

分类号_____

密级_____

UDC _____

编号_____

中国科学院研究生院 博士学位论文

日面活动特征的高速图像处理与识别系统研制

胡新华

指导教师_____邓元勇 研究员

_____中国科学院国家天文台

申请学位级别博士 学科专业名称天文技术与方法

论文提交日期2007 年 12 月 论文答辩日期2007 年 12 月

培养单位_____中国科学院国家天文台

学位授予单位_____中国科学院研究生院

答辩委员会主席颜毅华 研究员

**A dissertation submitted to National Astronomical Observatories for the degree
of Doctor of Philosophy with a Major in Astronomical Instrument**

**Development of High-speed Image Processing and
Recognition System for Solar Activities**

By

Hu Xinhua

Directed By

Prof. Deng Yuanyong

National Astronomical Observatories

Chinese Academy of Sciences

摘 要

在太阳物理学研究中常常需要对大量太阳图像资料进行筛选、计算和统计分析,为了提高太阳观测效率,H_α全日面望远镜需要具有自动识别黑子、光斑、谱斑、日珥、耀斑爆发等各种日面活动现象的功能。以耀斑观测研究为例,本文内容之一是设计并实现了一套太阳耀斑自动识别软件系统。首先分析了耀斑的特点及其在太阳物理学上的分类,其次进行了 H_α耀斑图像特征分析。在了解耀斑自动识别问题实质的基础上,创新地将自动识别技术应用于日面活动现象的自动观测中,并充分应用识别技术、专家知识系统等相关领域的知识,提出了耀斑自动识别的方法。在基于上述讨论的基础上,设计并实现了一种基于灰度阈值分割法的太阳耀斑自动识别软件系统。该软件系统实现了耀斑实时监视与自动识别功能,并获得良好的实测效果。实践证明本文采用的方法对此类问题的研究具有切实可行性,并可为后续其它日面活动现象的自动识别起到良好的示范作用。

针对大量观测图像的实时处理,需要观测系统终端具有强大的图像处理功能以及硬件实时和软件实时功能,本文内容之二是针对现有观测系统的不完善之处,设计并实现了一套日面活动特征的高速图像处理与识别系统(SIPRS)。首先对望远镜系统终端的图像采集硬件部分、控制部分以及软件等各个部分进行了一系列需求分析和UML(统一建模语言)建模工作,为后续设计工作提供了一个框架。其次采用高性能图形工作站和高性能图像采集卡实现了SIPRS系统。SIPRS系统不仅具有高速实时图像采集与处理功能,还具有太阳耀斑自动识别功能。

以下是本文的创新点:

1)将UML建模思想应用于天文望远镜设计的需求分析中,使复杂的需求问题明确化,为后续系统具体设计和实现明确了方向,并为其它天文观测系统的设计提供良好的范例;

2)将图像预处理、图像变换、图像识别技术应用于H_α全日面望远镜的日常观测系统中,提高了望远镜的观测效率和能力。

目前从国内的文献资料中,还没有看到类似的太阳活动现象自动识别方法研究,也没有太阳耀斑自动识别系统的研制与应用,本课题的研究工作填补了国内此研究领域的空白。

关键词：日面活动特征；图像处理；自动识别；太阳耀斑；H_α全日面望远镜

Abstract

Massive image data from solar telescope often need to be selected, calculated and analyzed in the study of solar physics. In order to improve the observation efficiency of the Sun, the H_{α} full-disk solar telescope should have the ability to recognize various activities in the solar surface automatically, such as sunspot, plages, prominences, and solar flares. Taking the solar flare observation as an example, we design and realize a solar flare automatic recognition software system. First, characteristics and categories of solar flares are analyzed. Second, image data from the H_{α} full-disk solar telescope is analyzed. Third, automatic recognition technology is innovatively applied to the recognition of solar flares which is proposed with fully using recognition technology and other relevant fields study results. Finally, an automatic recognition software system of solar flares based on gray threshold segmentation method is realized. Experiments results show that the recognition method of this paper is working well, and it could be a good model for following studies of other activities in solar surface.

The hardware and software of the H_{α} full-disk solar telescope should be designed for the demand of the automatic recognition software system of solar flares. For this reason, we design and realize a high-speed solar activities characteristics image processing and recognition system (SIPRS). First, the hardware, software and control parts of telescope terminal image acquisition system are analyzed. Second, system models are established with Unified Modeling Language. And then, SIPRS are realized with high performance graphics workstation and image grabber.

The following is the innovation of this paper:

- 1) Unified Modeling Language is applied to the demand analysis and design of astronomical telescope which can make the complex issues clear, and can also be a good model for the designment of others astronomical instruments.

- 2) Image pre-processing techniques, image transformation techniques, and automatic recognition techniques are applied to H_α full-disk solar telescope, so that they can improve the efficiency of the day-to-day solar observation.

There are not similar researches in automatic recognition of solar activities at present, nor solar flares automatic recognition system developed or applied in China. So the research work in this paper will be innovative in China.

Key words: characteristics of solar activities, image processing, automatic recognition, solar flares, the H_α full-disk solar telescope

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	III
目 录	V
图索引	IIIX
表索引	XI
第 1 章 绪论	1
1.1. 论文的课题背景	1
1.1.1. 太阳活动现象及研究意义	1
1.1.2. 色球望远镜和双折射滤光器	3
1.1.3. 耀斑观测研究及国内外现状	4
1.2. 论文的研究内容与创新点	7
1.3. 论文内容安排	9
第 1 章 参考文献	10
第 2 章 SIPRS 系统工作原理与需求分析	11
2.1 H_{α} 全日面望远镜现有系统简述	11
2.1.1 H_{α} 全日面望远镜	11
2.1.2 H_{α} 全日面望远镜光学系统	12
2.1.3 H_{α} 全日面望远镜终端系统	12
2.1.4 RedLake MegaPlus 4.2i 数字相机	12
2.1.5 Coreco Oculus-F/64 图像采集卡	15
2.1.6 观测软件介绍	16
2.1.7 现有终端系统在开发中存在的问题	16
2.2 面向对象的开发方法简述	18
2.2.1 传统开发方法存在的问题	19
2.2.2 面向对象的基本概念	20
2.2.3 面向对象的特征	20
2.2.4 面向对象的要素	21
2.2.5 面向对象的开发方法	22
2.2.6 对象模型简述	23
2.2.7 动态模型简述	26
2.2.8 功能模型简述	27
2.2.9 面向对象的分析	28
2.2.10 面向对象的设计	32
2.2.11 面向对象的实现	36
2.2.12 面向对象和基于对象的区别	37
2.3 H_{α} 全日面望远镜终端系统的任务需求	38
2.4 SIPRS 系统的 UML 建模描述	38
2.4.1 确定类	39
2.4.2 关键对象抽象	39

2.4.3	建立对象模型	41
2.4.4	系统动态行为描述	42
2.4.5	系统功能建模	45
2.4.6	耀斑识别功能建模	46
第2章	参考文献	47
第3章	SIPRS 系统的硬件设计与实现	49
3.1	系统硬件结构图	49
3.2	工作站级别的处理系统	50
3.3	IMPERX 1M48-LMCN-CCD 数字相机	56
3.4	X64-CL DUAL 图像采集卡	58
3.5	GPS 接收机	61
3.6	PCI-1753 数字 I/O 卡	63
3.7	关键硬件连接	65
3.7.1	PO941GPS 与 PCI-1753 之间的连接	65
3.7.2	PCI-1753 与 S2895 之间的连接	67
3.7.3	1M48-LMCN 与 X64-CL Dual 之间的连接	67
3.7.4	X64-CL Dual 与 S2895 之间的连接	72
第3章	参考文献	73
第4章	SIPRS 系统的软件设计与实现	75
4.1	关键部件信息流程	76
4.1.1	GPS 对时	76
4.1.2	太阳图像抓取	77
4.2	关键子系统设置与测试	78
4.2.1	GPS 对时子系统	78
4.2.2	太阳图像采集子系统	84
4.3	太阳观测程序设计	93
4.4	太阳观测图像处理	100
4.4.1	图像预处理	106
4.4.2	太阳耀斑自动识别	107
4.4.3	FITS 文件生成	107
4.4.4	图像格式转换	108
4.4.5	图像数据压缩	108
第4章	参考文献	109
第5章	太阳耀斑自动识别方法研究	111
5.1	图像模式识别技术简述	111
5.1.1	模式识别的概念	111
5.1.2	模式空间、特征空间和类型空间	112
5.1.3	模式识别系统的构成	113
5.1.3.1	信息获取	114
5.1.3.2	预处理	114
5.1.3.3	特征提取和选择	114
5.1.3.4	分类决策	114

5.1.4	图像识别问题简述.....	114
5.2	太阳耀斑识别问题.....	115
5.2.1	太阳耀斑的分类.....	115
5.2.1.1	根据耀斑面积分类.....	116
5.2.1.2	根据软 X 射线分类.....	117
5.2.1.3	综合分类.....	117
5.2.2	H_{α} 全日面单色像的特征分析.....	118
5.2.2.1	H_{α} 光谱特征.....	118
5.2.2.2	灰度直方图特征.....	121
5.2.3	太阳耀斑识别问题描述.....	126
5.3	原始图像数据.....	127
5.4	图像数据预处理.....	129
5.5	太阳耀斑特征提取.....	130
5.5.1	基于面积特征的阈值分割法.....	130
5.5.2	基于面积变化率的阈值分割法.....	131
5.6	基本分类器设计.....	134
第 5 章	参考文献.....	135
第 6 章	太阳耀斑识别软件设计.....	137
6.1	软件工作流程图.....	137
6.2	方法的选取.....	137
6.3	统计与学习.....	138
6.4	实验结果.....	140
第 6 章	参考文献.....	141
第 7 章	SIPRS 系统测试与结果分析.....	143
7.1	SIPRS 系统硬件与软件部分测试.....	143
7.2	SIPRS 系统耀斑图像识别功能测试.....	143
第 7 章	参考文献.....	144
第 8 章	工作总结与展望.....	145
8.1	论文完成的主要工作.....	145
8.2	本文的创新点.....	145
8.3	下一步工作展望.....	146
第 8 章	参考文献.....	146
博士期间发表的论文.....		147
致 谢		149

图索引

图 1-1 色球望远镜光学系统图	3
图 1-2 双折射滤光器构造图	4
图 2-1 H _α 全日面望远镜光学系统概图	12
图 2-2 H _α 全日面望远镜终端系统框图	12
图 2-3 KAF-4202 光谱响应图	15
图 2-4 类的符号表示	24
图 2-5 三元关联	24
图 2-6 聚集关系	25
图 2-7 一般化关系	26
图 2-8 窗口系统的图标显示	27
图 2-9 面对对象分析过程	28
图 2-10 确定类的过程	29
图 2-11 H _α 望远镜系统的对象模型图	42
图 2-12 SIPRS 中主要任务序列图	44
图 2-13 SIPRS 软件功能顶层流程图	45
图 2-14 太阳耀斑识别软件功能图	47
图 3-1 SIPRS 系统硬件框图	50
图 3-2 THUNDER K8WE (S2895)硬件框图	52
图 3-3 1M48-LMCN-CCD 光谱响应图	57
图 3-4 X64-CL DUAL 图像采集卡系统框图	59
图 3-5 PCI-1753 的内部电路框图	65
图 3-6 1M48-LMCN 接口图	68
图 3-7 1M48-LMCN 相机输出连接器	68
图 3-8 1M48-LMCN-CCD 相机的电源端子	71
图 3-9 X64-CL DUAL 的 BASE CAMERA LINK 连接器分布图	72
图 4-1 SIPRS 系统中的 GPS 时间流图	77
图 4-2 SIPRS 系统中的太阳图像流图	78
图 4-3 PCI-1753 中断源控制	80
图 4-4 GPS 对时系统安装与测试流程图	83
图 4-5 PCI-1753 板卡在 DEVICE MANAGER 中的配置	83
图 4-6 IPX CONFIGURATOR 配置界面图	87
图 4-7 DALSA CORECO DEVICE MANAGER 运行界面	88
图 4-8 X64-CL DUAL 串口的逻辑映射	89
图 4-9 BOARD VIEWER 查看 X64-CL DUAL 板卡的信息图	90
图 4-10 SAPERA 连续内存资源分配	91
图 4-11 CAMEXPERT 对相机的快速配置界面	92
图 4-12 SIPRS 的 GPS 对时、太阳观测及图像处理与存储软件框图	93
图 4-13 GPS 对时程序的流程图	94
图 4-14 太阳观测与图像处理软件顶层流程图	94
图 4-15 SAPERA LT 的架构图	96
图 4-16 SAPERA GRAB DEMO 演示图	99
图 4-17 PCVISIONAPPWIZARD 生成的图像采集程序	99

图 4-18 SAPERA 软件架构图.....	100
图 4-19 SAPERA PROCESSING 的 C++ 类库层次图	105
图 5-1 模式识别过程	112
图 5-2 模式识别系统的基本构成	114
图 5-3 宁静太阳、谱斑、耀斑和大耀斑的 H_{α} 谱线轮廓	119
图 5-4 电磁辐射和粒子发射图	120
图 5-5 H_{α} 谱线轮廓的变化	121
图 5-6 HRHA070711031401FULL.JPG 图像及其灰度直方图	124
图 5-7 HRHA070101053625FULL.JPG 图像及其灰度直方图	125
图 5-8 用 FV 软件查看 FITS 格式的全日面图像	128
图 5-9 用 LIBERATOR 插件在 PHOTOSHOP 中打开 FITS 图像.....	129
图 5-10 差影法应用结果	133
图 5-11 基本分类器设计过程	134
图 6-1 太阳耀斑处理与识别流程图	137
图 6-2 分类器训练流程图	139
图 7-1 SIPRS 实际系统截图	143

表索引

表 1-1 主要的空间太阳探测器简介	6
表 2-1 MEGAPLUS 4. 2i 性能参数表	14
表 2-2 关键对象的属性和行为描述表	40
表 3-1 S2895 的硬件规范表	53
表 3-2 1M48-LMCN-CCD 性能参数表	56
表 3-3 X64-CL DUAL 规格表	60
表 3-4 GPS 性能参数表	62
表 3-5 GPS 定时定位接收机 DB37 管脚定义	63
表 3-6 PCI-1753 规格表	64
表 3-7 1M48-LMCN 接口图描述	68
表 3-8 1M48-LMCN 相机连接器信号说明表	68
表 3-9 1M48-LMCN 连接器与实际信号之间对应的关系表	70
表 3-10 1M48-LMCN-CCD 相机各引脚描述表	72
表 4-1 PCI-1753 中断控制与中断状态寄存器表	79
表 4-2 PCI-1753 中断模式位描述表	80
表 4-3 中断沿触发控制位描述表	81
表 4-4 中断状态位描述表	81
表 4-5 1M48-LMCN-CCD 数字相机寄存器映射表	84
表 4-6 SAPERA++ 的类及其描述表	96
表 4-7 SAPERA PROCESSING 的图像处理功能表	101
表 4-8 SAPERA PROCESSING 的搜寻（模式匹配）功能表	103
表 4-9 SAPERA PROCESSING 的图像处理 C++ 类描述表	105
表 4-10 SAPERA PROCESSING 的搜寻工具 C++ 类描述表	106
表 4-11 SAPERA PROCESSING 的局部分析 C++ 类描述表	106
表 4-12 六款压缩软件在普通压缩方法下的 FITS 图像压缩率对比	109
表 5-1 H _α 耀斑分类	117
表 5-2 耀斑软 X 射线分类 1	117
表 5-3 耀斑软 X 射线分类 2	118
表 6-1 分类器结果数据统计表	139

第1章 绪论

1.1. 论文的课题背景

1.1.1. 太阳活动现象及研究意义

太阳基本上是一颗球对称和稳定的恒星。然而大量观测结果表明,太阳除了稳定和均匀的向四面八方发出辐射的同时,它的大气中的一些局部区域,时常还会发生一些存在时间比较短暂的事件。例如在太阳光球层中,往往可以观测到许多比周围背景明显暗黑的斑点状的小区域,称为太阳黑子;和比背景略为明亮的浮云状小区域,称为光斑;在色球层中也可以经常观测到比周围明亮的大片区域,称为谱斑;和突出于色球平均高度之上的形状不规则的太阳物质,称为日珥;日冕中也观测到许多明显的不均匀结构。特别是在色球和日冕的大气层中,偶尔还会发生表明有巨大能量释放的太阳爆发现象,称为太阳耀斑。

上述这些现象不仅存在时间比较短暂、并不断变化,而且往往集中在太阳黑子附近的太阳大气的局部区域,这些区域称为太阳活动区。同时,在这些现象发生的过程中,尤其是发生太阳耀斑期间,往往由这些区域发射出增强的电磁波辐射和高能粒子流。特别是在X光、紫外光和射电波段出现非常强的附加辐射,以及能量范围在 $10^3 \sim 10^9 \text{eV}$ 的粒子流。通常把太阳上所有这些在时间和空间上的局部化现象,及其所表现出来的各种辐射增强,统称为太阳活动(Solar Activity)。

与此对应,把不包含这些现象的理想太阳,即时间上稳定,空间上球对称的均匀辐射的太阳,称为宁静太阳(Quiet Sun)。宁静太阳的物理性质在空间上只随日心距离的变化而变化,在同一半径的球层中物理性质是相同的,在时间上几乎是不变的,其变化时标为太阳演化时标,即大于 10^7 年。这样就可以把真实的太阳看作是以宁静太阳为主体的、并附加有太阳活动现象的实体。即也可以把宁静太阳看作是真实太阳的基本框架,而把活动太阳看作是对宁静太阳的扰动。

