机载 ADVB 航电数据的光电测试; 二是设计 ADVB 数据自适应识别解析方案, 完成不同型机 ADVB 光纤视频总线的自适应接收处理, 实现不同型机的通用化测试; 三是针对抽引视频分辨率与现有采集设备不匹配问题, 完成非常规格式视频数据的固定化转换, 以兼容现有测试系统, 降低试飞成本。

1 机载 ADVB 航电视频数据测试方案

ADVB 是新型机载航电系统的数据传输总线, 针对 ADVB 传输数据多样性、高速性等特点, 本文设计了 ADVB 总线数据测试方案, 如图 1 所示。主要包括 3 个单元, ADVB 数据接收单元、ADVB 数据解析处理单元、视频数据采集记录单元^[4]。其中 ADVB 数据接收单元经过多通道光纤数字视频流接收以及 ADVB 帧接收状态机(包括光电转换、串并转换、8 B/10 B 解码等)接收后, 进入 ADVB 数据解析单元, 通过传输字同步、数据映射、帧状态、数据解析以及数据重组等实现 ADVB 帧数据的数据转换。转换后的常规 DVI 电信号经过专用采集器进行采集、记录以及脉冲编码调制 (pulse code modulation, PCM) 编码输出, 供课题人员进行实时监控与事后分析。

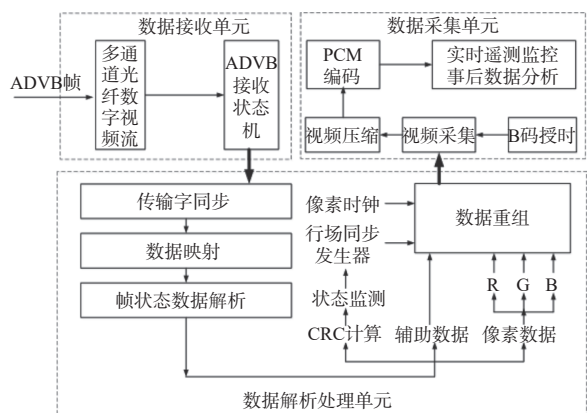


图 1 机载 ADVB 光纤数字视频测试方案

Fig. 1 Airborne ADVB optical fiber digital video test solution

2 关键技术研究

2.1 基于视频特征数据模板的自适应识别解析技术

2.1.1 多通道不同速率数据接收

多通道不同速率数据接收模块采用主动式分流处理方式, 实现多通道不同数据速率的 ADVB 视频流的自适应快速接收^[5]。主动式分流处理机制原理如图 2 所示。

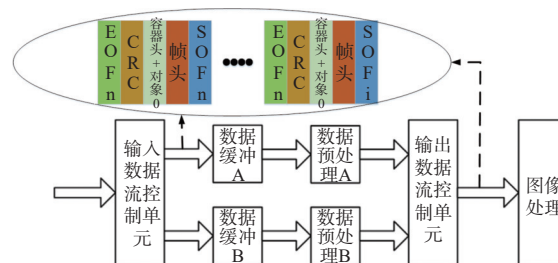


图 2 主动式分流处理机制

Fig. 2 Active shunt processing mechanism

主动式分流处理机制目的是解决数据带宽与数据接收单元速率不匹配的问题, 主要存在数据带宽大于数据接收单元能力以及数据带宽小于数据接收能力两种情况。主动式分流处理机制的工作原理是: 当传输数据的原始发送速率低于数据接收单元的处理速率时, 输入数据流控制单元将传输数据缓冲至 B 缓冲区并进行预处理, 此时输出数据流控制单元将控制输出 A 缓冲区的数据进行下一步的图像处理, 当 A 缓冲区的数据输出结束后进入等待状态, 直到 B 缓冲预处理单元存满; 当传输数据的原始发送速率高于数据接收单元的处理速率时, 输入数据流控制单元将传输的数据缓冲至 A 缓冲区并进行预处理, 输出数据流控制单元输出 A 缓冲区预处理后的数据, 直至 A 缓冲区存储结束, 输入数据流控制单元继续输送数据至 B 缓冲区, 输出数据流控制单元处理完 A 缓冲区后切换至 B 缓冲区, 继续进行下一步的图像处理。采用主动式分流机制, 可以有效解决数据流堵塞与间断的问题, 更好地保证数据的高效性与连续性。

