

# 桥梁水下结构表观的图像采集系统的研究

于平 胥平春

(河北省气象技术装备中心 石家庄 050000)

**摘要:** 为提高突发灾害后桥梁快速评估,确保桥梁结构安全,设计了一款基于摄像机阵列的水下检测装备,以实现桥梁水下结构病害的快速精确测量。在分析水下工作环境的基础上,提出摄像机阵列的具体设计方案。为减小水下阻力,适应在浑水中近距离大视场检测,系统采用的摄像头是带照明的微型摄像机。为减小后期图像拼接的压力,本系统采用 Matrox\_morphis\_qxt 图像采集卡,配合磁盘阵列 RAID 系统以达到同步采集、实时传输、快速存储。最终通过图像拼接技术,恢复被测桥梁水下结构表观全貌图。

**关键词:** 摄像机阵列;大视场;Matrox\_morphis\_qxt;同步采集;图像拼接

**中图分类号:** TP317.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Research on the image acquisition system of the underwater construction of bridges

Yu Ping Xu Pingchun

(Hebei Province Meteorological Technical Equipment Center, Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract:** To enhance bridge rapid assessment to ensure the structural safety of the bridge, after the sudden natural disasters. Design camera array underwater detection equipment in order to achieve fast and accurate measurement of the bridge underwater structures disease. In this paper, on the basis of the analysis of the underwater environment, the specific design of the camera array. In order to reduce underwater resistance to adapt in the muddy water close large field of detection, the system uses a camera with lighting miniature endoscope. In order to reduce the pressure of the image mosaic, the system uses the Matrox\_morphis\_qxt frame grabber, with the RAID disk array system in order to achieve synchronous acquisition, real-time transmission, fast storage. Eventually, through image mosaic technology the apparent close-up view of the measured bridge underwater structures can be restored.

**Keywords:** camera array; large field of view; Matrox\_morphis\_qxt; synchronous acquisition; image mosaic technology

### 1 引言

我国内陆江河湖泊众多,大部分为跨水域桥梁,无论是在正常使用情况下还是灾害发生时,水下结构的损伤都更加隐蔽、难以判定。根据现场检测工作量及检测部位的实际情况,检测人员可采用携带水下摄像机潜水检测方法或者选用水下机器人检测作业方法进行桥梁水下部分的检测。国外发达国家一般采用水下机器人检测作业方法,其优点在于能进行深水检测,这是人工检测无法比拟的优势。缺点主要是目前水下机器人的推进器动力还不足,抗水能力不强,整个过程

费用比较高,因此适合于流速较低水域的桥梁检测。目前国内尚没有完善的进行水下结构检测的设备,在检测时仍然以潜水员来携带水下摄像机对其进行拍摄<sup>[1]</sup>作业作为主要的检测方法,将拍摄结果展示给技术人员,通过分析来进行损伤情况的诊断。这就导致检测工作会花费很长的时间,此外这种方式检测的数据可靠性并不高<sup>[2]</sup>,并且也会受制于水深的问题,潜水工作人员无法到达太深的深度,也会给测量带来不少问题。最重要的是潜水工作人员长时间进行水下工作,会对其自身造成很大负担。

本文主要目的是设计出一款由微型数码摄像机阵

收稿日期:2015-08

列组成的水下检测装备。它可以快速的检测出水下结构物的表现,通道数量可以达到64个以上,并且能够实现各个通道的摄像头以每秒3帧的速度进行同步抓图,帧图像的格式为RGB32,分辨率为 $640 \times 480$ ,而且能以非压缩的BMP文件格式保存到PC硬盘中,最后通过图像拼接技术<sup>[3]</sup>,对多通道采集到的图像进行拼接,恢复还原被测桥梁水下结构部分的表现全貌图。

## 2 摄像机阵列设计

针对水下工作环境,水流阻力、浑水、水下光线不足等问题,采用带照明功能的微型内窥镜来作为本方案的图像采集摄像头,把微型内窥镜设计成一个具有近距离大视场特征<sup>[4]</sup>的采集阵列。与用单个摄像头进行测量相比,这种设计特征能够把摄像头对空间分辨率以及水质浑浊度的适应能力都提高数倍。摄像机采集阵列如图1所示。水流阻力会使采集阵列产生晃动,需要实时同步触发各通道摄像头,使其各通道采集每帧图像尽可能在同一时刻曝光。这样有利于后期各通道的图像拼接。