在太阳活动现象方面,一次太阳耀斑过程持续几分钟至1~2小时,一个活动区的寿命约几天至几个月。同时,整个太阳大气所发生的太阳活动现象的多寡,还表现出平均长度约11年的周期,称为太阳活动周,也可能存在更长的周

期。因此，太阳活动的时标可以认为从几分钟至几十年。

太阳活动所涉及的能量，与整个太阳的总辐射相比仍然是微不足道的。例如一次大耀斑爆发释放的总能量估计为 $4 \times 10^{32} \text{erg}$ ，若其持续时间为 1 小时，则其发射功率为 $10^{29} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ ，与太阳总辐射功率 $3.845 \times 10^{33} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ 相比，是可以忽略的。因此存在太阳活动丝毫不损于把太阳视为一颗稳定的恒星。大功率的稳定辐射加上小功率的周期性的太阳活动，这就是现阶段太阳的主要特征^[1]。

对于太阳活动现象研究的实际的意义，可以概括为如下几点：

1) 太阳是一颗典型的恒星，关于它的详细研究将对于了解广阔的恒星世界具有普遍的意义。太阳是一颗主序星（光谱型为 G2），又是离地球最近的、从而可以对其作区域分解观测和仔细研究的唯一恒星。从对太阳的研究结果，我们可以对大多数恒星的状况有大致的认识。实际上关于恒星大气的辐射传输、内部构造和演化等问题的研究，都是以太阳作为范例研究并进行检验的。

2) 太阳提供了地面难以实现的物理环境，对它的研究促进了某些物理学科的发展。在历史上，对于复杂的太阳 Fraunhofer 光谱、色球光谱、以及高温日冕光谱的研究，曾经在谱线认证、谱线加宽机制和高次电离原子的光谱特征等方面促进了光谱学的发展。在近代，关于太阳爆发机制、太阳磁场和太阳活动起源的研究，以及太阳大气动力学和行星际动力学现象的研究，则成为推动等离子体物理和磁流体力学进展的重要因素之一。

3) 太阳辐射性质以及太阳活动规律和日地关系的研究，具有重要的实际应用价值。日地空间环境和地球高空大气结构，在很大程度上是由太阳电磁波辐射和粒子辐射的性质决定的。同时太阳活动现象又对日地空间和地球高空大气产生扰动，引起一系列重要的地球物理现象，例如地球轨道附近的太阳质子事件、电离层骚扰、磁暴、平流层升温等，影响到空间飞行安全、人造卫星受命估计、无线电通讯、极区电力系统、地物探矿、气象和水文预报等与国防和国民经济有关的重要部门。因此，对太阳电磁辐射和粒子流中稳定成分和扰动成分的能谱研究，以及探讨太阳活动的各种规律，并对它们进行预报，具有广泛和重要的实际应用价值。

1.1.2. 色球望远镜和双折射滤光器

色球望远镜 (Chromospheric Telescope) 是观测太阳色球层的专门仪器。由于可见光波段的太阳辐射几乎全部是太阳光球层发射的, 整个可见光波段的色球辐射强度, 其量级只有光球层的 10^{-4} 。因此用普通望远镜所作的白光观测中, 色球辐射的贡献是可以忽略不计的, 即色球是看不见的。然而, 色球辐射中主要是发射线, 连续谱很弱, 在色球发射谱线所在波长处非常狭窄的波段中, 色球辐射强度可以超过光球辐射的强度。这样, 如果在色球发射线波长处用非常狭窄的单色光 ($\Delta \lambda < 1 \text{ \AA}$) 来观测太阳, 看见的就是色球层。因为光球辐射的贡献可以忽略不计。色球望远镜实质上就是光路中附加有透过波长在色球发射线处、透过波宽非常窄的滤光器望远镜。

通常用色球发射的可见光区域最强谱线 H_{α} ($\lambda = 6562.8 \text{ \AA}$) 作为色球望远镜的透过波长, 因此色球望远镜往往也称为 H_{α} 望远镜^[2]。滤光器的透过半宽大多为 $0.25 \sim 0.75 \text{ \AA}$ 。其光路系统如图 1-1 所示。

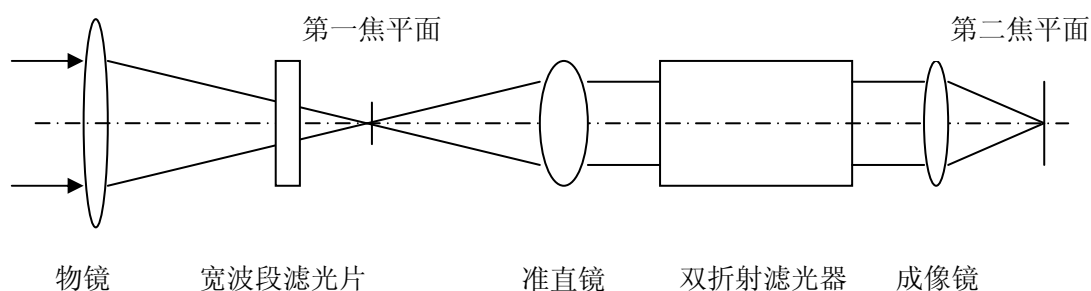
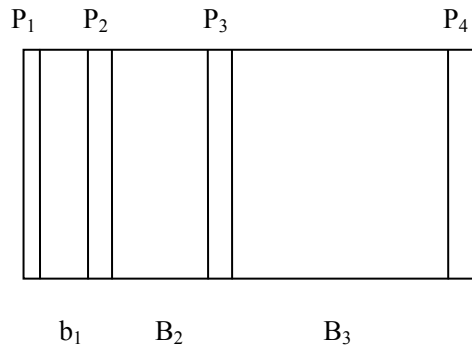


图 1-1 色球望远镜光学系统图^[1]

太阳色球层中有许多重要的活动现象, 如日珥、谱斑和耀斑等, 都可以通过色球望远镜进行观测。

利用偏振光的多级干涉原理, 可以制作非常窄波段的滤光器, 称为偏振干涉单色器 (Polarization-interference Monochromator), 或双折射滤光器 (Birefringent Filter), 也称为 Lyot 滤光器^[3]。是李奥 (Lyot) 和奥曼分别于 1933 年和 1938 年独立发明的。主要用于太阳的单色光观测, 最常用的双折射滤光器, 其透射带半宽在 $0.1 \sim 1 \text{ \AA}$ 之间。大多数的的工作波长为 $6563 \text{ \AA}$ 。双折射滤光器构造如图 1-2 所示。

图 1-2 双折射滤光器构造图^[1]

P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 为偏振片， b_1 、 b_2 、 b_3 为双折射晶体

偏振光进入光轴平行于通光表面的双折射晶片后，分成振动方向垂直于晶轴的寻常光和平行于晶轴的非常光。出射时，它们之间具有以波长 λ 为单位的光程差 $n = \mu d / \lambda$ 。这里 d 为晶片厚度， μ 是双折射率，即寻常光与非常光折射率之差。若再通过一偏振片，两束光就发生干涉。当偏振片的偏振轴平行于入射光的振动方向，且同晶轴成 45° 时，透射光强度为： $\tau = \cos^2 n\pi$ 。n 为整数时， τ 有极大值；而当 n 为半整数时， τ 为零。因此，若入射光是白光，便得到明暗相间的透过带。

1.1.3. 耀斑观测研究及国内外现状

太阳色球层中局部小区域的突然发亮，并迅速增强的现象，又叫色球爆发，它是各种太阳活动中最为剧烈的现象。其位置在谱斑或光斑附近，且常在黑子群周围。耀斑在几分钟内形成，可持续存在几个小时。能量大多是紫外辐射，也发出强 X 射线，还有宇宙线和非高能粒子。所释放的能量极大，最大可达到 10^{25} 焦耳，相当于百万吨级氢弹威力的 100 亿倍。粒子的运动速度比耀斑的光速慢得多，因而一、二天后才能到达地球附近。耀斑发出的辐射和粒子同地球磁场和电离层相互作用，会使地球上的短波无线电通讯中断并出现极光。耀斑是太阳活动最主要的标志。耀斑和黑子有密切关系，它多出现在黑子活动区的上空，并具有同一兴衰过程，活动周期为 11 年。

天文学是一门观测科学，太阳色球层中的许多重要活动现象，例如日珥、谱斑和耀斑等，都可以通过色球望远镜进行观测。最早的太阳耀斑观测活动是

1892年7月,美国天文学家海耳用他自己研制的太阳单色光相机,首次观测到了太阳耀斑。当时人们称之为“爆燃的火焰”,太阳耀斑(Flare)这个名词是到了20世纪50年代才有的。经过100多年不断的观测和研究,科学家们对太阳耀斑已经有了比较深入的认识。

在天文观测领域中,根据不同的观测内容要求望远镜系统具有不同的观测能力。对于太阳表面和太阳大气层中各种电磁活动现象的研究,需要针对各种爆发现象的特点而提出相应的观测方法。日面爆发性活动各有特点,比如太阳耀斑爆发,不同于太阳表面的其它电磁活动现象,它是太阳色球层中局部小区域的突然发亮、并迅速增强的现象,也是各种太阳活动中对日地空间和地球环境影响最大的、最为剧烈的电磁活动现象。虽然耀斑可持续存在几个小时,但它最开始迅速形成的过程中(几分钟至十几分钟)蕴含着关键物理信息,可为耀斑机制的理论研究提供重要依据^[4]。

对于太阳耀斑的地面观测,为了监视太阳色球活动特别是太阳耀斑,目前全世界有几十个天文台每天都用 H_α 色球望远镜从日出到日落不间断的观测太阳,一般 1~5min 进行一次采像,这种方式称为巡视监测。各个天文台还将得到的资料进行交换或联合发表,这些资料不仅是研究太阳耀斑物理机制的重要依据,也是研究太阳活动规律、日地关系和太阳活动预报的重要依据。

国家天文台怀柔观测基地的 14cm 色球望远镜^[5,6]装备有可调的 H_α 滤光器,并装配有拍摄耀斑和其它突发现象的 CCD 相机。可调的 H_α 滤光器调节范围为 $\pm 32\text{\AA}$, 带宽为 $0.5\text{\AA}$ 。并从 2000 年起更换为可变视场模式。配备的科学 CCD 用于全日面 H_α 单色像观测。H_α 全日面望远镜可在日常观测中对日面爆发性活动进行监测,比如对耀斑爆发进行监测^[7]。

由于太阳短波辐射和粒子流形成地球电离层、并产生某些地球物理效应,为了消除这些因素对观测结果的影响,太阳活动监测目前已经不仅仅局限于地面观测,还正在向空间观测发展。空间太阳观测开始于第二次世界大战之后,至今已经有半个多世纪,其观测内容和观测技术不断有所发展。

表 1-1 是对主要的空间太阳活动现象探测器的简介。

表 1-1 主要的空间太阳探测器简介

年代	国家/机构	名称	简介
1973 年	美国	Sky-lab ATM	ATM “阿波罗望远镜组合”，包括 9 种太阳观测仪器。
1980 年	欧、美	SMM	SMM “太阳极大年使者”，主要目标是观测太阳耀斑。
1981 年	日本	Hinotori	主要目标是观测太阳耀斑。
1991 年	日、美、英	Yohkoh	主要目标是观测 X 射线太阳耀斑。
1995 年	欧、美	SOHO	SOHO “太阳和日球天文台”，主要目标是太阳和日球的大尺度结构，日冕、日震、磁场。
1998 年	美国	TRACE	TRACE “过渡区和日冕探测器”，主要目标是用 UV 和 EUV 波段对日冕进行观测。
2002 年	美国	HESSI	HESSI “高能太阳耀斑光谱成像仪”，主要目标是观测太阳耀斑。
2006 年	日本	SOLAR-B	主要目标是太阳磁场。

其中 HESSI 是“高能耀斑光谱成像仪”的缩写，由于太阳耀斑爆发内部磁场呈螺旋型，可以使粒子加速接近于光速，HESSI 可在每次太阳耀斑爆发时拍摄到 γ 射线和高能 X 射线图像，通过对这些图像的研究，可以改进天文学上对耀斑爆发的可预报性，并预知太阳耀斑爆发将对地球产生的影响^[3]。

由于太阳耀斑爆发没有固定的位置和形态，也很难从太阳物理学上寻找其与日面其它电磁活动现象的关系，因此耀斑爆发难以预测，导致在实际观测中常常漏掉爆发活动的最初始阶段，为理论研究带来不便。另外在太阳耀斑突然爆发时，如果不能及时调节 CCD 的曝光时间，将导致图像中亮度饱和的像素数目过多，导致无法从图像资料中识别出耀斑活动区内的变化，显然这将严重影响科研工作的顺利进行。针对此问题，为了获取高质量的太阳耀斑活动全过程的图像信息，需要在日常观测系统中加入实时监测日面活动功能、并能够随时自动调节观测初始条件、重新设置 CCD 曝光时间、以及能完全纪录耀斑爆发全过程等的一系列新的功能。

由于目前国内外天文学界仍没有一套准确预报耀斑发生位置、高度、大小及其后随效应的理论体系，还由于技术条件等诸多方面条件的限制，地面观测系统极少采用实时控制的方式对耀斑爆发进行实时监测。目前这种太阳耀斑自动实时监测功能只有在 SOHO、SOLAR-A、TRACE、HESSI 等空间探测器上才配备。但目前国内的地面太阳望远镜系统尚没有采用耀斑自动监测的方式。

1.2. 论文的研究内容与创新点

天文学是一门观测科学，将最新的技术应用于天文观测、并不断的完善观测系统是天文学的根本任务之一。

太阳活动现象包括太阳黑子、光斑、谱斑、日珥、耀斑爆发等。针对日面各种活动现象的研究，在天文学研究中常常需要对大量的太阳图像资料进行筛选、计算和统计分析，如果观测系统能够具有自动识别各种太阳活动现象的功能，显然将对提高天文学的研究效率起到良好的推动作用。

本课题的重点研究内容之一就是以对研究太阳耀斑的自动识别为例，为了实现太阳耀斑图像实时监测的功能，实现了一套太阳耀斑自动识别软件系统，并创新的将自动识别技术应用于日面活动现象的观测研究中，并取得良好效果。

耀斑的自动识别与监测方法研究就是将天体物理学、自动识别技术、专家系统和计算机技术充分结合的新课题。它将充分运用天文、模式识别、人工智能、信号和图像处理等多方面的知识，协助天文学家研究太阳耀斑爆发的本质，进一步完善太阳物理学知识，并改善太阳预报质量。

实现耀斑的自动识别与监视功能，需要建立一个太阳耀斑自动采集与识别软件包，其目的是实现耀斑实时监控，从而进一步提高H_α全日面太阳望远镜的观测潜力。

耀斑的自动识别与监测系统实质上是先进的自动识别技术与天文学专家经验相结合的一种识别专家系统。自动识别主要研究对各种光、电、声信号(例如图像、语音、文字等)的自动处理和识别，它在图像和信号识别、工件检测和过程控制等方面具有广泛的应用。在耀斑的自动识别与监测研究中，应用自动识别技术可以提高观测系统的识别率、识别速度、以及识别的有效性。但此研究必须要引入专家知识。

目前还没有看到过有关自动识别专家系统在太阳耀斑研究方面的文献，主要原因概括如下：

- 1) 太阳耀斑的自动识别与监测是一个新的、跨学科的研究课题，由于目前天文学界对太阳耀斑爆发机制尚未有清楚的认识，因此对于此类耀斑的自动识别与监测研究，还需要引入更多的实际观测数据以及更深入的研究；

- 2) 太阳耀斑图像的特有性质，使其具有和其它自动识别专家系统不同的

特征。建立一个有效的太阳耀斑的自动识别与监测系统还需要专业研究人员在实践中不断的摸索和总结；

3) 由于地面观测条件的限制，地面望远镜观测系统很少采用自动识别观测方式，只有国外的空间望远镜上采用。

太阳耀斑自动识别软件系统的研究将具有重要的实际意义和理论研究意义：

1) 它将为耀斑爆发物理机制的研究提供重要的实际观测资料；

2) 也为太阳活动预报研究提供重要的观测依据；

3) 该软件系统还将是其它日面活动现象自动识别研究的重要参考，并为日面其它活动现象的自动识别软件的建立提供良好的范例。

在太阳日常观测中，为了获取高质量的太阳耀斑活动全过程的图像信息，需要在全日面观测系统中加入实时监测日面活动、并能够随时自动调节观测初始条件、重新设置 CCD 曝光时间、并能完全纪录耀斑爆发全过程等的一系列新的功能。对于太阳耀斑的自动识别与监测问题的研究，首先需要根据太阳耀斑的物理机制和耀斑图像的各种特征进行图像有效特征提取，再利用适合的识别算法进行耀斑图像的识别，并进行结果分析。为了对观测所得的大量图像进行实时处理，需要观测系统终端具有硬件实时和软件实时的功能，即还应该对现有观测系统终端进行重新设计。

因此本课题的重点研究内容之二为，针对现有 H_α 全日面望远镜观测系统软件部分和硬件部分^[8,9]的一些不完善之处，设计并实现了一套日面活动高速图像处理与识别系统 (high-speed Solar activities characteristics Image Processing and Recognition System, 下文简称 SIPRS)。