2.1.2 视频数据自动解析

1) 视频特征数据模板设计

不同型机、不同通道传输的视频格式存在差异、多样化特点。因此, 为了实现不同格式视频数据的通用化转换, 依据主机 ICD 结构^[6]定义, 选取关键特征信息, 设计了视频特征数据模板, 以架机为单位^[7]定义架机每个通道的分辨率、帧率、组

帧方式和传输方式,为帧流中关键信息的提取提供依据。本文设计的视频特征数据模板如图 3 所示。

飞机号	通道号	关键参数列表				
XXX	1	分辨率	帧率	组帧方式	传输方式	每行帧数
	2	分辨率	帧率	组帧方式	传输方式	每行帧数
	3	分辨率	帧率	组帧方式	传输方式	每行帧数
	4	分辨率	帧率	组帧方式	传输方式	每行帧数

图 3 视频特征模板

Fig. 3 Video feature template

2) 数据映射处理

ADVB 总线容器头与对像 0 定义了视频帧的帧率、分辨率、容器序号等信息。对容器头关键信息的映射提取,反馈识别视频文件通道,通过分辨率以及组帧模式计算每行帧数,从而直接识别后续 ADVB 数据块的有效数据,减少对冗余信息解析带来的时间消耗,同时实现同型机不同通道的自适应识别解析。其中将总线物理对像,如分辨率、帧率、传输方式等实际物理信息与模板文件数据中的分辨率、帧率、传输方式数据块等进行映射,数据自动解析示意图如图 4 所示。

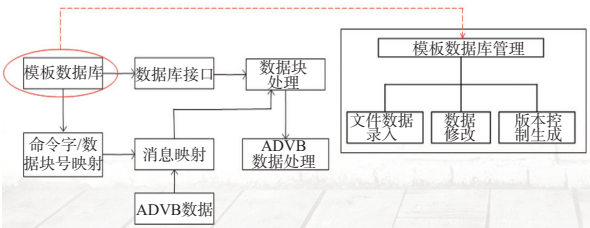


图 4 数据自动解析示意图

Fig. 4 Schematic diagram of automatic data analysis

2.2 基于时序重构的 DVI 编码技术

ADVB 视频信号采用异步传输^[8]模式,即数据打包,以行为单位,按行缓存,像素数据平均分配到不同的 ADVB 帧。将每个容器头的开始作为场同步信息,ADVB 帧间的 IDLE 信号作为行同步信息,如图 5 所示为行场同步定义,图 6 为试验结果。

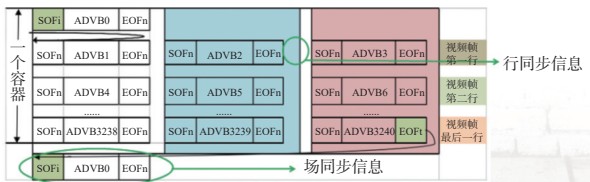
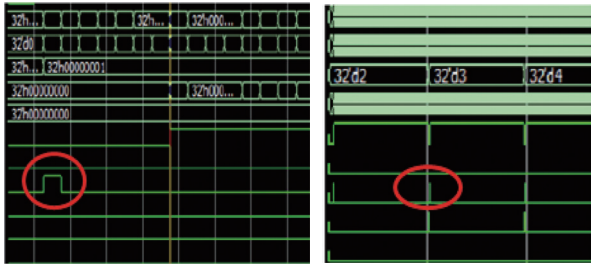