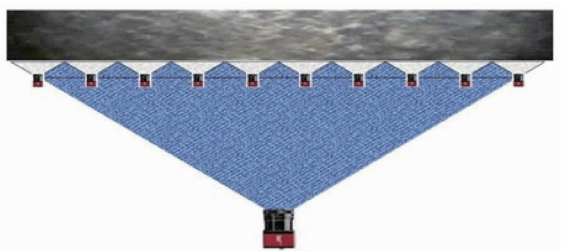


图1 摄像机采集阵列

## 3 采集系统硬件设计

### 3.1 图像采集卡选型

目前最常用的图像采集卡有支持PCI总线或者PCI-E总线两种,支持标准PAL或者NTSC制彩色/黑白信号。同时在硬件上又分为支持视频压缩和不支持视频压缩两种类型。大部分图像采集卡都支持任意形状的图像采集,支持裁剪与比例压缩模式。有些图像采集卡可把图像直接存在本机且可不压缩。

可以通过程序设定成相机模式,降低每秒帧数,减少数据量,图像大小和模式也可自主设定。一般一槽可以实时采集4路信号,多的可实时8/16路。PCI<sup>[5]</sup>总线的带宽一般为132 MB/s,PCI-E x1总线的带宽为一般是250 MB/s,

这两个都是突发传输速率,是理论峰值,在实际应用中是达不到的。

系统的设计是针对64及以上通道摄像头的阵列结构的。同时为后期图像拼接考虑,将涉及各通道每帧图片都同步的需求,所以不能选用视频压缩的功能。因为视频压缩包含单帧图像帧内与相邻图像帧间的编码,在解码之后得到的图像序列无法还原最初的同步性。以64通道的摄像头为例,所采用的是具有标准PAL制的微型内窥镜,支持采集每秒25帧 $640 \times 480$ 分辨率RGB32的原始图像,同时传输到主机内存所需要的传输带宽至少需要1.83 GB/s总线带宽,如式(1)所示。

$$640 \times 480 \times 4 \text{ Bytes} \times 25 \text{ fps} \times 64 \approx 1.83 \text{ GB/s} \quad (1)$$

图像采集卡的选型是本采集系统的核心问题之一。要从对所有通道图像数据的采集同步能力,实时传输能力上考虑对图像采集卡做选型。选择的采集卡为Matrox\_morphis\_qxt。这款图像采集卡支持PCI-E X4总线<sup>[6]</sup>,理论峰值传输带宽能达到1 GB/s。同时Morphis\_qxt卡支持捕捉多达16个独立的标准视频信号源,卡上带有一个专用的大型缓冲区<sup>[5]</sup>,有效的保证了图像采集传输到PC主机。

### 3.2 主机选型

摄像机阵列的每个通道采集的图像数据如何有效快速的进行存储将是设计本采集系统的关键问题。本系统设计采用双CPU+RAID结构。双CPU结构协调运行,处理的速度会很大提高。RAID<sup>[7-8]</sup>(独立冗余磁盘阵列)是一种把多块独立的硬盘(物理硬盘)按其不同的方式组合起来形成一个硬盘组(逻辑硬盘),从而能够提供比单个硬盘更高的存储性能与数据备份能力的技术。

主机的系统配置如下:

CPU:2×Intel Xeon E5 2620 四核  
内存:2×4GB DDR3 Ecc  
硬盘:1×500GSATA+6×300G SAS  
显卡:GT430  
机箱/电源:机架式/800W 单电源  
扩展卡槽:3×PCI-Ex16,2×PCI-Ex8

### 3.3 采集系统框架及参数分析

系统采用4张Morphis\_qtx图像采集卡,4条PCI-E×4总线理论上可以提供4 GB/s的带宽,大于式(1)中计算的带宽。下面计算在峰值时间段64帧图片同时处理需要的时间。