SIPRS 系统实现了 H_α 全日面望远镜终端系统的硬件高速实时处理功能、软件实时采集与处理功能，并在观测软件中实现了太阳耀斑的自动识别功能。该系统的设计与实现不仅创新的将自动识别技术应用于太阳活动的观测和识别研究中，并取得良好效果，还将最先进的图像采集技术应用于系统硬件和软件方面的重新设计，进一步完善了 H_α 全日面望远镜终端系统的观测功能。

本文的创新点:

1) 将 UML 建模思想应用于天文望远镜设计的需求分析中,使复杂的需求问题明确化,为后续系统具体设计和实现明确了方向,并为其它天文观测系统的设计提供良好的范例;

2) 将高性能图形工作站和高性能图像采集与处理技术应用于 H_α 全日面望远镜的日常观测系统中,提高了望远镜的观测能力;

3) 目前从国内的文献资料中,还没有看到类似的太阳活动现象自动识别方法研究,也没有太阳耀斑自动识别系统的研制与应用,本课题的研究工作填补了国内此研究领域的空白。

1.3. 论文内容安排

本文分析了耀斑在太阳物理学上的分类,还进行了耀斑图像特征分析,提出了耀斑自动识别的主要目标。在了解耀斑自动识别问题实质的基础上,充分应用识别技术、专家知识等相关领域的知识,提出了自动识别耀斑爆发的方法。在基于上述讨论的基础上,设计并实现了一种灰度阈值分割的太阳耀斑自动识别软件系统。

并在此软件的基础上,对 H_α 全日面太阳望远镜系统终端的图像采集硬件系统、系统控制、以及软件其它各个部分进行了一系列需求分析和建模工作,并设计和实现了 SIPRS (日面活动高速图像处理与识别系统)。SIPRS 系统实现了 H_α 全日面望远镜终端系统的硬件高速实时处理功能、软件实时采集与处理功能,并在观测软件中实现了对太阳耀斑自动识别的功能。

本论文共由八章组成,以下是对每一章主要内容的介绍。

第一章 绪论介绍了论文的课题背景、论文的研究意义;介绍了用于太阳耀斑观测的色球望远镜的基本原理;研究了太阳耀斑观测的发展历史以及国内外研究现状;介绍了论文的主要研究内容以及创新点。

第二章 对 H_α 全日面太阳望远镜系统终端的图像采集硬件系统、系统控制、以及软件其它各个部分进行了一系列需求分析和 UML 建模工作,并设计和实现了 SIPRS (日面活动高速图像处理与识别系统),为后续系统的设计和实现等工作明确了方向。

第三章 针对现有终端硬件系统在开发中存在的数据传输率等问题,选择选

择 DALSA Coreco 公司的 X64-CL Dual 型高速嵌入式图像采集卡、PCI-X 总线等进行了 SIPRS 硬件系统的设计和实现。

第四章 在第三章内容的基础上,对 SIPRS 的系统软件和应用软件部分,包括图像的实时采集、图像预处理、特征提取、太阳耀斑自动识别等部分进行了设计并实现。

第五章 具体研究太阳耀斑自动识别的方法。并将方法对照分析,选取基于灰度阈值分割的的算法进行分类器基本设计,并得出初步的结果。

第六章 在第五章研究的基础上,选取灰度变化率算法实现了太阳耀斑自动识别软件包。并进行统计学习,得出实验结果,并进行结果分析。

第七章 是 SIPRS 的系统测试与结果分析,包括系统硬件测试、系统软件测试、以及太阳耀斑自动识别软件包性能测试总结。

第八章 是本文的工作总结、论文的创新点、以及工作展望。

第 1 章 参考文献

1. 林元章. 太阳物理导论 [M]. 北京:科学出版社, 2000.
2. 李宗伟, 肖兴华. 天体物理学 [M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
3. 程景全. 天文望远镜原理和设计 [M]. 北京:中国科学技术出版社, 2003.
4. 刘学富. 天体观测物理学 [M]. 北京:北京师范大学出版社, 1997.
5. 国家天文台怀柔观测基地. 全日面色球望远镜 [DB/OL].
<http://sun.bao.ac.cn/smct/r142.html>, 2001.
6. 宋国峰, 艾国祥等. 全日面太阳色球磁场望远镜 [J]. 光学技术(增刊), 1995:211-214.
7. 张 斌, 艾国祥等. 多通道太阳望远镜图像接收处理系统总体设计 [J]. 光学技术(增刊), 1995:141-145.
8. 张 斌, 叶祥明, 邓元勇等. 多通道太阳望远镜后端数据处理系统 [J]. 光学技术(增刊), 1995:152-158.
9. 朱立卿. 多通道太阳望远镜电控设计研制介绍 [J]. 光学技术(增刊), 1995:201-203.

第2章 SIPRS系统工作原理与需求分析

国家天文台怀柔太阳观测基地拥有一套高时空分辨率、高灵敏度、适当光谱分辨率和高科学含量的综合望远镜系统^[1]，能同时测量太阳上不同层次、不同尺度的视频矢量磁场、速度场，以及通过光谱扫描获得光谱线轮廓和 Stokes 参数轮廓，主要用于太阳物理的基础研究，日地关系应用基础研究以及太阳活动对空间环境和通讯干扰预报等应用研究。其中口径为 14cm、观测波段为 6563Å 的 H_α 全日面望远镜，可在日常观测中对日面爆发性活动进行监测，比如对耀斑爆发进行监测^[2]。

本章的主要内容为在已有的 H_α 全日面太阳望远镜现有设备的基础上，根据新的需求，并针对现有观测系统一些不完善的功能，提出 SIPRS 系统（high-speed Solar activities characteristics Image Processing and Recognition System，日面活动高速图像处理与识别系统）的设计思想。

首先，对 H_α 全日面太阳望远镜系统终端的图像采集、控制、以及软件其它各个部分进行了一系列需求分析工作，其中包括系统硬件分析、系统软件建模、应用软件建模等，从而明确了整个 SIPRS 系统的功能。其次，利用 UML 建模语言为整个系统建立各种模型，有利于对整个 SIPRS 系统的设计和实现思路有一个整体性的把握，并为后续设计工作的展开提供了一个框架。

2.1 H_α全日面望远镜现有系统简述

2.1.1 H_α全日面望远镜

色球望远镜是用某一单色光观测太阳色球层活动现象(如谱斑、耀斑、日珥等)的光学望远镜, 又称李奥太阳望远镜^[3]。色球层的亮度比光球层微弱得多, 也比白昼天空背景暗弱。平时用普通光学望远镜只能观测到光球, 无法观测色球。如果在望远镜的光路中加一具双折射滤光器, 只透射色球谱线的窄带(带宽 0.25~0.75 Å) 单色光, 在成像焦面上便得到色球的单色像, 既可以用目视, 也可以用照相方法观测。常用来观测色球的谱线是氢线 ($\lambda = 6563 \text{ Å}$) 和电离钙线 ($\lambda = 3934 \text{ Å}$)。有的色球望远镜上还附有普通的望远镜, 以便同时观测光球^[4]。

国家天文台怀柔观测基地的 14cm 望远镜装备有万能可调的 H_α 滤光器、两

个拍摄耀斑和其它突发现象的 CCD 摄像机。可调的 H_{α} 滤光器，调节范围为 $\pm 32\text{\AA}$ ，带宽为 $0.5\text{\AA}$ 。配有两个科学 CCD，其中一个用于全日面 H_{α} 单色像，另一个用于局部像。另外系统还装备了一个 KD*P 调节器，色球磁场可以被观测到。 H_{α} 全日面望远镜可在日常观测中对日面爆发性活动进行监测，比如对耀斑爆发进行监测。主要用于太阳物理的基础研究，日地关系应用基础研究以及太阳活动对空间环境和通讯干扰预报等应用研究。

2.1.2 H_{α} 全日面望远镜光学系统

H_{α} 全日面望远镜的光学系统概图如图 2-1 所示：

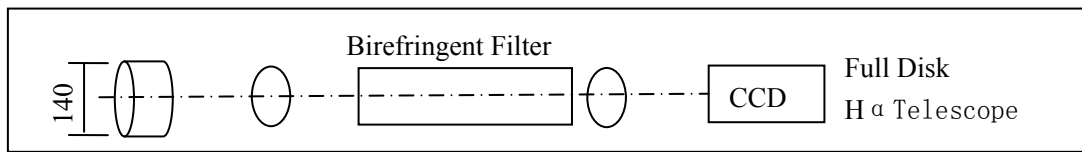


图 2-1 H_{α} 全日面望远镜光学系统概图^[5]

2.1.3 H_{α} 全日面望远镜终端系统

H_{α} 全日面望远镜终端系统框图如图 2-2 所示：

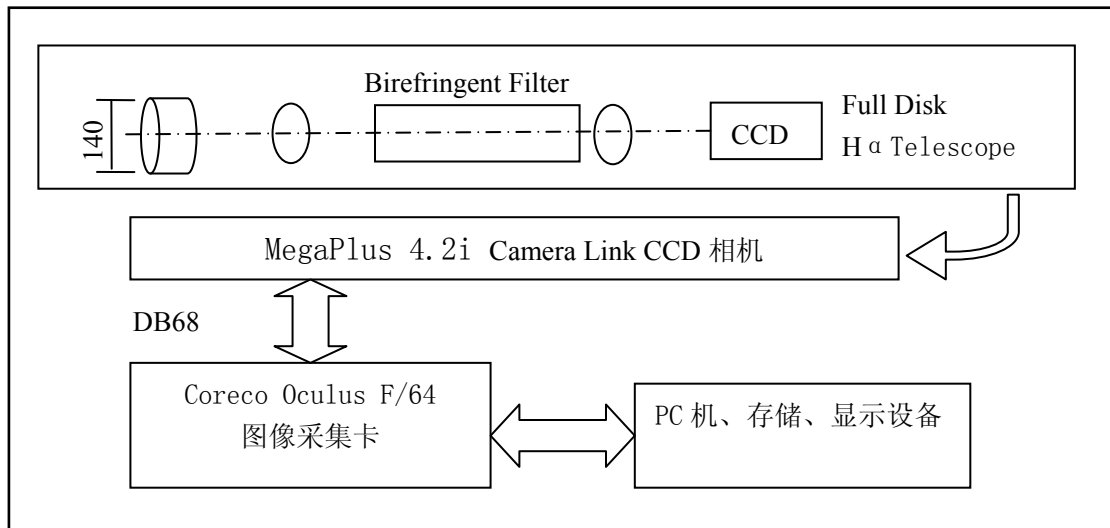


图 2-2 H_{α} 全日面望远镜终端系统框图

2.1.4 RedLake MegaPlus 4.2i数字相机

MegaPlus 4.2i 是 RedLake 公司九十年代初推出的一款高性能数字相机，分辨率高达 420 万像素，每个像素有 1024 个灰度级，即像素深度为 10 位，在

当时提供了超高质量的灰度数字图像。MegaPlus 4.2i 中的 CCD 图像传感器提供了 2029×2044 个边长为 9 微米的矩形像素矩阵，具有 100% 的填充因子、宽广的动态范围超高的灵敏度和精确的尺度测量功能。该相机还有累积工作模式，可明显地减少 CCD 的暗电流，标准最高帧速为 2.1FPS（帧每秒）。一个 68 针、高密度。双行、D 型高速并行接口，跟 SCSI-2 B 线缆接口一致，包括 10 位视频数据信号线（采用 RS422 标准的差分信号，既拥有较高的传送速率，也有较高的抗干扰性）、时序输出信号线（帧使能，行使能和像素数据脉冲，也采用 RS422 差分信号）、控制输入信号（曝光外部控制输入，兼容 RS422 差分信号和 TTL 单端信号）、相机工作模式控制信号线（共 3 条，用于设置相机多种工作模式）和异步串行通信。MegaPlus 4.2i 没有任何手动控制，全部由 PC 机通过串口发送命令来设置和控制相机并从相机获取相关信息，高度可编程的性质使其可以具有广泛和多样化的应用领域，包括机器视觉、高清晰度成像和监视、医学影像、智能交通系统、字符识别并处理文件等等。

MegaPlus 4.2i 的具体特性如下^[6]：

- 4 百万像素级灰度数字相机；
- RS422 差分信号并行接口；
- 10 位数字输出；
- 2029×2044 像素；
- 最大速率 2.1 帧每秒；
- 可编程分辨率；
- 可编程帧速；
- 可编程曝光；
- 可编程外部触发；
- 可编程增益；
- 内置的测试模式；
- 可设置的工作模式；
- 错误信息输出。

其性能参数如表 2-1 所示：

表 2-1 MegaPlus 4.2i 性能参数表^[6]

CCD Imager	Imaging Device	Kodak KAF-4202, solid-state CCD, full-frame imager
	Sensor Readout	Progressive scan
	Pixel Size	9 μm (square format)
	Resolution	2029 x 2044 pixels (4,147,276)
	Pixel Spacing	9 μm , vertical and horizontal
	Active Area	18.29mm horizontal x 18.40mm vertical
	Fill Factor	100%
Image Quality	Image Uniformity	5% non-uniformity
	Responsivity	2860 to 45370 8-bit counts/ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ –second @ 550 nm (depending on gain)
	Bit Depth	10 bits
	Dynamic Range	67dB (10-bit)
	Temporal Noise	<.05% rms
	Dark Current	<10pA/cm ² @ 25°C
Camera Exposure and Control	Camera Output	Digital Video
	Pixel Clock Rate	10 MHz
	Frame Rate	Up to 2.1 fps
	Exposure Settings	Mechanical shutter: 10 to 100,000 ms
	Operation Modes	Continuous, Control, Trigger
	Gain Settings	2 to 24dB in steps of 2dB
Mechanical Description	Lens Mount	C or F mount
	Dimensions	F-mount: 4.45"H x 3.9"W x 5.84"L (113.0 x 99.1 x 148.3mm) C-mount: 4.45"H x 3.9"W x 4.68"L (113.0 x 99.1 x 118.8mm)
	Weight	3 lbs (1.26kg)
Environmental	Operating Temp	0° to 35°C (32° to 95°F), non-condensing

Requirements	Vibration	3G, sinusoidal from 5 to 150 Hz
	Shock	20G, non-operating
Power	Input Voltage	12 to 28 VDC
Requirements	Power Consumption	8 watts, typical

MegaPlus 4.2i 相机中的 CCD 图像传感器 KAF-4202 的光谱响应图如图 2-3 所示:

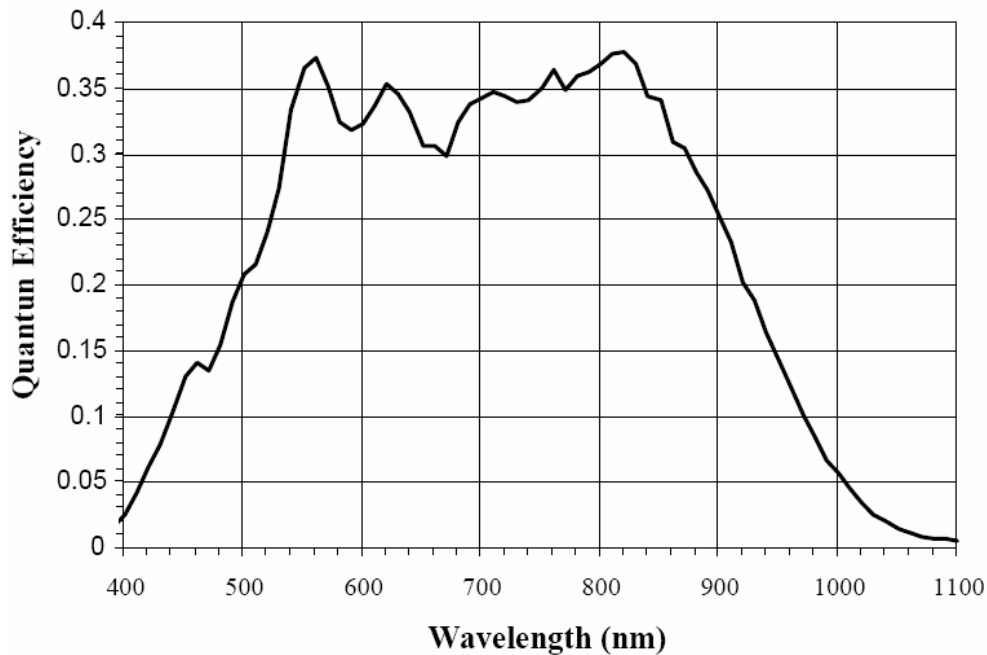


图 2-3 KAF-4202 光谱响应图^[6]

2.1.5 Coreco Oculus-F/64 图像采集卡

Coreco 公司生产的老一代图像插件板——oculus-f/64，是专门为同时图像采集和处理而设计的图像板卡^[7]。尽管 oculus-f/64 采用老式 ISA 总线接口，但 Coreco 公司提供了一个接口模块以便把 oculus-f/64 连接到 PCI 总线上去。oculus-f/64 支持 120mb / s 的道信带宽，它是以帧缓冲器来实现的，提供了访问原存储图像的存取方法，这些图像的分析甚至可以与数据采集同时进行。oculus-f/64 板卡采用的是 TI 公司的 TMS320c40DSP 和 TMS43020 图像信号处理器，TMS320c40DSP 和 TMS43020 两者均可以和实时直方图处理器以及 Coreco 公司的专有 IP 引擎一起工作。

2.1.6 观测软件介绍

该采集程序用 C++ 编写, 实现了全日面太阳图像的实时采集、CCD 采像设置、生成 FITS 文件、图像存储等功能。采集程序采用了 Coreco 公司的 SaperalT 图像采集程序库。这套 H_α 全日面望远镜终端采集软件编写于 2001 年。