图 5 行、场同步信息的定义

Fig. 5 Definition of line and field synchronization information



(a) 行同步信号仿真示意图 (b) 场同步信号仿真示意图

图 6 行、场同步试验结果

Fig. 6 Experimental results of field synchronization

行场同步信号的恢复是设计中的难点,需要根据 ADVB 帧传送时序和 VESA 标准^[9]准确还原出信号的时序关系。例如光纤通道的速率为 4.25 Gbps,时钟频率为 106.25 MHz,则发送数据 1 个周期为 9.412 ns,由此可以计算出 ADVB 帧的传输时间和 ADVB 帧的间隔时间。针对场(vs)同步信号,在同步时间之后有 1 个场后消隐,紧接着是 1 个顶层消隐,此时行(hs)同步时间开始,然后是 1 个行后消隐,紧接着是 1 个左消隐,此时开始有效数据。当一行有效数据接收结束后,是 1 个行右消隐,然后是 1 个行前消隐,当所有行的有效数据接收结束后,紧接着是底层消隐和场前消隐。

以专用采集设备的时序要求为标准,以 ADVB 时钟周期为基础,计算视频控制信号周期(行同步时间,场同步时间,前、后、左、右消隐时间),为后续 DVI 编码^[10]提供时序信息。以 1 920×1 080 @60 fps 为例,展示了所有视频控制信号时钟信息的实现过程,如图 7 所示。

Timing Name	= 1920 x 1080 @ 60Hz
Hor Period	= 1920
Ver Period	= 1080
Hor Frequency	= 67.500 MHz
Ver Frequency	= 60.000 Hz
Pixel Clock	= 148.500 MHz
Chroma Width	= 4
Scan Type	= NONINTERLACED
Hor Sync Polarity	= POSITIVE
Hor Sync Time	= 14.81% (550 lines = 2200 Pixels)
Hor Active Time	= 12.92% (480 lines = 1920 Pixels)
Hor Back Start	= 12.92% (480 lines = 1920 Pixels)
Hor Back Time	= 1.88% (70 lines = 280 Pixels)
Hor Sync Start	= 12.92% (480 lines = 1920 Pixels)
Hor Right Border	= 0.00% (0 lines = 0 Pixels)
Hor Front Border	= 0.91% (22 lines = 88 Pixels)
Hor Sync Time	= 14.81% (550 lines = 2200 Pixels)
Hor Back Border	= 0.91% (22 lines = 88 Pixels)
Hor Total Time	= 14.81% (550 lines = 2200 Pixels)
Ver Sync Time	= 16.67% (1125 lines = 1125 Pixels)
Ver Active Time	= 16.67% (1080 lines = 1080 Pixels)
Ver Back Start	= 16.67% (1080 lines = 1080 Pixels)
Ver Back Time	= 16.67% (1080 lines = 1080 Pixels)
Ver Sync Start	= 16.67% (1080 lines = 1080 Pixels)
Ver Bottom Border	= 0.00% (0 lines = 0 Pixels)
Ver Front Border	= 0.00% (0 lines = 0 Pixels)
Ver Sync Time	= 16.67% (1080 lines = 1080 Pixels)
Ver Back Border	= 0.00% (0 lines = 0 Pixels)
Ver Top Border	= 0.00% (0 lines = 0 Pixels)

以 1 920×1 080@60 fps 为例:
ADVB 时钟周期为 9.412 ns;
● 1 920×1 080@60 fps DMT 标准行同步时间为 0.296 μs, 即 31 个时钟周期;
● 后消隐及左消隐时间为 0.997 μs 即 106 个时钟周期;
● 有效像素时间为 12.929 μs, 为 1 374 个周期;
● 右消隐和前消隐的时间为 0.593 μs, 为 63 个时钟周期。

图 7 时序信息恢复逻辑

Fig. 7 Timing information recovery logic

2.3 基于迭代反投影的视频重采样技术

针对抽引视频数据受传输干扰以及噪声影响而引起数据模糊问题,提出了基于迭代反投影图像超分辨率^[11-13]的方法,在单幅图像基础上,实现视频画面的重采样。将多幅图像的一帧图像作为参考图像,通过图像配准得出其他观测图像的亚像素位移量,建立图像的运动降采样模型,再通过双三次插值方法求出参考图像的高分辨率图像,