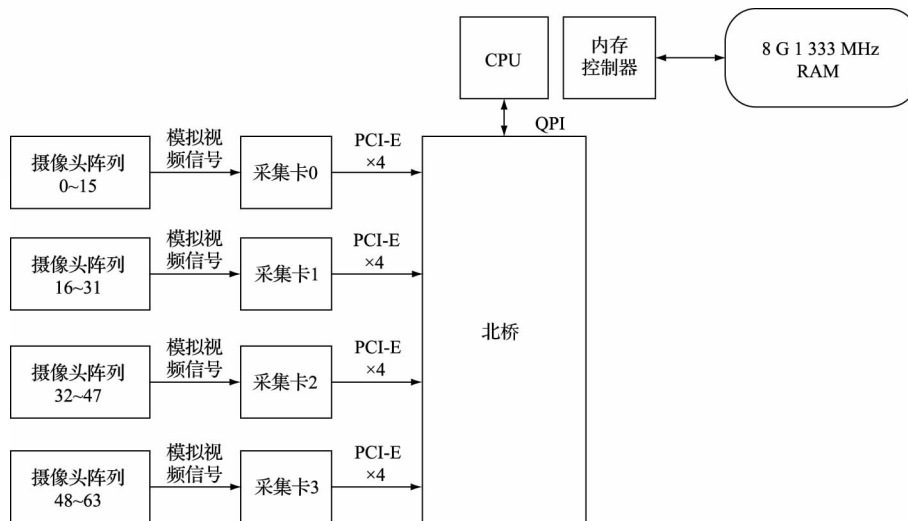


图2 采集系统

64 帧图片通过 PCI-E x4 所需时间的理论值为：

$$1.17 \text{ MB} \times 64 \text{ channels} / (1.024 \text{ GB/s} \times 4) \approx 0.0182 \text{ s} \quad (2)$$

系统 CPU 的 QPI 总线能在一秒内进行 7.2 G 次有效传输。根据 QPI 总线协议，每次有效传输两个字节，则本系统 QPI 总线单向有效带宽为：

$$7.2 \text{ GT/s} \times 2 \text{ Bytes} = 14.4 \text{ GB/s} \quad (3)$$

64 帧图片通过 QPI 所需时间的理论值为：

$$1.17 \text{ MB} \times 64 \text{ channels} / (14.4 \text{ GB/s}) \approx 0.0051 \text{ s} \quad (4)$$

系统采用了两张 DDR3 内存，频率为 1 333 MHz，内存位宽为 64 bits，则内存带宽为：

$$1.333 \text{ MHz} \times 64 \text{ bits} / 8 \text{ bits} \times 2 = 21.328 \text{ GB/s} \approx 20.83 \text{ GB/s} \quad (5)$$

64 帧图片进入内存所需时间的理论值为：

$$1.17 \text{ MB} \times 64 \text{ channels} / 20.83 \text{ GB/s} \approx 0.0035 \text{ s} \quad (6)$$

则在峰值时间段 64 帧图片从图像采集卡传输至内存所消耗的总时间的理论值为：

$$0.0182 \text{ s} + 0.0051 \text{ s} + 0.0035 \text{ s} \approx 0.027 \text{ s} = 27 \text{ ms} \quad (7)$$

此时间小于帧采集时间 40 ms。

#### 4 采集系统软件设计

Matrox 公司图像采集卡的软件开发库 MIL<sup>[9]</sup> (matrox image language)，具有使用方便的特点。它通过函数驱动层的引入，实现了源码硬件的无关性，即同一段源代码不需任何修改，或者仅修改一个参数，就能实现操作不同 Matrox 图像采集卡。函数驱动层由于是一个与硬件相关的文件，不同的采集卡因此需要不同的函数驱动层，它们才能保证不同的卡对 API 层的一致性。因此会大大降

低编程的难度，具有独特的设计思想。

基于 MIL 库的软件设计结构如图 3 所示。

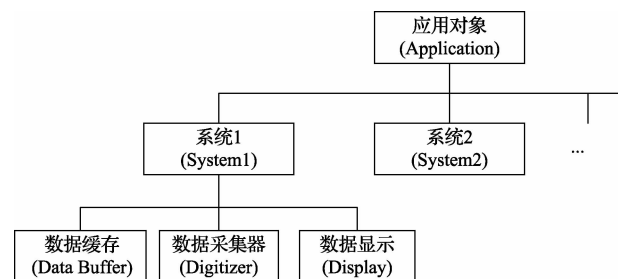


图3 Matrox卡软件设计结构

#### 4.1 采集程序功能模块

根据 MIL 库程序设计特点以及实际应用中的需求，整个采集软件结构主要分为数据采集模块、图像帧缓存模块、显示模块与图像存储模块等。

同时根据 MIL 库的用户手册可知，图像数据采集可以分为单帧采集与连续采集两种方式，因为本系统设计的程序是多通道摄像头同时采集，所以在下文又将连续采集设计成多通道顺序采集与多通道多线程采集两种方式。申请的图像帧缓存支持单帧缓存形式与列表缓存形式，所谓的列表缓存就是根据用户需求申请的多个帧缓存。图像存储模块可以支持两种方式的抓拍，单帧抓拍是指每次只抓取一张图片保存到硬盘，连续抓取是指每隔一定时间自动抓取一张图片保存到硬盘。