2.1.7 现有终端系统在开发中存在的问题

尽管 H_α 全日面望远镜现有系统大致可以满足基本的太阳日常观测的需要, 但为了完善观测系统的性能, 仍需对现有系统进行改进, 以下是针对需要改进部分的大致说明。

1) 硬件系统需要改进的问题:

■ 数字 CCD 相机帧速低。MegaPlus 4.2i 相机最高帧速才 2.1 帧每秒, 只能用于捕捉变化较为缓慢的日面活动。而大部分的日面活动变化都较为剧烈, 各种层次的信息变化也较快, 因此 MegaPlus 4.2i 相机捕捉的日面活动变化信息非常有限, 满足不了快速日面活动研究的需求。因此需要帧速更高的新型 CCD 数字相机。

■ 图像采集卡采集吞吐率低, 图像处理速度慢, 功能有限。现有的 Coreco Oculus-F/64 图像采集卡是 ISA 总线接口, 最高数据吞吐率只有 5.3MB/s, 而 MegaPlus 4.2i 相机在最高帧速时速率都到了 8.4MB/s; Coreco Oculus-F/64 图像采集卡上采用的 TI 公司 TMS320c40DSP 和 TMS43020 图像信号处理器是九十年代初的图像处理器, 现在都已经淘汰, 其功能和性能跟现在的图像处理器根本不能相提并论; 现在的工控机几乎已经淘汰了 ISA 接口, 显然老式的接口设计严重影响图像的采集与处理速度, 需要采用新一代图像采集卡。

■ 终端图像处理性能低。现有的图像处理终端系统采用的工控机主板、处理器性能都较低, 支持的内存容量也十分有限, 不能满足日面活动实时图像处理高吞吐率下的数据处理需求, 采用因此需要新一代的工控机, 特别是新一代的图像工作站。

■ 显示器唯一。现有的图像处理终端系统只支持一个显示器, 且显卡的独立显存容量小, 接口为速度居中的 AGP 接口, 不能满足多显示器观测、同时显示和高数据吞吐率的需求, 因此需要能够支持多个显示器的新型图像处理终端系统。

■ 存储容量低。现有的图像处理终端系统只能支持主从两个硬盘，存储容量小。如果其中一个（另一个用于存储操作系统和各种管理、办公和图像处理以及程序开发的软件）160GB 的硬盘全部用来存储全日面 FITS 图像，也仅仅能存 27538 张（在太阳活动低年约等于 1 个月的实际观测数据量，在峰年则不足 2 周），这还不包括文件系统的开销。因此需要能支持硬盘阵列工作站来实现高速存储和回放功能。

■ 网络接口单一且速度低。现有的图像处理终端系统只有 PCI 接口，配备了一个 100M 的以太网口，不能扩展千兆以太网。满足不了多用户同时访问共享的太阳观测图像资料的需求。因此需要最好能够支持两个千兆以太网的工作站，一个用于远程管理，一个用于共享太阳观测图像资料的远程访问。

2) 软件系统需要改进的问题：

■ 不能自动捕获日面活动。现有的观测软件不能自动捕获常见的日面活动（如耀斑、日珥等），需要观测员进行人工观测，这样既给工作人员带来很大的压力，也容易漏掉爆发过快或者爆发不明显的日面活动，不能实现观测期间对日面活动的连续监视。当察觉到日面活动爆发后，还需人工调节图像保存周期，这样显然又丢掉了一部分日面爆发过程，甚至有可能丢掉整个短暂的爆发过程。另外由于相机帧速低，能捕获的图像帧数也很有限，捕获的图像帧非常不连续，根本达不到连续的视觉效果（大于 25 帧每秒）。因此需要设计日面活动在线实时识别功能，实时识别日面活动的到来，自动进行曝光控制和存储控制。

■ 没有日面活动实时在线分析与处理功能。虽然现有的 H_α 全日面望远镜系统可以实现对耀斑图像的采集，但却不能根据具体的科研目标进行实时分析，只能把主要的分析与处理工作留在离线处理。这样既影响工作效率，同时也难以完全满足某些具体科研工作（例如针对太阳耀斑爆发的识别问题）对观测资料的特殊需求。因此，需要在现有观测软件中加入图像实时处理功能，用以完善望远镜观测系统的软件功能。

■ 没有数据管理功能。观测的太阳图像资料主要以文件和目录的方式存放，以观测时间和日期来命名，采用 FTP 服务器来进行远程访问。不利于观测资料的管理、查询、数据统计和信息共享。因此需要配备大型数据库，用于太阳观测图像的存储、管理、查询、统计和远程共享访问等等。

■ 没有数据压缩功能。太阳观测图像包含较多的冗余信息，现有观测软件不具备图像压缩功能，所生成的 FITS 图像文件占用很大的磁盘空间。怀柔太阳观测基地的全日面色球 H α 太阳单色像的大小(FITS 格式)就有 8293440 个字节， $8293440=2880+2032\times 2040\times 2$ 。若采用压缩的 NTFS 文件格式，操作系统为 WINDOWS XP SP2，其在硬盘上约占 5.81MB 的空间。在离线压缩的试验中，无损压缩率最高可达 3 倍，如果进行这样的无损压缩后再存储，则可存储到原来 2 至 3 倍的图像资料。因此可增加太阳图像的无损压缩功能，增加存储的信息量。

■ 没有日面图像资料多图预览功能。现有的观测软件只能生成 FITS 格式的图像文件，图像大，数据量也大，而且通常没有相应的图像查看软件来进行查看，只有配备专业的处理软件才可。由于一个 FITS 文件大小多达 8M 多，非常占有网络流量，不利于图像资料的预览。现在离线生成的 JPEG 图像文件，由于没有对原始图像进行缩放，图像非常大，一个 17 寸的显示器都显示不了一幅没经过缩小的全日面图，虽然数据量大大减少，但依然不利于浏览。因此需要添加图像缩小和高压缩率压缩的功能，将原始图像缩小到 100×100 像素大小，将近原始大小的 $1/100$ ，并采用 JPEG2000 进行高达 36 压缩率（依然可以保持很高的清晰度）的压缩，这样的图像文件都非常小，只有几 K 字节，十分适合远程浏览，用于快速挑选感兴趣的资料进行研究。

2.2 面向对象的开发方法简述

面向对象^[8] (Object Oriented, OO)是当前计算机界关心的重点，它是 90 年代软件开发方法的主流。面向对象的概念和应用已超越了程序设计和软件开发，扩展到很宽的范围。如数据库系统、交互式界面、应用结构、应用平台、分布式系统、网络管理结构、CAD 技术、人工智能等领域。

表面来看，面向对象这个术语的意思是，把软件组织成一系列离散的、合并了数据结构和行为的对象。这与以前软件开发方法中数据结构和行为只是松散关联是不同的。关于 OO 方法确切需要哪些特征学术界是有争议的，但大致上它们都包含四个方面：标识 (identity)，分类(classification)，继承 (inheritance)，多态(polymorphism)。

1) 标识：数据被量化成被称为对象的离散的、可辨别的实体。每个对象都有它自己的内部标识。换言之，即使所有的属性都相同，每两个对象也是有

差别的。

2) 分类：拥有相同数据结构（属性）和行为（操作）的对象被分组成为一个类。

3) 继承：多个类基于一种分层关系，共享类间的属性和操作（合称为特征）。

4) 多态：对于不同的类来说，相同的操作会有不同的动作。

2.2.1 传统开发方法存在的问题

软件重用性差：

重用性是指同一事物不经修改或稍加修改就可多次重复使用的性质。软件重用性是软件工程追求的目标之一。

软件可维护性差：

软件工程强调软件的可维护性，强调文档资料的重要性，规定最终的软件产品应该由完整、一致的配置成分组成。在软件开发过程中，始终强调软件的可读性、可修改性和可测试性是软件的重要的质量指标。实践证明，用传统方法开发出来的软件，维护时其费用和成本仍然很高，其原因是可修改性差，维护困难，导致可维护性差。

软件不能满足用户需求：

用传统的结构化方法开发大型软件系统涉及各种不同领域的知识，在开发需求模糊或需求动态变化的系统时，所开发出的软件系统往往不能真正满足用户的需要。

用结构化方法开发的软件，其稳定性、可修改性和可重用性都比较差，这是因为结构化方法的本质是功能分解，从代表目标系统整体功能的单个处理着手，自顶向下不断把复杂的处理分解为子处理，这样一层一层的分解下去，直到只剩下若干个容易实现的子处理功能为止，然后用相应的工具来描述各个最低层的处理。因此，结构化方法是围绕实现处理功能的“过程”来构造系统的。然而，用户需求的变化大部分是针对功能的，因此，这种变化对于基于过程的设计来说是灾难性的。用这种方法设计出来的系统结构常常是不稳定的，用户需求的变化往往造成系统结构的较大变化，从而需要花费很大代价才能实现这种变化。

2.2.2 面向对象的基本概念

对象：

对象是人们要进行研究的任何事物，从最简单的整数到复杂的飞机等均可看作对象，它不仅能表示具体的事物，还能表示抽象的规则、计划或事件。

对象的状态和行为：

对象具有状态，一个对象用数据值来描述它的状态。

对象还有操作，用于改变对象的状态，对象及其操作就是对象的行为。

对象实现了数据和操作的结合，使数据和操作封装于对象的统一体中。

类：

具有相同或相似性质的对象的抽象就是类。因此，对象的抽象是类，类的具体化就是对象，也可以认为类的实例是对象。

类具有属性，它是对象的状态的抽象，用数据结构来描述类的属性。

类具有操作，它是对象的行为的抽象，用操作名和实现该操作的方法来描述。

类的结构：

在客观世界中有若干类，这些类之间有一定的结构关系。通常有两种主要的结构关系，即一般—具体结构关系，整体—部分结构关系。

一般—具体结构称为分类结构，也可以认为是“或”关系。

整体—部分结构称为组装结构，它们之间的关系是一种“与”关系。

消息和方法：

对象之间进行通信的结构叫做消息。在对象的操作中，当一个消息发送给某个对象时，消息包含接收对象去执行某种操作的信息。发送一条消息至少应包括说明接受消息的对象名、发送给该对象的消息名（即对象名、方法名）。一般还要对参数加以说明，参数可以是认识该消息的对象所知道的变量名，或者是所有对象都知道的全局变量名。

2.2.3 面向对象的特征

对象唯一性：

每个对象都有自身唯一的标识，通过这种标识，可找到相应的对象。在对象的整个生命期中，它的标识都不改变，不同的对象不能有相同的标识。

分类性:

分类性是指将具有一致的数据结构(属性)和行为(操作)的对象抽象成类。一个类就是这样一种抽象,它反映了与应用有关的重要性质,而忽略其他一些无关内容。任何类的划分都是主观的,但必须与具体的应用有关。

继承性:

继承性是子类自动共享父类数据结构和方法的机制,这是类之间的一种关系。在定义和实现一个类的时候,可以在一个已经存在的类的基础之上来进行,把这个已经存在的类所定义的内容作为自己的内容,并加入若干新的内容。

继承性是面向对象程序设计语言不同于其它语言的最重要的特点,是其他语言所没有的。

在类层次中,子类只继承一个父类的数据结构和方法,则称为单重继承。

在类层次中,子类继承了多个父类的数据结构和方法,则称为多重继承。

在软件开发中,类的继承性使所建立的软件具有开放性、可扩充性,这是信息组织与分类的行之有效的方法,它简化了对象、类的创建工作量,增加了代码的可重用性。

采用继承性,提供了类的规范的等级结构。通过类的继承关系,使公共的特性能够共享,提高了软件的重用性。

多态性:

多态性又称为多形性,是指相同的操作或函数、过程可作用于多种类型的对象上并获得不同的结果。不同的对象,收到同一消息可以产生不同的结果,这种现象称为多态性。

多态性允许每个对象以适合自身的方式去响应共同的消息。

多态性增强了软件的灵活性和重用性。

2.2.4 面向对象的要素**抽象:**

抽象是指强调实体的本质、内在的属性。在系统开发中,抽象指的是在决定如何实现对象之前的对象的意义和行为。使用抽象可以尽可能避免过早考虑一些细节。

“类”实现了对象的数据(即状态)和行为的抽象。

封装性:

封装性又称为信息隐藏，是保证软件部件具有优良的模块性的基础。

面向对象的类是封装良好的模块，类定义将其说明（用户可见的外部接口）与实现（用户不可见的内部实现）显式地分开，其内部实现按其具体定义的作用域提供保护。

对象是封装的最基本单位。封装防止了程序相互依赖性而带来的变动影响。面向对象的封装比传统语言的封装更为清晰、更为有力。

共享性:

面向对象技术在不同级别上促进了共享。

同一类中的共享。同一类中的对象有着相同数据结构。这些对象之间是结构、行为特征的共享关系。

在同一应用中共享。在同一应用的类层次结构中，存在继承关系的各相似子类中，存在数据结构和行为的继承，使各相似子类共享共同的结构和行为。使用继承来实现代码的共享，这也是面向对象的主要优点之一。

在不同应用中共享。面向对象不仅允许在同一应用中共享信息，而且为未来目标的可重用设计准备了条件。通过“类库”这种机制和结构来实现不同应用中的信息共享。

强调对象结构:

强调对象结构而不是程序结构。强调的重点不是程序结构，而且这种设计模式在某种程度上能够改善程序结构。

2.2.5 面向对象的开发方法

目前，面向对象开发方法的研究已日趋成熟，国际上已有不少面向对象产品出现。面向对象开发方法有 Coad 方法、Booch 方法和 OMT 方法等。

Booch方法:

Booch 最先描述了面向对象的软件开发方法的基础问题，指出面向对象开发是一种根本不同于传统的功能分解的设计方法。面向对象的软件分解更接近人对客观事务的理解，而功能分解只通过问题空间的转换来获得。

Coad方法:

Coad 方法是 1989 年 Coad 和 Yourdon 提出的面向对象开发方法。该方法的

主要优点是通过多年来大系统开发的经验与面向对象概念的有机结合,在对象、结构、属性和操作的认定方面,提出了一套系统的原则。该方法完成了从需求角度进一步进行类和类层次结构的认定。尽管 Coad 方法没有引入类和类层次结构的术语,但事实上已经在分类结构、属性、操作、消息关联等概念中体现了类和类层次结构的特征。

OMT方法:

OMT 方法是 1991 年由 James Rumbaugh 等 5 人提出来的,其经典著作作为“面向对象的建模与设计”。

该方法是一种新兴的面向对象的开发方法,开发工作的基础是对真实世界的对象建模,然后围绕这些对象使用分析模型来进行独立于语言的设计,面向对象的建模和设计促进了对需求的理解,有利于开发得更清晰、更容易维护的软件系统。该方法为大多数应用领域的软件开发提供了一种实际的、高效的保证,努力寻求一种问题求解的实际方法。

UML语言:

UML(Unified Modeling Language),统一建模语言。软件工程领域在 1995 年~1997 年取得了前所未有的进展,其成果超过软件工程领域过去 15 年的成就总和,其中最重要的成果之一就是统一建模语言(UML)的出现。UML将是面向对象技术领域内占主导地位的标准建模语言。

UML不仅统一了Booch方法、OMT方法、OOSE方法的表示方法,而且对其作了进一步的发展,最终统一为大众接受的标准建模语言。UML是一种定义良好、易于表达、功能强大且普遍适用的建模语言。它融入了软件工程领域的新思想、新方法和新技术。它的作用域不限于支持面向对象的分析与设计,还支持从需求分析开始的软件开发全过程。

2.2.6 对象模型简述

对象模型表示了静态的、结构化的系统数据性质,描述了系统的静态结构,它是从客观世界实体的对象关系角度来描述,表现了对对象的相互关系。该模型主要关心系统中对象的结构、属性和操作,它是分析阶段三个模型的核心,是其他两个模型的框架。

对象和类：

对象：

对象建模的目的就是描述对象。

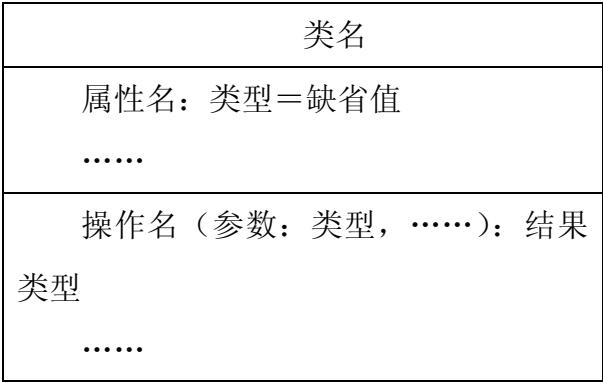


图 2-4 类的符号表示^[8]

类：

通过将对象抽象成类，我们可以使问题抽象化，抽象增强了模型的归纳能力。

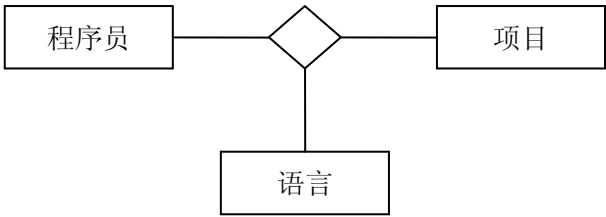


图 2-5 三元关联^[8]

属性：

属性指的是类中对象所具有的性质（数据值）

操作和方法：

操作是类中对象所使用的一种功能或变换。类中的各对象可以共享操作，每个操作都有一个目标对象作为其隐含参数。方法是类的操作的实现步骤。

关联和链：

关联是建立类之间关系的一种手段，而链则是建立对象之间关系的一种手段。

1) 关联和链的含义:

链表示对象间的物理与概念联结, 关联表示类之间的一种关系, 链是关联的实例, 关联是链的抽象。

2) 角色:

角色说明类在关联中的作用, 它位于关联的端点。

3) 受限关联:

受限关联由两个类及一个限定词组成, 限定词是一种特定的属性, 用来有效的减少关联的重数, 限定词在关联的终端对象集中说明。

限定提高了语义的精确性, 增强了查询能力, 在现实世界中, 常常出现限定词。

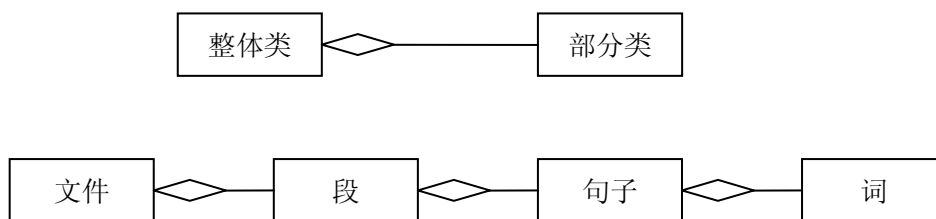
4) 关联的多重性:

关联的多重性是指类中有多少个对象与关联的类的一个对象相关。重数常描述为“一”或“多”。

类的层次结构:

1) 聚集关系:

聚集是一种“整体—部分”关系。在这种关系中, 有整体类和部分类之分。聚集最重要的性质是传递性, 也具有逆对称性。

图 2-6 聚集关系^[8]

聚集可以有不同层次, 可以把不同分类聚集起来得到一颗简单的聚集树, 聚集树是一种简单表示, 比画很多线来将部分类联系起来简单得多, 对象模型应该容易地反映各级层次, 图 2-6 表示一个关于微机的多极聚集。

2) 一般化关系:

一般化关系是在保留对象差异的同时共享对象相似性的一种高度抽象方

式。它是“一般——具体”的关系。一般化类称为父类，具体类又能称为子类，各子类继承了父类的性质，而各子类的一些共同性质和操作又归纳到父类中。因此，一般化关系和继承是同时存在的。一般化关系的符号表示是在类关联的连线上加一个小三角形，如图 2-7 所示。

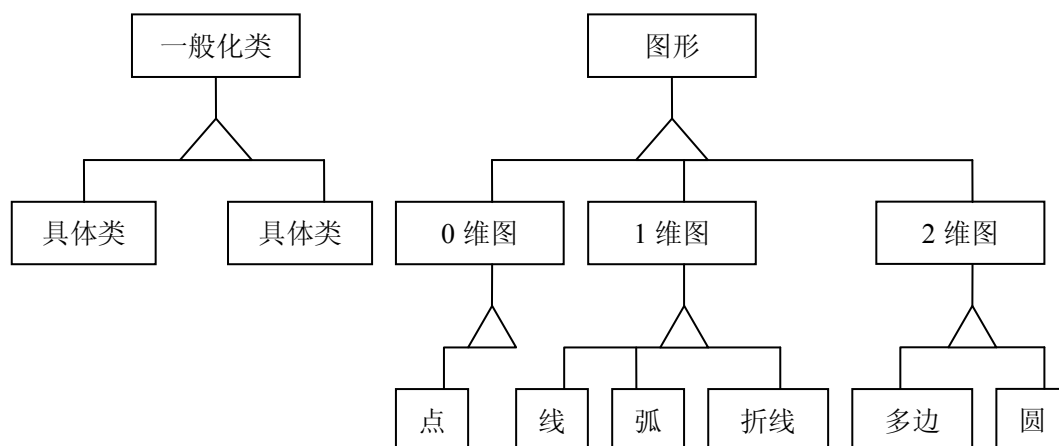


图 2-7 一般化关系^[8]

对象模型：

1) 模版：

模版是类、关联、一般化结构的逻辑组成。

2) 对象模型：

对象模型是由一个或若干个模板组成。模板将模型分为若干个便于管理的子块，在整个对象模型和类及关联的构造块之间，模板提供了一种集成的中间单元，模板中的类名及关联名是唯一的。

2.2.7 动态模型简述

动态模型是与时间和变化有关的系统性质。该模型描述了系统的控制结构，它表示了瞬间的、行为化的系统控制性质，它关心的是系统的控制，操作的执行顺序，它表示从对象的事件和状态的角度出发，表现了对对象的相互行为。该模型描述的系统属性是触发事件、事件序列、状态、事件与状态的组织。使用状态图作为描述工具。它涉及到事件、状态、操作等重要概念。

事件：

事件是指定时刻发生的某件事。

状态：

状态是对象属性值的抽象。对象的属性值按照影响对象显著行为的性质将其归并到一个状态中去。状态指明了对象对输入事件的响应。

状态图：

状态图是一个标准的计算机概念，他是有限自动机的图形表示，这里把状态图作为建立动态模型的图形工具。

状态图反映了状态与事件的关系。当接收一事件时，下一状态就取决于当前状态和所接收的该事件，由该事件引起的状态变化称为转换。

状态图是一种图，用结点表示状态，结点用圆圈表示；圆圈内有状态名，用箭头连线表示状态的转换，上面标记事件名，箭头方向表示转换的方向。

2.2.8 功能模型简述

功能模型描述了系统的所有计算。功能模型指出发生了什么，动态模型确定什么时候发生，而对象模型确定发生的客体。功能模型表明一个计算如何从输入值得到输出值，它不考虑计算的次序。功能模型由多张数据流图组成。数据流图用来表示从源对象到目标对象的数据值的流向，它不包含控制信息，控制信息在动态模型中表示，同时数据流图也不表示对象中值的组织，值的组织在对象模型中表示。图 2-8 给出了一个窗口系统的图标显示的数据流图。

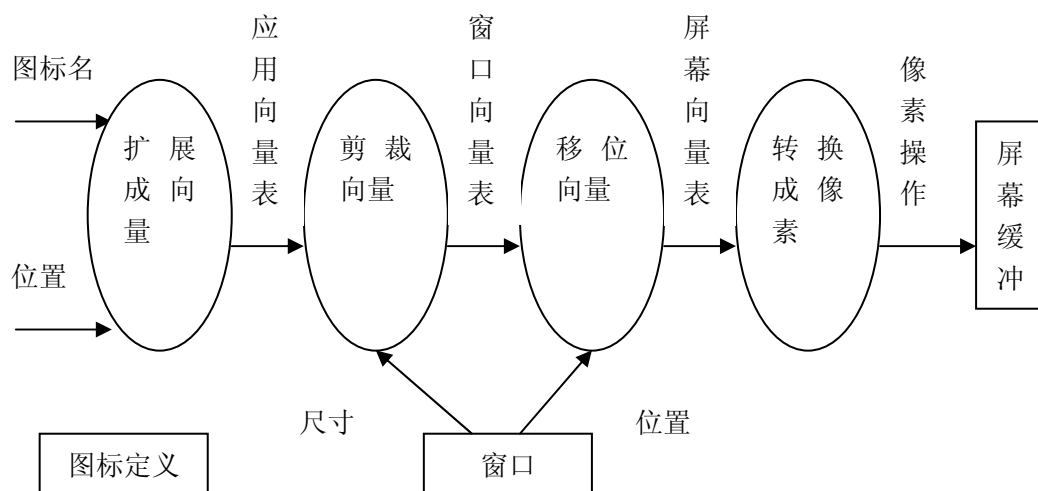


图 2-8 窗口系统的图标显示^[8]

数据流图中包含有处理、数据流、动作对象和数据存储对象。

处理：

数据流图中的处理用来改变数据值。最低层处理是纯粹的函数，一张完整的数据流图是一个高层处理。

数据流：

数据流图中的数据流将对象的输出与处理、处理与对象的输入、处理与处理联系起来。在一个计算机中，用数据流来表示一个中间数据值，数据流不能改变数据值。

动作对象：

动作对象是一种主动对象，它通过生成或者使用数据值来驱动数据流图。

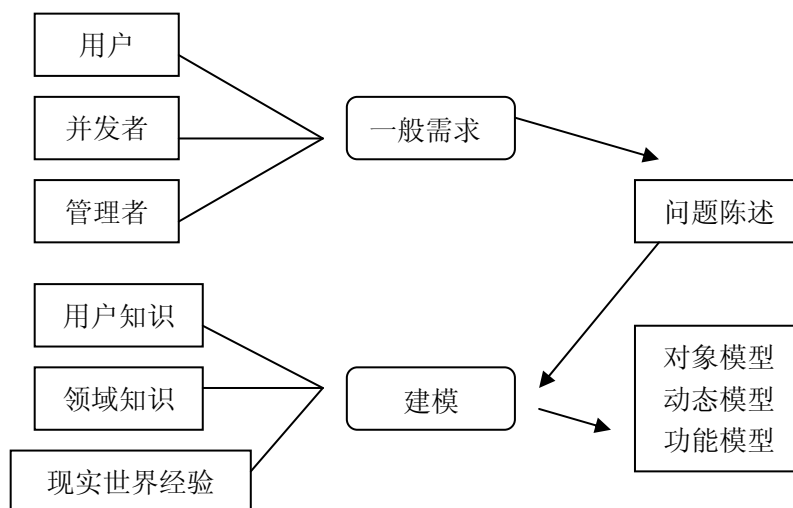
数据存储对象：

数据流图中的数据存储是被动对象，它用来存储数据。它与动作对象不一样，数据存储本身不产生任何操作，它只响应存储和访问的要求。

2.2.9 面向对象的分析

面向对象分析的目的是对客观世界的系统进行建模。分析模型有三种用途：用来明确问题需求；为用户和开发人员提供明确需求；为用户和开发人员提供一个协商的基础，作为后继的设计和实现的框架。

面向对象的分析：



系统设计

图 2-9 面向对象分析过程^[8]

系统分析的第一步是：陈述需求。分析者必须同用户一块工作来提炼需求，因为这样才表示了用户的真实意图，其中涉及对需求的分析及查找丢失的信息。

建立对象模型：

首先标识和关联，因为它们影响了整体结构和解决问题的方法，其次是增加属性，进一步描述类和关联的基本网络，使用继承合并和组织类，最后操作增加到类中去作为构造动态模型和功能模型的副产品。

1) 确定类：

构造对象模型的第一步是标出来自问题域的相关的对象类，对象包括物理实体和概念。所有类在应用中都必须有意义，在问题陈述中，并非所有类都是明显给出的。有些是隐含在问题域或一般知识中的。

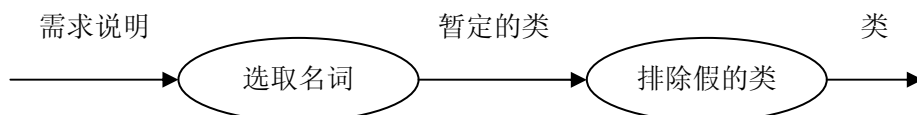


图 2-10 确定类的过程^[8]

根据下列标准，去掉不必要的类和不正确的类。

- (1) 冗余类：若两个类表述了同一个信息，保留最富有描述能力的类。
- (2) 不相干的类：除掉与问题没有关系或根本无关的类。
- (3) 模糊类：类必须是确定的。
- (4) 属性：某些名词描述的是其他对象的属性，则从暂定类中删除。如果某一性质的独立性很重要，就应该把他归属到类，而不把它作为属性。
- (5) 操作：如果问题陈述中的名词有动作含义，则描述的操作就不是类。但是具有自身性质而且需要独立存在的操作应该描述成类。

2) 准备数据字典：

为所有建模实体准备一个数据字典。准确描述各个类的精确含义，描述当前问题中的类的范围，包括对类的成员、用法方面的假设或限制。

3) 确定关联：

两个或多个类之间的相互依赖就是关联。一种依赖表示一种关联，可用各种方式来实现关联，但在分析模型中应删除实现的考虑，以便设计时更为灵活。关联常用描述性动词或动词词组来表示，其中有物理位置的表示、传导的动作、通信、所有者关系、条件的满足等。从问题陈述中抽取所有可能的关联表述，把它们记下来，但不要过早去细化这些表述。

使用下列标准去掉不必要和不正确的关联：

(1) 若某个类已被删除，那么与它有关的关联也必须删除或者用其它类来重新表述。

(2) 不相干的关联或实现阶段的关联：删除所有问题域之外的关联或涉及实现结构中的关联。

(3) 动作：关联应该描述应用域的结构性质而不是瞬时事件。

(4) 派生关联：省略那些可以用其他关联来定义的关联。因为这种关联是冗余的。

4) 确定属性：

属性是个体对象的性质，属性通常用修饰性的名词词组来表示。形容词常常表示具体的可枚举的属性值，属性不可能在问题陈述中完全表述出来，必须借助于应用域的知识及对客观世界的知识才可以找到它们。只考虑与具体应用直接相关的属性，不要考虑那些超出问题范围的属性。首先找出重要属性，避免那些只用于实现的属性，要为各个属性取有意义的名字。按下列标准删除不必要的和不正确的属性：

对象：若实体的独立存在比它的值重要，那么这个实体不是属性而是对象。

定词：若属性值取决于某种具体上下文，则可考虑把该属性重新表述为一个限定词。

名称：名称常常作为限定词而不是对象的属性，当名称不依赖于上下文关系时，名称即为一个对象属性，尤其是它不惟一时。

标识符：在考虑对象模糊性时，引入对象标识符表示，在对象模型中不列出这些对象标识符，它是隐含在对象模型中，只列出存在于应用域的属性。

内部值：若属性描述了对外不透明的对象的内部状态，则应从对象模型中删除该属性。

细化：忽略那些不可能对大多数操作有影响的属性。

5) 使用继承来细化类：

使用继承来共享公共机构，以次来组织类，可以用两种方式进行。

自底向上通过把现有类的共同性质一般化为父类，寻找具有相似的属性，关系或操作的类来发现继承。有些一般化结构常常是基于客观世界边界的现有分类，只要可能，尽量使用现有概念。对称性常有助于发现某些丢失的类。

自顶向下将现有的类细化为更具体的子类。当同一关联名出现多次且意义也相同时，应尽量具体化为相关联的类。在类层次中，可以为具体的类分配属性和关联。各属性和都应分配给最一般的适合的类，有时也加上一些修正。

6) 完善对象模型：

对象建模不可能一次就能保证模型是完全正确的，软件开发的整个过程就是一个不断完善的过程。模型的不同组成部分多半是在不同的阶段完成的，如果发现模型的缺陷，就必须返回到前期阶段去修改，有些细化工作是在动态模型和功能模型完成之后才开始进行的。

几种可能丢失对象的情况及解决办法：

同一类中存在毫无关系的属性和操作，则分解这个类，使各部分相互关联；
一般化体系不清楚，则可能分离扮演两种角色的类；
存在无目标类的操作，则找出并加上失去目标的类；
存在名称及目的相同的冗余关联，则通过一般化创建丢失的父类，把关联组织在一起。

查找多余类：

类中缺少属性，操作和关联，则可删除这个类。

查找丢失的关联：

丢失了操作的访问路径，则加入新的关联以回答查询。

建立动态模型：

1) 准备脚本：

动态分析从寻找事件开始，然后确定各对象的可能事件顺序。在分析阶段不考虑算法的执行，算法是实现模型的一部分。

2) 确定事件：

确定所有外部事件。事件包括所有来自或发往用户的信息、外部设备的信号、输入、转换和动作，可以发现正常事件，但不能遗漏条件和异常事件。

3) 准备事件跟踪表：

把脚本表示成一个事件跟踪表，即不同对象之间的事件排序表，对象为表中的列，给每个对象分配一个独立的列。

4) 构造状态图：

对各个对象类建立状态图，反映对象接收和发送的事件，每个事件跟踪都对应于状态图中一条路径。

建立功能模型：

功能模型用来说明值是如何计算的，表明值之间的依赖关系及相关的功能，数据流图有助于表示功能依赖关系，其中的处理应于状态图的活动和动作，其中的数据流对应于对象图中的对象或属性。

1) 确定输入值、输出值：

先列出输入、输出值，输入、输出值是系统与外界之间的事件的参数。

2) 建立数据流图：

数据流图说明输出值是怎样从输入值得来的，数据流图通常按层次组织。

确定操作：

在建立对象模型时，确定了类、关联、结构和属性，还没有确定操作。只有建立了动态模型和功能模型之后，才可能最后确定类的操作。

2.2.10 面向对象的设计

面向对象的设计是把分析阶段得到的需求转变成符合成本和质量要求的、抽象的系统实现方案的过程。从面向对象分析到面向对象设计，是一个逐渐扩充模型的过程。

瀑布模型把设计进一步划分成概要设计和详细设计两个阶段，类似地，也可以把面向对象设计再细分为系统设计和对象设计。系统设计确定实现系统的策略和目标系统的高层结构。对象设计确定解空间中的类、关联、接口形式及实现操作的算法。

面向对象设计的准则：

1) 模块化：

面向对象开发方法很自然地支持了把系统分解成模块的设计原则：对象就是模块。它是把数据结构和操作这些数据的方法紧密地结合在一起所构成的模块。

2) 抽象：

面向对象方法不仅支持过程抽象，而且支持数据抽象。

3) 信息隐藏：

在面向对象方法中，信息隐藏通过对象的封装性来实现。

4) 低耦合：

在面向对象方法中，对象是最基本的模块，因此，耦合主要指不同对象之间相互关联的紧密程度。低耦合是设计的一个重要标准，因为这有助于使得系统中某一部分的变化对其它部分的影响降到最低程度。