并作为高分辨率图像的初始估计, 利用建立的运动降采样模型对初始估计进行降质, 得到多帧与初始分辨率图像对应的模拟低分辨率图像。如果两者差异小于设定的阈值, 则估计出的高分辨率图像即为重建后的图像, 否则, 将差值反向投影到当前估计的高分辨率图像, 对其进行修正, 再进行降质对比, 直到差值小于阈值, 得到重建图像。将重建误差以各向异性的方式迭代反投影到高分辨率图像, 使得高分辨率图像具有更多的高频信息, 提高图像清晰度。重采样前后的图像对比图如图 8 所示。



图 8 重采样前后对比图

Fig. 8 Comparison before and after resampling

采用无参考图像质量评价算法进行对比分析, 重采样前后的灰度平均梯度值提高了 12.4。

3 试验验证

实验室试验链路示意图如图 9 所示。原机主显的输出 ADVB 光视频信号经过仿真板卡转换后, 生成常规且匹配专用采集器的 DVI 视频信号, 采集的视频信号通过笔记本电脑进行回放。

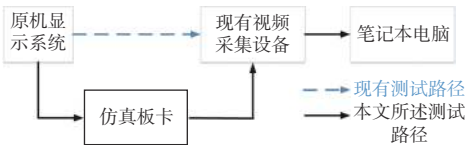
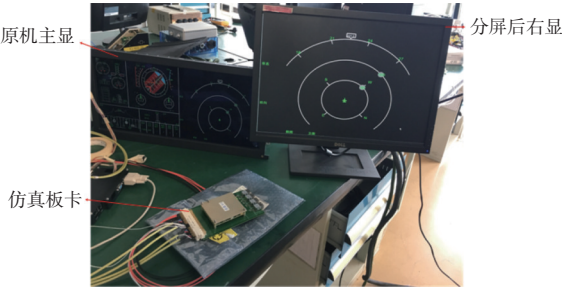


图 9 试验链路

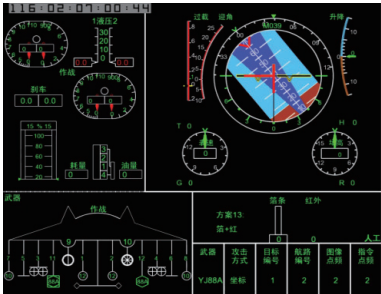
Fig. 9 Test link

现有的测试系统可直接抽取原机显示系统的视频信号(DVI)进行采集, 针对新型 ADVB 航电总线信号, 在现有测试系统的基础上, 增加 ADVB/DVI 转换, 兼容现有视频测试系统, 解决了升级视频采集设备带来的专用性与高成本等问题。

在以上试验平台基础上, 目前已经实现了 $2\,560 \times 1\,024 @ 30\text{ fps}$ 高分辨率视频的分屏与倍频^[14]重采样, 即 $2\,560 \times 1\,024 @ 30\text{ fps}$ 的大分辨率。低帧率视频转换成两路 $1\,280 \times 1\,024 @ 60\text{ fps}$ 的常规分辨率视频, 如图 10 所示。实现了 $1\,400 \times 1\,050$ 像素到 $1\,600 \times 1\,200$ 像素、 $1\,280 \times 768$ 像素到 $1\,280 \times 1\,024$ 像素, 即低分辨率到高分辨的上采样^[15]。



(a) 主显视频转换结果



(b) 重采样后左显DVI视频



(c) 重采样后右显DVI视频

图 10 试验结果

Fig. 10 Test results

4 结论

本文从任务需求出发,在研究机载新一代航电数字视频总线 ADVB 协议的基础上,通过对 ADVB 协议的深层解析,结合实际应用中的需求,采用基于视频特征数据模板的自适应识别解析技术、时序重构的 DVI 编码技术,以及迭代反投影的视频重采样技术,实现了新型机载 ADVB 航电数字视频到常规 DVI 的转换、重采样与测试,完成了机载航电视频测试技术的实验室验证,解决了不同型试验机航电视频系统的通用化测试问题,并且兼容了现有的机载视频测试系统。

参考文献:

- [1] 冯晓旺, 蓝海文. ARINC818在航空电子视频系统中的应用[J]. 航空制造技术, 2011(13): 84-86.
FENG Xiaowang, LAN Haiwen. Application of ARINC818 in avionics video system[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(13): 84-86.
- [2] 张秀秀, 胡亮, 徐伯夏. 舰载视频总线发展及应用研究[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(增刊1): 39-42.
ZHANG Xiuxiu, HU Liang, XU Boxia. Research on the development and application of shipboard video bus[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(S1): 39-42.
- [3] 冯晓旺, 蓝海文. ARINC818协议特性分析[J]. 电子技术, 2013(6): 30-32.
FENG Xiaowang, LAN Haiwen. Analysis of ARINC818 protocol characteristics[J]. Electronic Technology, 2013(6): 30-32.
- [4] 李琳, 郑智. 某型飞机 DVI 数字视频信号测试方法[C]//探索创新交流: 中国航空学会青年科技论坛文集(5集). 北京: 中国航空学会, 2012: 681-685.

LI Lin, ZHENG Zhi. A certain type of aircraft DVI digital video signal test method[C]. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2012: 681-685.

- [5] 沈洪亮, 刘金国, 吕世良. 基于 PCI 总线的多通道图像数据高速采集[J]. 中国光学, 2009, 2(5): 438-444.
SHEN Hongliang, LIU Jinguo, LYU Shiliang. High-speed multi-channel image data acquisition based on PCI bus[J]. Chinese Optics, 2009, 2(5): 438-444.
- [6] 赵宇翔, 樊晓光, 王徐华. 基于总线 ICD 测试方法研究[J]. 现代电子技术, 2010(8): 85-89.
ZHAO Yuxiang, FAN Xiaoguang, WANG Xuhua. Research on bus-based ICD test method[J]. Modern Electronic Technology, 2010(8): 85-89.
- [7] 石旭东, 王家林, 张庚, 等. 基于 ICD 的航空 ARINC429 总线数据测试与验证系统[J]. 测控技术, 2016, 35: 323-331.
SHI Xudong, WANG Jialin, ZHANG Geng, et al. Aeronautical ARINC429 bus data test and verification system based on ICD[J]. Measurement and Control Technology, 2016, 35: 323-331.
- [8] Aeronautical Radio Inc. Avionics digital video BUS(ADVB) high data rate[S]. West Virginia: Aeronautical Radio Inc, 2013.
- [9] Video Electronics Standards Association. VESA and industry standards and guidelines for computer display monitor timing(DMT): CA 95035[S]. California: Video Electronics Standards Association, 2008.
- [10] Digital Display Working Group. Digital visual interface DVI[S]. USA: DDWG, 1999.
- [11] 邱德府, 郑力新, 谢炜芳, 等. 深度学习下的高效单幅图像超分辨率重建方法[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 668-673.
QIU Defu, ZHENG Lixin, XIE Weifang, et al. An efficient single image super-resolution reconstruction method based on deep learning[J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science Edition), 2019, 40(5): 668-673.
- [12] 吴洋, 樊桂花. 视频序列超分辨率重构技术综述[J]. 软件, 2017, 38(4): 154-160.
WU Yang, FAN Guihua. Review of video sequence super-resolution reconstruction technology[J]. Software, 2017, 38(4): 154-160.
- [13] 钱霖. 基于两帧图像“亚像元”技术的插值方法研究[J]. 激光与红外, 2004, 34(4): 308-311.
QIAN Lin. Research on interpolation method based on "sub-pixel" technology of two-frame images[J]. Laser

- and Infrared, 2004, 34(4): 308-311.
- [14] 姜肇海. 基于运动矢量场平滑约束的帧率上转换技术[D]. 南京: 南京邮电大学, 2014.
- JIANG Zhaohai. Frame rate up-conversion technology based on smooth constraint of motion vector field [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2014.
- [15] 田寨兴, 彭宗举, 陈芬. 基于图像边缘特征的深度上采样算法[J]. 光电子·激光, 2014, 25(12): 2371-2378.
- TIAN Zhaixing, PENG Zongju, CHEN Fen. Depth up-sampling algorithm based on image edge features[J]. Optoelectronics·Laser, 2014, 25(12): 2371-2378.