在采集软件设计阶段，需要对 MIL 提供的各种方式做测试，最终选择出最好的采集方式。整个软件的功能模块如图 4 所示。

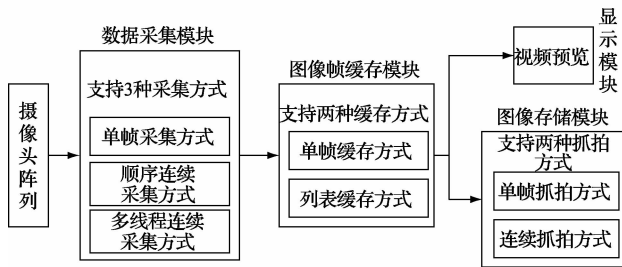


图4 软件功能模块

#### 4.2 多线程架构图像采集

因为整个系统所采用的摄像头不支持外同步触发,理论上各个摄像头之间一定会存在误差。但是通过设计执行效率较高的程序,可以在一定程度上达到一个准同步。本系统利用多线程技术<sup>[10]</sup>,为每张卡开辟一个线程同时执行图像采集可以在一定程度上改善同步效果。多线程示意图如图5所示。

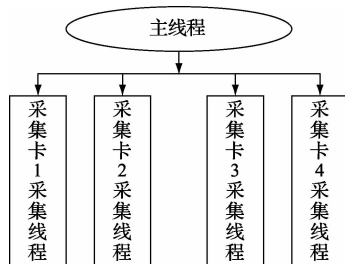


图5 多线程示意

单个通道的采集的流程如图6所示。

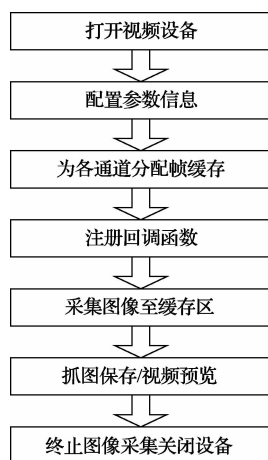


图6 单个通道采集流程

配置参数信息:图像采集时需要先进行初始化工作,主要是读取视频设备信息,配置采集参数等。程序设计中用二维数组来存储每个摄像头对应的数据模型。其中二维数组行指标代表采集卡序号,列指标代表摄像头序号。

// GRABBERNUM=4张卡,CAMERANUM=16

个摄像头

```
MIL_ID MilApplication;
MIL_ID MilSystem[GRABBERNUM];
MIL_ID MilDigitizer[GRABBERNUM][CAMERANUM];
MIL_ID MilDisplay[GRABBERNUM][CAMERANUM];
MIL_ID MilImage[GRABBERNUM][CAMERANUM];
MIL_ID MilImageDisp[GRABBERNUM][CAMERANUM];
```

为各通道分配帧缓存:在为分配数据缓冲区时,MIL为提供了 MbufAlloColor()函数。利用 MbufAlloColor()可以做两种类型的缓存分配,单帧缓存与列表缓存。

当图像工作站内内存空间足够时,一般应用程序设计都会采用列表缓存形式。本系统中因为64路摄像头传输的数据量较大,为保证不丢帧,需要选择缓存列表,为每个摄像头分配一定数量的帧缓存,通过参数可以设定缓存列表的帧数量。这部分缓冲区是在内存中申请的,MIL库已经把这部分缓存映射到用户空间,是一个FIFO队列,应用程序可以直接访问这些列表。为各通道分配好缓冲区后便可进行图像采集。

采集图像至缓存区:MIL库提供了多种采集函数,常用的有单帧采集 MdigGrab()函数与连续采集 MdigGrabContinuous()函数等。本系统同时实现了单帧采集与连续采集。如果需要实时视频预览<sup>[11]</sup>,则必须使用连续采集功能。

```
Void MdigGrabContinuous( MIL_ID DigId,
MIL_ID DestImageBufId );
```