5) 高内聚：

(1) 操作内聚。

(2) 类内聚。

(3) 一般——具体内聚。

面向对象设计的启发原则：

1) 设计结果应该清晰易懂：

使设计结果清晰、易懂、易读是提高软件可维护性和可重用性的重要措施。显然，人们不会重用那些他们不理解的设计。要做到：

(1) 用词一致。

(2) 使用已有的协议。

(3) 减少消息模式的数量。

(4) 减免模糊的定义。

2) 一般——具体结构的深度应该适当：

3) 设计简单类：

应该尽量设计小而简单的类，这样便于开发和管理。为了保持简单，应注意以下几点：

(1) 有明确的定义。

(2) 尽量简化对象之间的合作关系。

(3) 不要提供太多的操作。

4) 使用简单的协议：

一般来说，消息中参数不要超过 3 个。

5) 使用简单的操作：

面向对象设计出来的类中的操作通常都很小，一般只有 3 至 5 行源程序语句，可以用仅含一个动词和一个宾语的简单句子描述它的功能。

6) 把设计变动减至最小：

通常，设计的质量越高，设计结果保持不变的时间也越长。即使出现必须修改设计的情况，也应该使修改的范围尽可能小。

系统设计：

系统设计是问题求解及建立解答的高级策略。必须制定解决问题的基本方法，系统的高层结构形式包括子系统的分解、它的固有并发性、子系统分配给硬软件、数据存储管理、资源协调、软件控制实现、人机交互接口。

1) 系统设计概述：

设计阶段先从高层入手，然后细化。系统设计要决定整个结构及风格，这种结构为后面设计阶段的更详细策略的设计提供了基础。

(1) 系统分解。

系统中主要的组成部分称为子系统，子系统既不是一个对象也不是一个功能，而是类、关联、操作、事件和约束的集合。

(2) 确定并发性。

分析模型、现实世界及硬件中不少对象均是并发的。

(3) 处理器以及任务分配。

各并发子系统必须分配给单个硬件单元，要么是一个一般的处理器，要么是一个具体的功能单元。

(4) 数据存储管理。

系统中的内部数据和外部数据的存储管理是一项重要的任务。通常各数据存储可以将数据结构、文件、数据库组合在一起，不同数据存储要在费用、访问时间、容量及可靠性之间做出折衷考虑。

(5) 全局资源的处理。

必须确定全局资源，并且制定访问全局资源的策略。

(6) 选择软件控制机制。

分析模型中所有交互行为都表示为对象之间的事件。系统设计必须从多种方法中选择某种方法来实现软件的控制。

(7) 人机交互接口设计。

设计中的大部分工作都与稳定的状态行为有关，但必须考虑用户使用系统的交互接口。

2) 系统结构的一般框架：

3) 系统分解——建立系统的体系结构：

可用的软件库以及程序员的编程经验。

通过面向对象分析得到的问题域精确模型，为设计体系结构奠定了良好的基础，建立了完整的框架。

4) 选择软件控制机制：

软件系统中存在两种控制流，外部控制流和内部控制流。

5) 数据存储管理：

数据存储管理是系统存储或检索对象的基本设施，它建立在某种数据存储管理系统之上，并且隔离了数据存储管理模式的影响。

6) 设计人机交互接口：

在面向对象分析过程中，已经对用户界面需求作了初步分析，在面向对象设计过程中，则应该对系统的人机交互接口进行详细设计，以确定人机交互的细节，其中包括指定窗口和报表的形式、设计命令层次等项内容。

对象设计：

1) 对象设计概述

2) 三种模型的结合：

(1) 获得操作。

(2) 确定操作的目标对象。

3) 算法设计

4) 优化设计

5) 控制的实现

- 6) 调整继承
- 7) 关联的设计

2.2.11 面向对象的实现

程序设计语言：

- 1) 选择面向对象语言：

采用面向对象方法开发软件的基本目的和主要优点是通过重用提高软件的生产率。因此，应该优先选用能够最完善、最准确地表达问题域语义的面向对象语言。

在选择编程语言时，应该考虑的其他因素还有：对用户学习面向对象分析、设计和编码技术所能提供的培训操作；在使用这个面向对象语言期间能提供的技术支持；能提供给开发人员使用的开发工具、开发平台，对机器性能和内存的需求，集成已有软件的容易程度。

- 2) 程序设计风格：

- (1) 提高重用性。
- (2) 提高可扩充性。
- (3) 提高健壮性。

类的实现：

在开发过程中，类的实现是核心问题。在用面向对象风格所写的系统中，所有的数据都被封装在类的实例中。而整个程序则被封装在一个更高级的类中。在使用既存部件的面向对象系统中，可以只花费少量时间和工作量来实现软件。只要增加类的实例，开发少量的新类和实现各个对象之间互相通信的操作，就能建立需要的软件。

一种方案是先开发一个比较小、比较简单的来，作为开发比较大、比较复杂的类的基础。

- 1) “原封不动”重用。
- 2) 进化性重用。

一个能够完全符合要求特性的类可能并不存在。

- 3) “废弃性”开发。

不用任何重用来开发一个新类。

4) 错误处理。

一个类应是自主的，有责任定位和报告错误。

应用系统的实现：

应用系统的实现是在所有的类都被实现之后的事。实现一个系统是一个比用过程性方法更简单、更简短的过程。有些实例将在其他类的初始化过程中使用。而其余的则必须用某种主过程显式地加以说明，或者当作系统最高层的类的表示的一部分。

在C++和C中有一个main()函数，可以使用这个过程来说明构成系统主要对象的那些类的实例。

面向对象测试：

1) 算法层。

2) 类层。

测试封装在同一个类中的所有方法和属性之间的相互作用。

3) 模版层。

测试一组协同工作的类之间的相互作用。

4) 系统层。

把各个子系统组装成完整的面向对象软件系统，在组装过程中同时进行测试。

2.2.12 面向对象和基于对象的区别

“面向对象”和“基于对象”是两个不同的概念。面向对象的三大特点（封装，继承，多态）缺一不可。通常“基于对象”是使用对象，但是无法利用现有的对象模板产生新的对象类型，继而产生新的对象，也就是说“基于对象”没有继承的特点。而“多态”表示为父类类型的子类对象实例，没有了继承的概念也就无从谈论“多态”。现在的很多流行技术都是基于对象的，它们使用一些封装好的对象，调用对象的方法，设置对象的属性。但是它们无法让程序员派生新对象类型。他们只能使用现有对象的方法和属性。所以当你判断一个新的技术是否是面向对象的时候，通常可以使用后两个特性来加以判断。“面向对象”和“基于对象”都实现了“封装”的概念，但是面向对象实现了“继承和多态”，而“基于对象”没有实现这些。

从事面向对象编程的人按照分工来说，可以分为“类库的创建者”和“类库的使用者”。使用类库的人并不都是具备了面向对象思想的人，通常知道如何继承和派生新对象就可以使用类库了，然而我们的思维并没有真正的转过来，使用类库只是在形式上是面向对象，而实质上只是库函数的一种扩展。

面向对象是一种思想，是我们考虑事情的方法，通常表现为我们是将问题的解决按照过程方式来解决呢，还是将问题抽象为一个对象来解决它。很多情况下，我们会不知不觉的按照过程方式来解决它，而不是考虑将要解决问题抽象为对象去解决它。

2.3 H_α全日面望远镜终端系统的任务需求

望远镜终端设备是指望远镜成像面以后的所有电子系统，包括 CCD、图像采集板卡、数据处理器以及存储介质等。终端设备在很大程度上影响采样、传输、及处理等的速度，从而制约了图像处理和识别算法的应用^[9]。针对此问题，同时也是为了完成多通道望远镜的更新改造以及今后的发展，我们又开展了望远镜终端设备方面的研究工作，并结合实时图像处理与识别的需求，提出了 SIPRS 终端设备方案。

为了更好的满足实时处理与识别的需求^[10]，H_α全日面望远镜的终端图像处理系统需要具有以下功能：

- 1) 实时耀斑图像采集、并对观测图像进行分析与预处理；
- 2) 图像采集的精确标时；
- 3) 实时耀斑特征提取与识别；
- 4) 实时 CCD 曝光控制；
- 5) 图像的压缩与网络传输；
- 6) 图像高速采集与回放；
- 7) 日常观测环境下系统死机自动恢复功能。

针对上述太阳望远镜终端图像处理系统的需求，在国家天文台怀柔太阳观测基地的 H_α全日面望远镜现有设备的基础上，需要设计并研制了一套日面活动高速图像处理与识别系统（SIPRS）。

2.4 SIPRS系统的UML建模描述

UML 已经广泛应用于 OOA（面向对象分析）、OOD（面向对象设计）、OOSD（面

向对象结构化设计) 和嵌入式实时系统的分析、建模和设计。本文采用 UML 规范^[11]中的一系列技术在 Rhapsody^[12]开发平台中对 SIPRS 系统进行了分析, 并构建了相应的 UML 模型, 抽象并简化了系统、硬件和软件的设计。

2.4.1 确定类

根据上一节对 SIPRS 系统的任务需求分析和 UML 建模方法中确定类的标准, 产生如下的类:

- 1) SIPRS 系统控制;

类的描述: 包括滤光器的温度控制、滤光器中机电控制部分等。

- 2) SIPRS 导行控制;

类的描述: 包括望远镜的机电控制和导行控制的所有部分。

- 3) SIPRS 图像采集与处理;

类的描述: 包括系统控制软件、应用软件、耀斑图像识别等。

2.4.2 关键对象抽象

根据对 SIPRS 系统的任务需求分析以及各个类之间的逻辑关联, 可抽象出如下的关键对象:

- 1) SIPRS 系统控制部分:

观测谱线、

滤光器温度、

观测区域。

- 2) SIPRS 导行控制部分:

跟踪行为动态响应时间。

- 3) SIPRS 图像采集与处理部分:

观测区域选择、

观测谱线选择、

CCD 采像控制、

CCD 速度控制、

图像预处理、图像处理、

耀斑特征提取与识别、

HTTP 服务器远程访问、

图像压缩、
生成 FITS 格式文件、生成 JPEG 格式文件、
图像存储、图像回放。

抽象出的关键对象属性和行为简述如表 2-2 所示：

表 2-2 关键对象的属性和行为描述表

Object Name		Property		Behavior	
Name	Brief Description	Name	Brief Description	Name	Brief Description
HaTelescope	Control of the optical part of Ha Telescope	obsLine	The Observing Spectral Line	AutoFocus	Auto Focusing
		filterTemp	The Filter Cavity Temperature	CfgSpectrum	Configuring Optical Imaging System
		Obsareaofsun	The Observing Area of The Sun	FullDisk	Full Disk Area
				PartDisk	Part Disk Area
Tracker	Solar Disk Tracker	resTime	The Dynamic Response Time	Track	Tracking in Real-time
SIPRS	Solar Image Processing and Recognizing System	refArea	The Specified Observing Area	InitforArea	Initialization for Observing Area
		refLine	The Specified Observing Spectral Line	InitforLine	Initialization for Observing Line
		refExpos	The Specified CCD Exposure	InitExposure	Initialization for CCD Exposure
		frameRate	The Frame Rate of CCD imager	InitRate	Initialization for CCD Frame Rate
		ImaProc	The Processing of	FlaPrepro	Image Pre-processing

			Image	FlaProc	Image Processing
		ImaRecog	The recognition of Flare Image	AbsFlare	Abstracting Flare
		NetAccess	Network Server Remote Access	HVisit	HTTP Server Remote Access
		ImaCompre	The Compression of Image	CompressImage	Image Compressing
		MakeFile	Image Format Conversion	MakeFits	Generating Fits File
				MakeJpeg	Generating JPEG File
		obsTime	The Local Time	StoreImage	Storing Image
				MakeVideo	Generating Video
				StoreVideo	Storing Video

2.4.3 建立对象模型

根据 Top-down 方法学，先抽象出整个 H_α 全日面太阳望远镜系统的对象模型图，如下图所示：望远镜由跟踪系统控制实时指向太阳指定观测区域，望远镜终端图像处理系统调节滤光器中的波片及焦面来观测指定的偏振光，并根据各种同步需求控制 CCD 图像传感器的曝光，将 CCD 图像传感器采集所得的太阳图像进行预处理、分析、压缩和存储。图 2-11 是实际系统图表的高度简化。

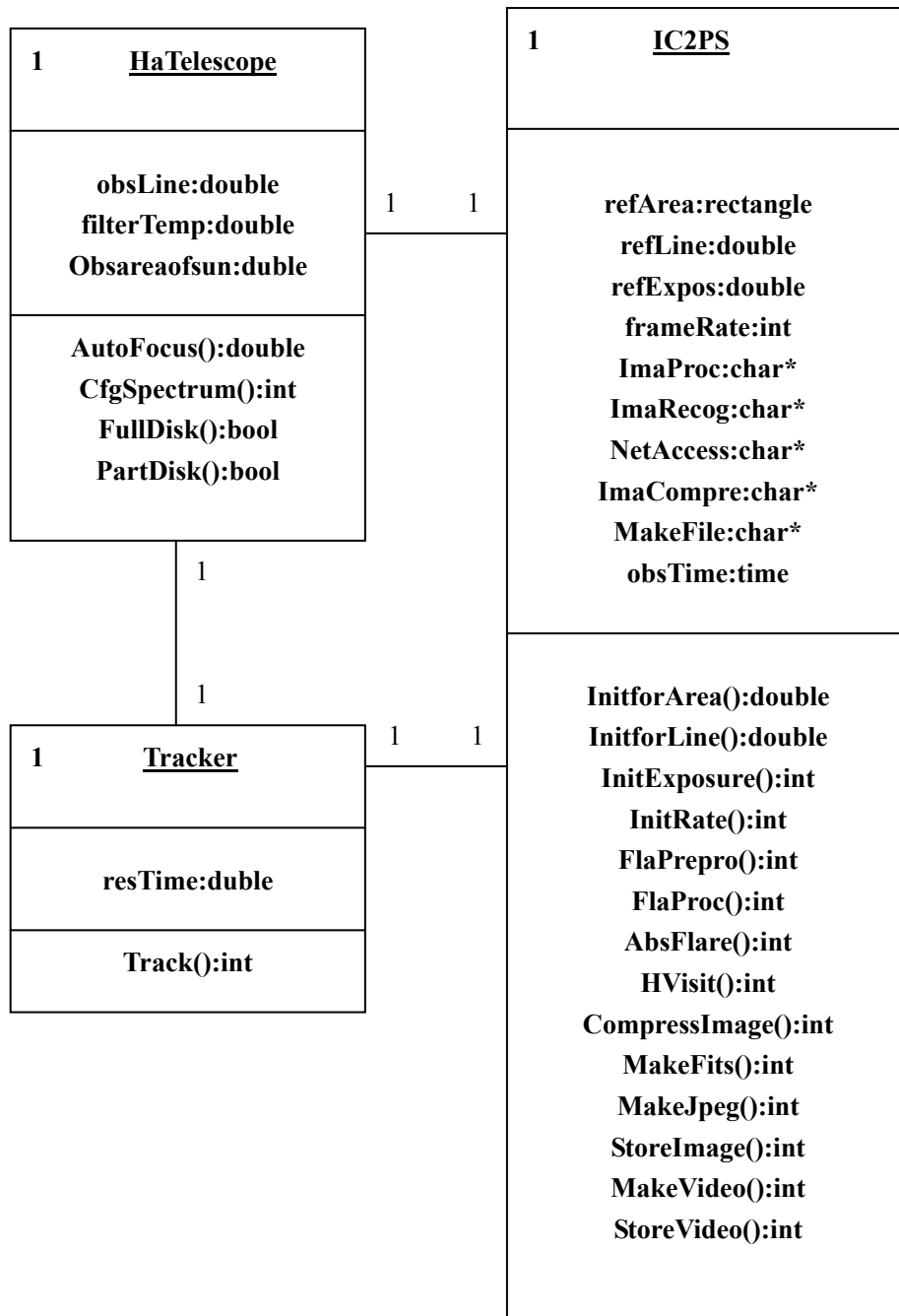


图 2-11 H_α 望远镜系统的对象模型图

2.4.4 系统动态行为描述

SIPRS 的工作主要可分为系统初始化和观测两个阶段。下面按不同的工作阶段来进行分析。

1) 系统初始化阶段

- SIPRS 光学系统控制部分；

观测谱线、

滤光器温度、

- SIPRS 导行控制部分；

观测区域设置、

跟踪行为动态响应时间。

- CCD 控制部分；

CCD 采像时间设置、

CCD 曝光时间控制、

2) 观测阶段

- SIPRS 图像采集与处理部分；

图像预处理、图像处理、

耀斑特征提取与识别、

HTTP 服务器远程访问、

图像压缩、

生成 FITS 格式文件、生成 JPEG 格式文件、

图像存储、图像回放。

当观测者设定好观测区域、观测谱线和观测模式等初始化观测条件后，SIPRS 进入观测状态，同时启动多个任务进行图像预览、图像预处理、太阳耀斑提取和相关文件的生成与保存。SIPRS 中主要任务的序列图简化图如图 2-12 所示：

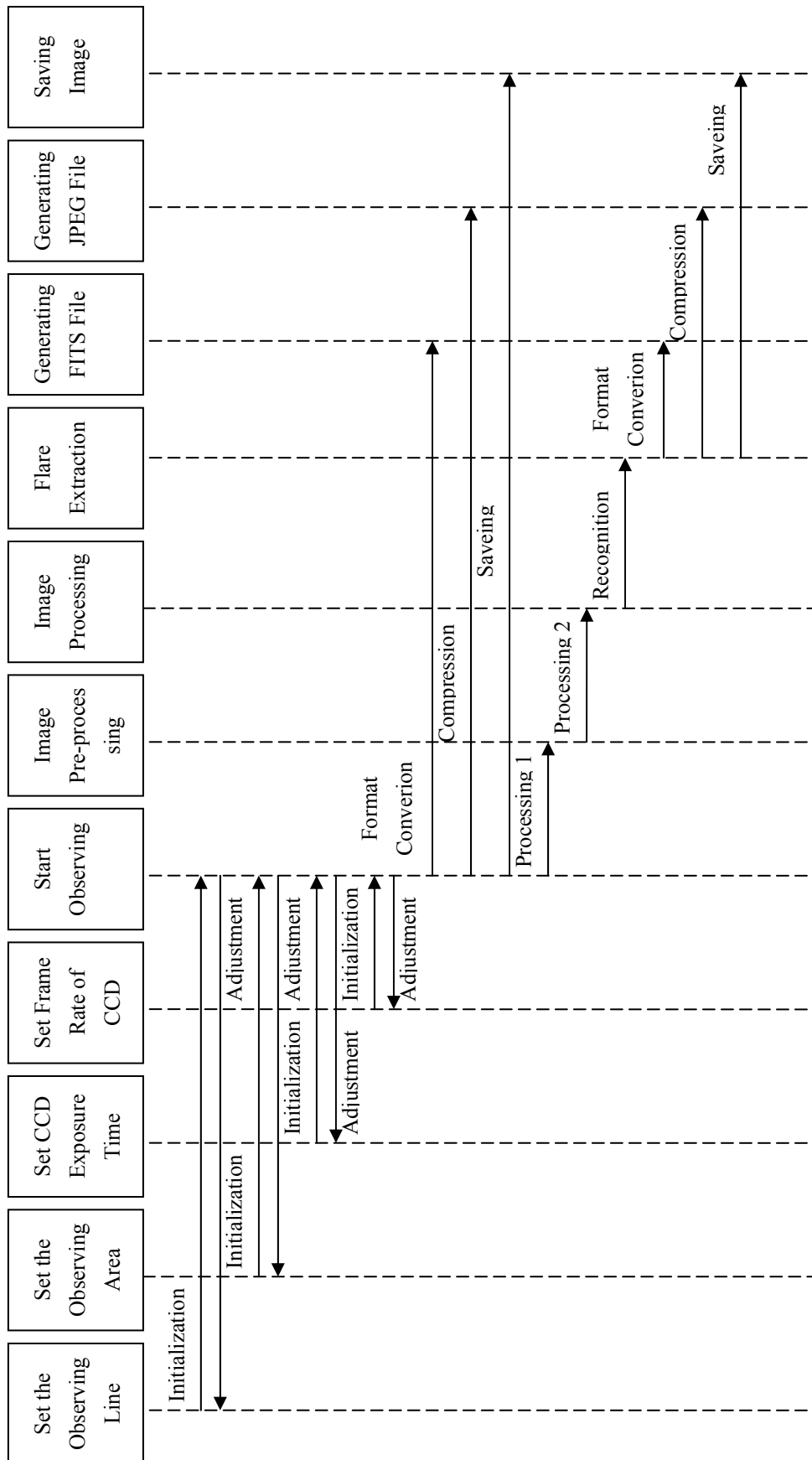


图 2-12 SIPRS 中主要任务序列图

2.4.5 系统功能建模

按照系统管理和太阳观测的需要，用户软件开发工作中需要实现两个用户软件，其功能分别为：一个是太阳耀斑采集与识别处理观测软件；另一个是 HTTP 服务器，用于系统的远程管理和太阳的远程观测控制。太阳耀斑观测软件的顶层流程图如图 2-13 所示：

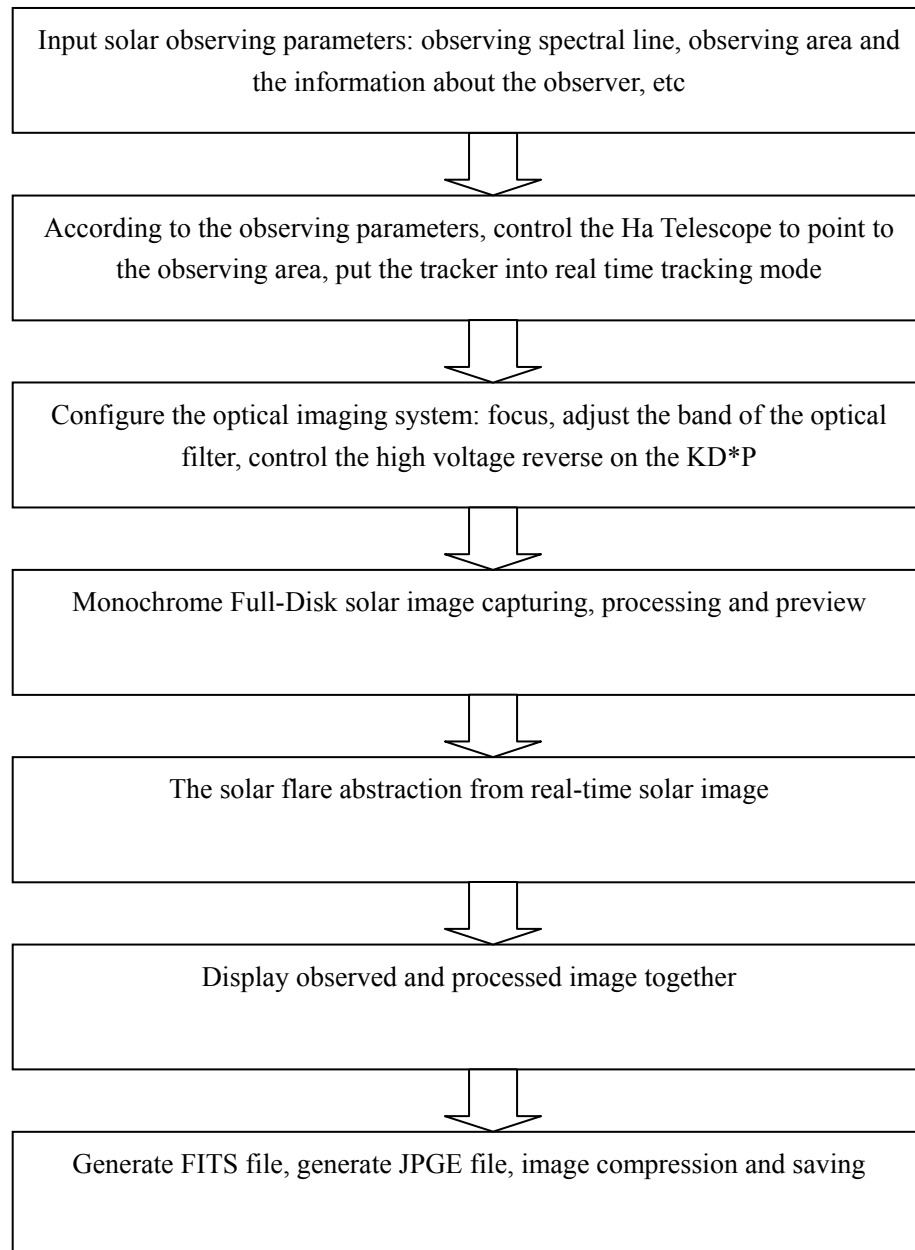


图 2-13 SIPRS 软件功能顶层流程图

2.4.6 耀斑识别功能建模

太阳望远镜对太阳的跟踪运动、因为风的原因而使望远镜产生的抖动、波片表面变形和光学系统离焦等因素，都会使观测所得的图像产生几何畸变，使图像发生退化。因此在做耀斑图像识别处理之前，应该先对图像进行预处理。预处理的目的是去除噪声提高信噪比，尽可能去除成像中的图像退化，使其接近真实的对象。

由于太阳耀斑爆发没有固定的位置和形态，也很难从太阳物理学上寻找耀斑爆发与日面其它电磁活动现象的关系，造成耀斑爆发最初阶段难以识别。 H_{α} 望远镜终端实时采集所得的图像，经过预处理、识别处理等一系列处理后，可根据检测结果得出是否有耀斑爆发。由于耀斑爆发时图像局部区域亮度明显增加，为了不使 CCD 局部像素饱和造成亮度值溢出，一旦确认有耀斑爆发现象发生时，系统将调用 CCD 曝光控制以减少曝光时间和采像时间间隔。

图 2-14 是识别程序的流程图：其中图中虚线部分是基于历史观测资料进行的离线处理，进行分类器设计，将设计好分类器运用到 SIPRS 系统中。

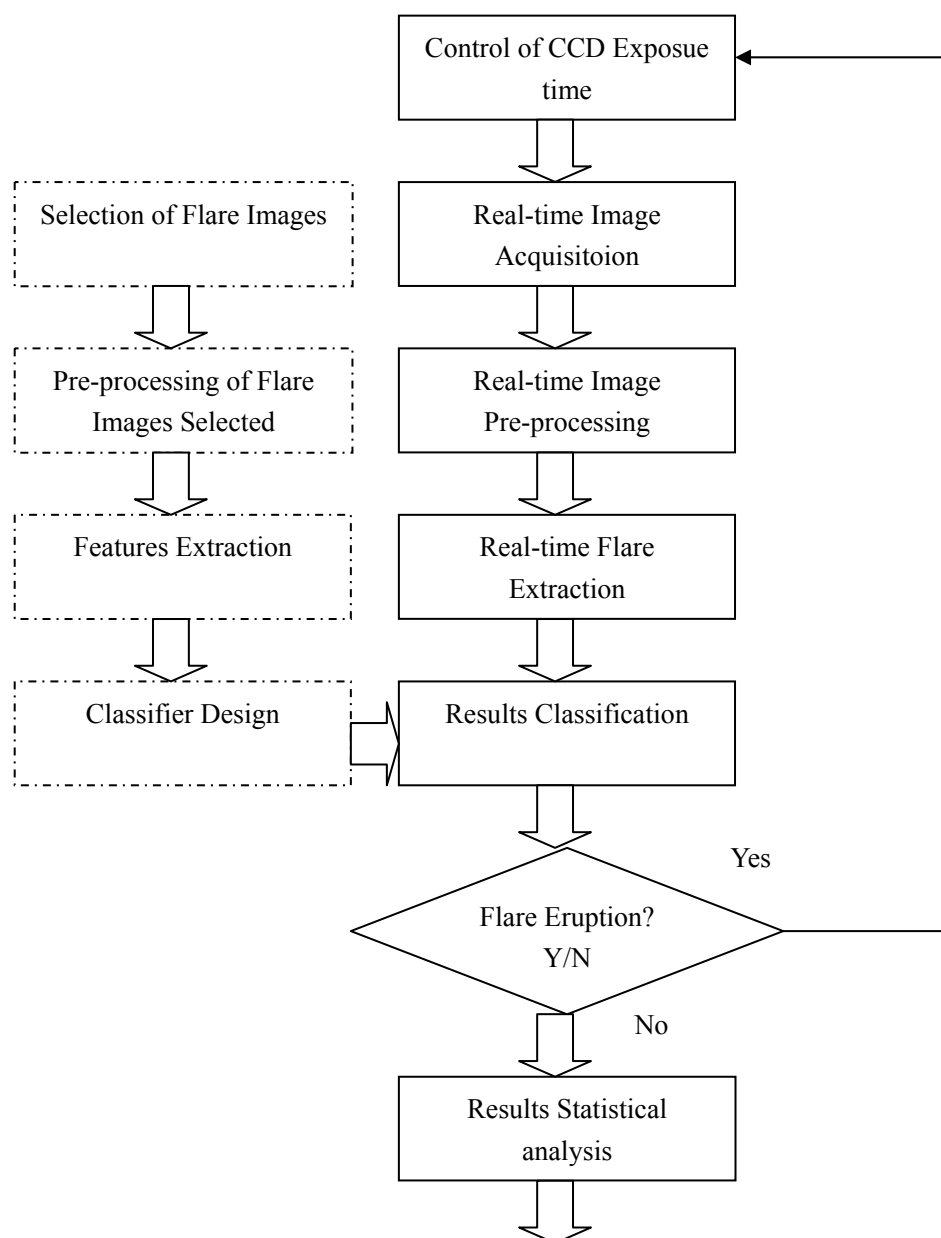


图 2-14 太阳耀斑识别软件功能图

第2章 参考文献

1. 国家天文台怀柔观地. <http://sun.bao.ac.cn/smct/r142.html>, 2001.
2. 多通道太阳望远镜. <http://sun.bao.ac.cn/smct/smct1.html>, 2001.
3. 色球望远镜[DB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/721249.htm>, 2007.
4. 林元章. 太阳物理导论 [M]. 北京:科学出版社, 2000.

5. 张 斌, 艾国祥等. 多通道太阳望远镜图像接收处理系统总体设计 [J]. 光学技术(增刊), 1995:141-145.
6. The MegaPlus Model 4.2i Camera User' s Manual [M]. RedLake MASD Incorporation, 2001.
7. The Oculus-F/64 Frame Grabber User' s Manual [M]. Coreco Incorporation, 1994.
8. 面向对象 [DB/OL].
<http://www.itisedu.com/phrase/200603101726185.html>. 北京中科永联技术服务有限公司, 2007.
9. 胡柯良. 面阵 CCD 导行和嵌入式系统在高时空分辨率太阳磁场观测中的应用. 中国科学院国家天文台博士论文, 2004.
10. Hanaoka, Noguchi, Sakurai, Ichimoto. High-Speed H_α Camera and the Real-Time Image Processing System for Solar Observations [J]. Innovative Telescope and Instrumentation for Solar Astrophysics, Proceeding of SPIE Vol.4853 (2003).
11. Unified Modeling Language: Superstructure [DB/OL].
<http://heim.ifi.uio.no/~trygver/2003/umlStatic/Static-17-05.pdf>, Object Management Group, Jul 2005.
12. Rhapsody in C++ Tutorial [DB/OL].
<http://www.cs.missouri.edu/~skubic/RTEC/tutorialcpp.pdf>, I-Logix Inc. Jul 2000.

第3章 SIPRS系统的硬件设计与实现

上一章提及现有终端硬件系统在开发中存在的问题。PCI 总线的理论带宽为 133MB，实际应用时总线的效率为 50%~60%。而 Imperx 1M48-LMCN CCD 相机的最高帧速为 48fps，每帧图像大小 $1000 \times 1000 \times 2\text{Byte}$ ，即数据传输率为 96MB/s，可见 PCI 总线并不能满足相机数据传输率，无法保证该相机产生的数据被完整的传输到 CPU。

对于此问题，解决办法是采用高宽带总线进行数据传输，同时配备高性能计算机与高宽带总线进行匹配。我们选择 DALSA Coreco 公司的 X64-CL Dual 型高速嵌入式图像采集卡；对于高宽带总线，我们选择最高数据吞吐率为 533MB/s 的 PCI-X 总线；计算机选择带有 PCI-X 总线的高性能计算机。本章将详细介绍 SIPRS 系统的具体选型与性能分析。

3.1 系统硬件结构图

为了降低系统成本和研发工作量，选型中尽量选择成熟的产品，以期获得相应的技术支持和系统可靠性。为了满足上述各种大计算量、大吞吐量的图像处理，太阳图像处理系统选择了工作站级的计算机主板——TYAN 公司的 Thunder K8WE (S2895)；数字 CCD 相机选择了 Imperx 1M48-LMCN CCD；图像采集卡选择了 DALSA Coreco 公司的 X64-CL Dual 型高速嵌入式图像采集卡，同时完成同步曝光控制；GPS 接收机选择了中科院国家授时中心研制的 P0941GPS 定时定位接收机；GPS 授时仪采用了研华科技公司的 PCI-1753 96/192 位数字量 I/O 卡。整个系统的硬件结构图如图 3-1 所示：

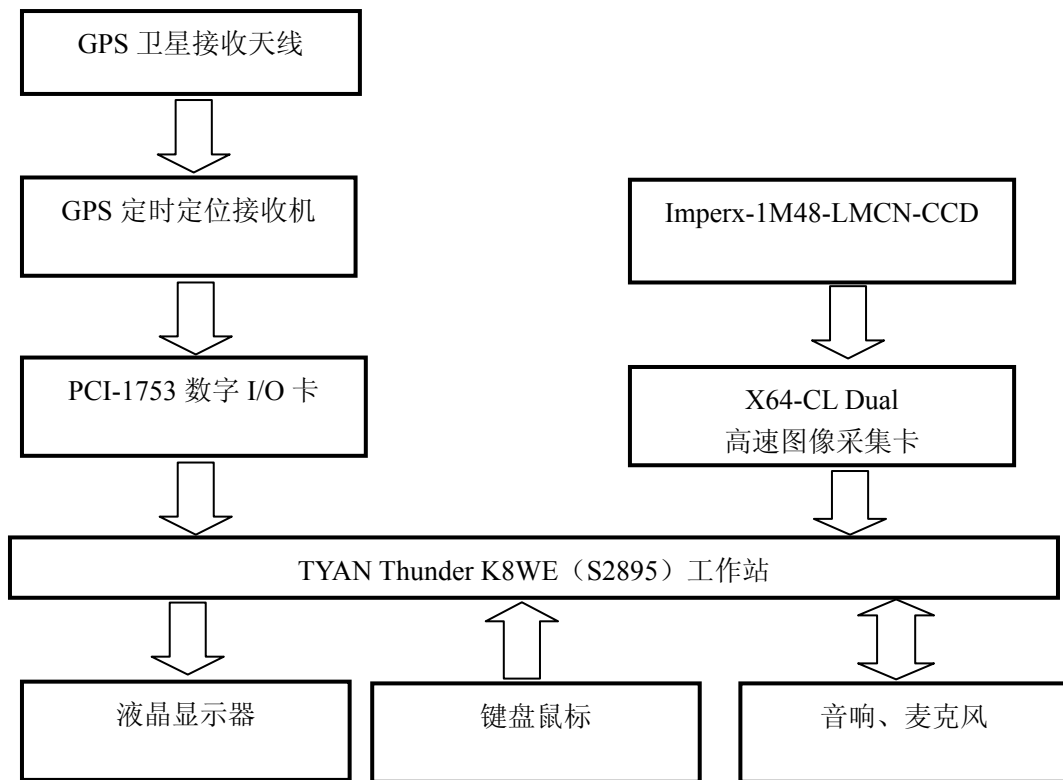


图 3-1 SIPRS 系统硬件框图

3.2 工作站级别的处理系统

TYAN 公司的 Thunder K8WE (S2895) 能够支持两颗 Socket 940^[1,2] 规格 Opteron^[3,4] 处理器。在处理器供电部分设计了四相回路设计,并在电路中使用大量的高品质固态电容,完全能够保证为处理器提供纯净而稳定的能源支持。在两个处理器插座的旁边设置有八根内存插槽,支持带 REG/ECC 规格的内存。