视频预览/抓图保存:通过视频预览可以确定采集装备在水下的运动情况与桥梁的表观结构,在发现问题时,可以通过抓图功能拍照,对各通道的照片进行拼接就能得到大视场的表观图片。MIL库中提供了 MbufExport()函数可以将帧缓存<sup>[12]</sup>中的图像保存到硬盘中。

MIL库中提供了实时图像处理函数 MdigProcess()。这个函数需要结合缓存列表与程序开发者编写的回调函数 ProcessingFunction()一起使用。

//第一张卡的回调函数

```
MIL_INT ProcessingFunction1( MIL_INT Hook-
Type,
MIL_ID HookId, void MPTYPE * HookDataPtr )
{
HookDataStruct * pUserHookData =
( HookDataStruct * )HookDataPtr;
MIL_ID ModifiedBufferId;
MdigGetHookInfo( HookId,
M_MODIFIED_BUFFER + M_BUFFER_ID,
&ModifiedBufferId );
```

```
MbufCopy( ModifiedBufferId,
pUserHookData->MilImageDisp );
MbufCopy( pUserHookData->MilGrabBufferList
[20],pUserHookData->MilImage );
return 0;
}
```

利用好 MdigProcess()函数是实现连续抓拍功能的关键,也是实际应用中整个采集程序的关键。假设为每个摄像头分配 10 帧的缓存,需要连续抓拍时应该在 MdigProcess()中设定对第 i 帧图像做实时处理,那么每次第 i 帧缓存中有数据时,系统都会自动调用 ProcessingFunction()函数将第 i 帧图像保存到硬盘中。系统帧缓存列表如图 7 所示。

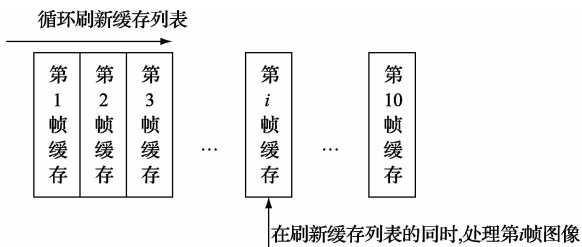


图 7 帧缓存列表

程序运行时通过二重循环遍历依次将数据采集器的数据传输至数据缓存区,便完成了各通道图像的采集。

```
for(i=0; i<CAMERANUM; i++)
{
HookDataStruct * pUserHookData1 =
&UserHookData1[i];
pUserHookData1->MilGrabBufferListSize =
BUFFERING_SIZE_MAX;
for(j=0; j<pUserHookData1->MilGrabBufferListSize; j++)
{
MbufAllocColor( MilSystem[1], g_BufSizeBand,
g_BufSizeX, g_BufSizeY, M_DEF_IMAGE_TYPE, M_IMAGE+M_GRAB+M_PROC, &pUserHookData1->MilGrabBufferList[j] );
if (pUserHookData1->MilGrabBufferList[j])
{
MbufClear (pUserHookData1->MilGrabBufferList[j], 0XFF);
}
else
break;
}
}
```

## 5 各通道图像拼接

对阵列采集的二维数字图像进行拼接,显示被测量结

构的全貌,如图 8 所示。

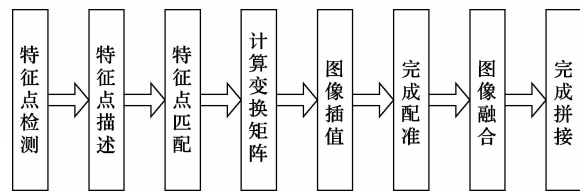


图 8 图像拼接流程

图像预处理:包括数字图像处理的基本操作(如去噪、边缘提取、直方图处理等)、建立图像的匹配模板以及对图像进行某种变换(如傅里叶变换、小波变换等)等操作。

图像配准:就是采用一定的匹配策略,找出待拼接图像中的模板或特征点在参考图像中对应的位置,进而确定两幅图像之间的变换关系。

建立变换模型:根据模板或者图像特征之间的对应关系,计算出数学模型中的各参数值,从而建立两幅图像的数学变换模型。

统一坐标变换:根据建立的数学转换模型,将待拼接图像转换到参考图像的坐标系中,完成统一坐标变换。

融合重构<sup>[13]</sup>:将带拼接图像的重合区域进行融合得到拼接重构的平滑无缝全景图像。

图像配准和图像融合<sup>[14]</sup>是图像拼接的两个关键技术。图像配准是图像融合的基础,而且图像配准算法的计算量一般非常大,因此图像拼接技术的发展很大程度上取决于图像配准技术的创新。

图像拼接<sup>[15]</sup>:关键是精确找出相邻两张图像中重叠部分的位置,然后确定两张图像的变换关系,即图像配准。由于视角、拍摄时间、分辨率、光照强度、传感器类型等的差异,待拼接的图像往往存在平移、旋转、尺度变化、透视形变、色差、扭曲、运动目标遮挡等差别,配准的目的就是找出一种最能描述待拼接图像之间映射关系的变换模型。

图像融合:将两幅已配准图像中有效信息综合到一幅图像中并以可视化方法显示的技术。配准后的图像由于分辨率和视角的不同以及光照等因素的影响,在图像拼接的重叠部分有时会产生模糊或噪声点,边界处也可能形成明显的拼缝。为了改善拼接图像的视觉效果和客观质量,需要对拼接后的图像进行融合。

## 6 结论

通过设计一组以 3×3 布局的 9 个摄像头拍摄的 9 幅待拼接图像如图 9 所示,利用多线程技术可以实现各个通道的摄像头进行同步抓图,并且最终保存到硬盘中,最后通过图像拼接技术,对采集到的 9 幅图像进行拼接得到一幅完整的图像如图 10 所示。拼接图像基本能恢复被测物体的全貌,由于采用摄像头的质量原因以及摄像头固定时的相对位置关系导致了采集的图像不是很清晰,噪点较多,这在以后都可以通过硬件设备来改善。



图9 待拼接图像



图10 待拼结果

图像采集系统主要优点在于检测速度相对较快捷、成本低,并且检测人员作业较安全。因此该系统设计将为桥梁水下结构检测,尤其是灾后桥梁快速评估,决策处理,确保桥梁结构安全,保证桥梁畅通提供可靠的检测手段。同时该系统中的图像采集和拼接算法也可以作为其他图像采集工程的参考。

#### 参 考 文 献

- [1] 曹固恩. 桥梁检测技术综述[J]. 山西建筑, 2008, 34(28):314-315.
- [2] 吴志勤. 桥梁检测技术及其发展趋势简述[J]. 山西建筑, 2007, 33(13):278-280.
- [3] 王娟. 图像拼接技术研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2008.
- [4] 崔怀兵. 基于煤矿工作面条件的多通道图像采集系统设计[J]. 电脑知识与技术, 2014(35): 80.
- [5] 牧彬, 赵晓蓓, 黄勇. 基于 PCI 总线的图像数据传输系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(8): 46-49.
- [6] 王海明, 胡金龙, 吴丽华. 基于 PCI 总线的高速数据采集卡设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(12): 3393-3396.
- [7] 薛萍冰. 一种基于磁盘阵列技术的记录/重演系统[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(1): 33-35.
- [8] 王红. 磁盘阵列的 RAID 技术[J]. 信息技术与信息化, 2005(3):104-106.
- [9] 刘玉霞, 修春波. 图像采集卡与图像预处理库的二次开发[J]. 中国科技论文在线, 2006.
- [10] 郭峰, 龙兵, 戴志坚. 多线程同步技术在逻辑分析仪软件开发中的应用[J]. 电子测量技术, 2011, 34(11): 48-50.
- [11] Keith Jack. 视频技术手册[M]. 5 版. 杨征等译. 北京:人民邮电出版社, 2009.
- [12] 田泽, 张淑, 张骏, 等. 图形处理器片段处理单元的设计与实现 [J]. 计算机应用, 2014(增刊 2): 357-360.
- [13] 蔡丽欢, 廖英豪, 郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1-4.
- [14] 王娟, 师军, 吴宪祥. 图像拼接技术综述[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(7): 1940-1943.
- [15] 蔡丽欢, 廖英豪, 郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1-4.

#### 作 者 简 介

于平, 1986 年出生, 硕士研究生、工程师。主要研究方向为高速数据采集与图像处理技术。

胥平春, 1986 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为仪器与测试技术、视频交通信息检测技术等。

E-mail:454072676@qq.com