S2895 使用的是 nForce 4 Professional 芯片组,与 nVIDIA 一贯的单逻辑核心设计不同,采用的是两个逻辑核心的设计^[5]。其中一颗 nForce Pro 2200 芯片是 nForce 4 Professional 芯片组的核心逻辑控制器,这款芯片可以提供了 20 条 PCI Express 规格通道,4 个普通 PATA 通道,4 条 SATA-II 通道,并提供了千兆网卡,10 个 USB2.0 接口以及额外的 PCI 接口和 7.1 声道声卡。而另一颗 nForce Pro 2050 芯片则是 nForce 4 Pro 芯片组的附加逻辑控制器,这款芯片与 2200 相比同样支持 20 条 PCI-E 通道,千兆网卡和 4 个 PATA 通道,但是对于 SATA、USB 接口和声卡等功能则一概不予支持。

在扩展槽方面 S2895 提供了两根 PCI Express x16 显卡插槽，从规格上看 2200 和 2050 两款芯片为主板提供了高达 40 条 PCI-E 通道，也就是说完全可以支持双显卡同时工作在 PCI Express x16 的规格上，轻松支持两个通道的图像显示。

在背板接口方面这款面向服务器/工作站应用的主板没有提供过多花哨的借口，最左边的是一个串口，在串口的右边是 PS/2 规格键盘鼠标接口，中间四个 USB 2.0 接口和千兆网络接口被分成两组，一个 1394 接口与最右边的 3 个音频输入输出接口靠在一起^[6]。其硬件框图如图 3-2 所示：

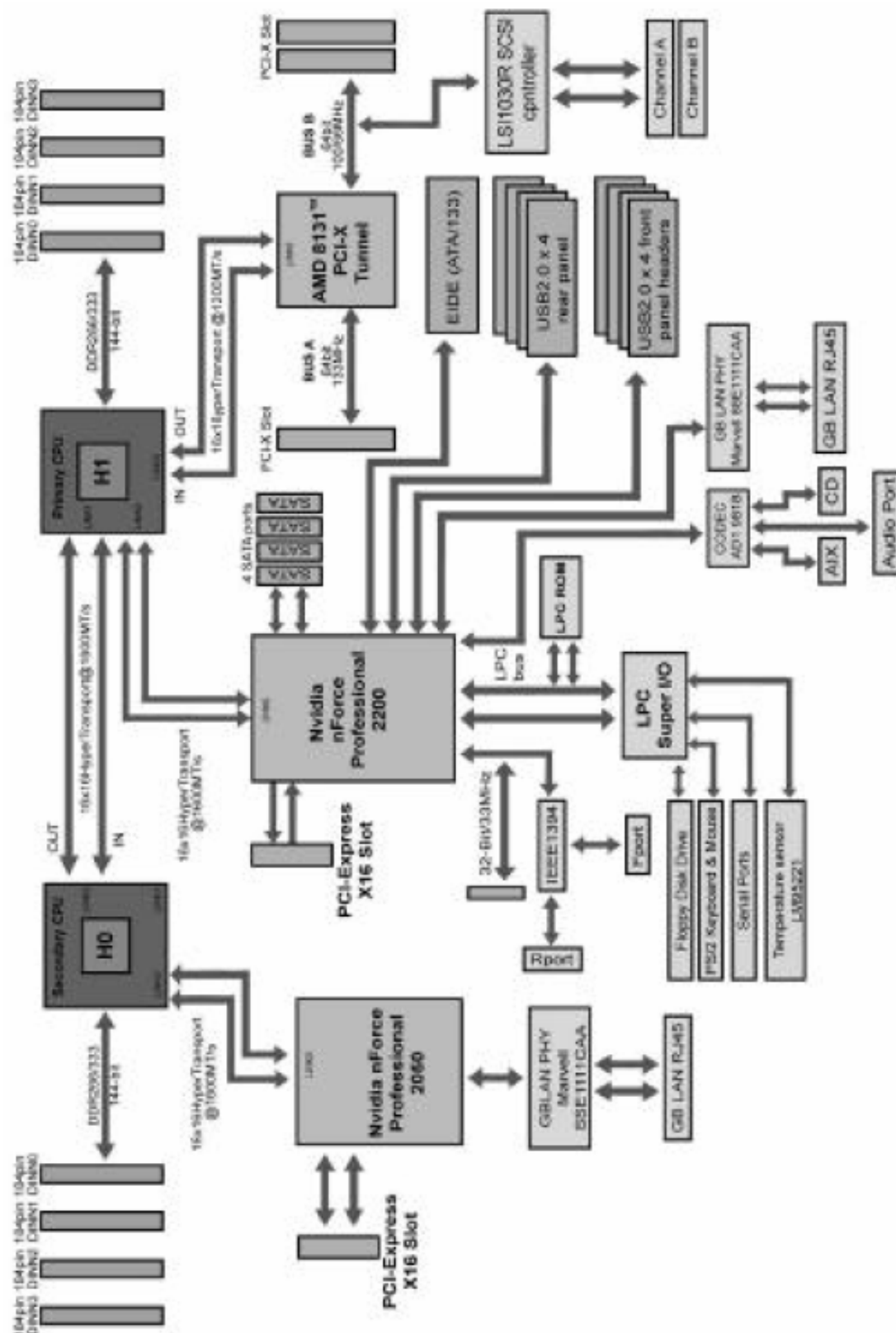


图 3-2 Thunder K8WE (S2895) 硬件框图^[6]

AMD 公司的 Opteron 处理器是针对服务器和工作站而设计的高性能处理器。

它确保了南北桥之间的 HyperTransport (HT) 技术, 每秒达到 800MHz (3.2GB/s) 的频宽。内建 DDR400 的内存控制芯片, 容许 CPU 有更大的独立性, 可以直接操作内存而不必通过别的内存芯片来实现, 解决了传统的前端总线架构带来的瓶颈, 对内存的存取速度得以最大的提升, 最高数据存取速度可达 10.7GB/s (配备 DDR2-667 的内存下)。提供向四核处理器的无缝升级, 是系统在保留已有软硬件的条件下性能得以进一步提升。

S2895 的硬件规范如表 3-1 所示:

表 3-1 S2895 的硬件规范表^[6]

Processor	· Supports one or two AMD Opteron 2xx processors · Two onboard 4-phase VRMS · Three HyperTransportTM links per CPU, support up to 6.4GB/s data transfer rate each link · 144-bit DDR interface (128-bit data + 16 bit ECC) · Scalable 32bit and 64bit computing · Secure computing with Nx register support
Chipset	· Nvidia nForce Professional 2200 (CK8-04)-connected to CPU1 · Nvidia nForce Professional 2050# (I/O-4)-connected to CPU2 · AMD 8131 PCI-X Tunnel · SMsC Super I/O
Integrated ATA-133	(from nForce Professional 2200) · One ATA-133 IDE Channel for up to two devices
Integrated SATAII Generation 1 Controllers	(from nForce Professional 2200) · Two integrated dual port SATA II controllers · Four SATA connectors support up to four drives · 3 Gb/s per direction per channel · NvRAID v2.0 support · Supports RAID 0, 1, 0+1 and JBOD
Integrated Secure Network Processor	· Two IEEE 802.3 Nvidia MAC 1000/100/10 Ethernet (First from PRO 2200, Second from PRO 2050) · Two Marvell Gigabit PHY

	·Supports WOL and PXE ·Supports Ethernet Jumbo Frames (9018 Bytes) ·Full Duplex Gigabit Ethernet support ·Nvidia Firewall for secure network communications
Memory	·128-bit dual channel (interleaved) memory bus ·Total Eight DDR-1 DIMM sockets (Four per CPU) ·Supports up to 16GB Registered DDR ·Supports ECC with CHIPKil technology ·Supports DDR400, DDR333, or DDR266
Expansion Slots	·Two x16 PCI Express full speed expansion slots - Slot 1 PCI-E x16 from nForce PRO 2200 - Slot 3 PCI-E x16 from nForce PRO 2050 ·Two independent 64-bit PCI-X buses - Slot 4 and slot 5 support PCI-X 100MHz max - Slot 6 supports PCI-X 133MHz max ·One 32-bit 33Mhz PCI v2.3 (Slot 2) ·Total of six usable slots
Integrated I/O	·One floppy connector ·One serial port connector and one 3-pin custom serial header ·Eight USB 2.0 EHCI ports (four rear connectors & four pin headers) ·PS/2 mouse and keyboard connectors ·Two FireWire (IEEE 1394a) ports (one rear connector and one internal pin header)
System Management	·Total six 4-pin fan headers with PWM and tachometer monitoring ·Watchdog Timer support ·Temperature, voltage and fan monitoring
Integrated FireWire (IEEE 1394a) Controller	·TI TSB43AB22A IEEE 1394a PCI controller ·Two FireWire ports (one rear connector and one internal pin header)

Integrated Audio	·Enhanced AC'97 2.3 compliant audio link ·Analog Devices 1981B codec ·Supports 5.1 surround sound ·CD-in/Aux-in connectors
Integrated SCSI Controller (Mfg. Option)	·LSI 53C1030 U320 SCSI controller - Two U320 68-pin SCSI connectors - Connected to PCI-X Bridge B
Form Factor	·SSI EEB v3.5 Footprint (12" x 13", 304.8x330.2mm) ·EPS 12V/SSI v3.5 Workstation (24 + 8 +6) power connectors (Split Plane design recommended) ·Serial (one) ·Stacked PS/2 keyboard and mouse connectors ·Two dual port USB2.0 connectors (total 4 ports) ·Two RJ-45 LAN connectors with LEDs ·Audio Line-in, Line-out, Mic-in jacks ·One IEEE 1394a port
BIOS	·PhoenixBIOS on 8Mbit LPC Flash ROM ·ACPI 2.0 ·Serial Console Redirect ·USB device boot ·WOL and PXE support ·48-bit LBA support

S2895 支持众多的操作系统: Microsoft Windows 2000、Microsoft Windows XP、Microsoft Windows Server 2003、SUSE Professional 9.x and SLES 9、RHEL3 Update 4。

在 S2895 上安装两颗主频 2.5G 前端总线 1G 的 AMD Opteron200 双核处理器, 配备 6GB 内存 (最多可扩展至 16GB), 4 个 200GB 的 SATAII 硬盘, 构成了高性能的图像处理、系统管理和高速数据存储及回放系统。其 x16 PCI Express 全

速扩展插槽可插两个高性能高吞吐率的显示适配器，可构成高性能的图形工作站。17 英寸的液晶显示器，光电鼠标和键盘构成了通用人机界面，方便本地操作和观测与图像处理程序开发。两个千兆以太网口，既可构成高吞吐率的太阳观测图像共享数据中心，也为远程管理和观测提供了便捷的条件。

3.3 Imperx 1M48-LMCN-CCD 数字相机

1M48-LMCN-CCD 是 Imperx 公司可编程、高性能、逐行扫描、现场可升级、单色、1M 像素、12 位和最高帧速 48FPS 的数字相机，采用 KODAK（柯达）的行间传输 CCD——KAI1020 CCD，广泛用于科学图像采集领域^[7]。它具有如下特性^[8]：

- 1000×1000 有效像素@48fps，单色；
- Base Camera Link 图像传输接口；
- 单头或者双头操作；
- 具备 RS232 串口通信；
- 集成 32 位 RISC 处理器；
- 水平和垂直 binning（像素合并）；
- 极高的可编程性：分辨率，帧速，电子快门，长积分时间，外部触发，预曝光，快速触发，双曝光，脉冲输出，增益和补偿，感兴趣图像区域，用户查找表；

- 动态传输功能校正；
- 动态信噪比校正；
- 现场可升级：软件，固件和用户查找表；
- 自动 Iris（瞳孔）控制。

其性能参数如表 3-2 所示：

表 3-2 1M48-LMCN-CCD 性能参数表^[8]

Parameter	Value
Active Image Pixels	1000 (H) x 1000 (V), Mono or Color
Active Image Area	8.90 x 8.20 mm (0.350 "x 0.320")
Pixel size	7.4um
Video Output	Digital, 8/ 10/ 12 b it, one or two out puts
Camera Interface	Base Camera Link

Data Clock	40.000 MHz
Resolution	1000 x 1000 pixels max
Frame Rate	48fps (dual)/30fps (single), up to 140 fps w/AOI
Shutter Speed	1/ 50000 sec to 1/ 30 sec
Long Integration	1/ 30 sec to 10 sec
Gamma Correction	G=1.0,G=0.45,User defined LUT
Black Level Offset	256 levels/output
Video Gain	0-36 dB, 1024 steps/ output
External Trigger	Asynchronous
Hardware Trigger	External, level sensitive, 3.3V - 5.QV, 10 mA.,
Software Trigger	optically isolated, programmable exposure
SIN Ratio	Frame-grabber, CCI ,programmable exposure
Min. Illumination	60 dB
Lens Mount	C mount, 2/3" format
Strobe Output	Active HIGH, for external light source
Environmental	Operating : -5 to 50 °C , Storage: -10 to 65 °C
Mechanical	(67 x 67 x 41) mm: 10 oz (280 g)

1M48-LMCN-CCD 采用的 KAI1020 CCD 具有 100% 的电子填充率，很高的量子效率，其量子效率曲线如图 3-3 所示：

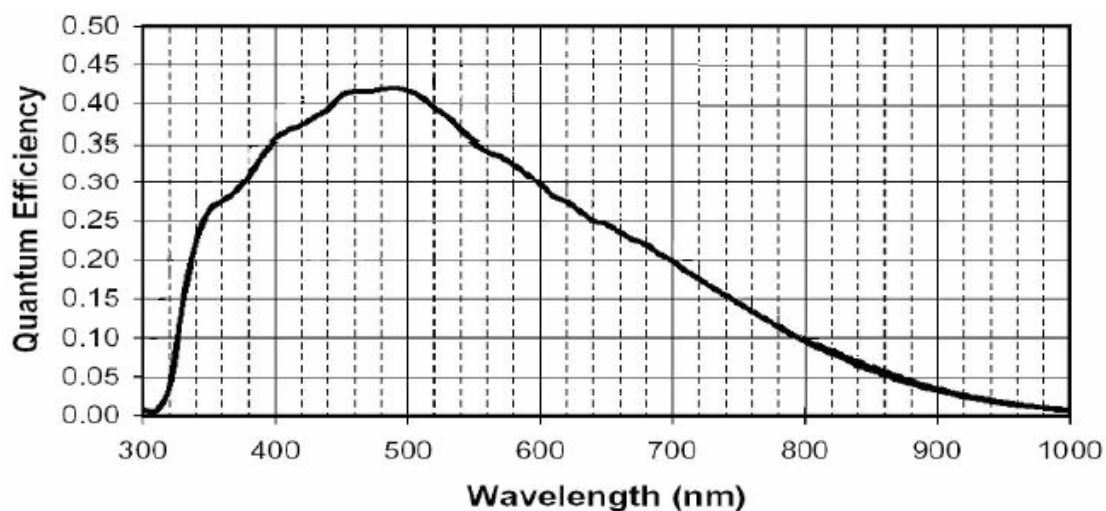


图 3-3 1M48-LMCN-CCD 光谱响应图^[8]

太阳磁场望远镜的观测谱线在光球($\lambda=5324\text{\AA}$)和色球($\lambda=4861\text{\AA}$)上,显然它们都在 KAI1020 CCD 量子效率峰值附近,在 35%以上,因此具有极好成像效果。

1M48-LMCN-CCD 通过高速的 Base Camera Link 与 X64-CL Dual 图像采集卡相连。

3.4 X64-CL Dual 图像采集卡

X64-CL Dual 图像采集卡是加拿大 DALSA Coreco 公司研制的高速嵌入式图像采集卡,可以同时采集两个 Base 模式的 camera Link 信号,528MB/s, 85MHz 采集频率。具有如下特色^[9]:

- 1) 从采集触发成像的完整可靠性:
 - 通过图像采集序列实现从图像开始采集到结束整个过程中所有功能的控制;
 - 提供图像时间标记,实现成像精确跟踪;
 - 提示系统错误。
- 2) 图像采集的灵活性:
 - 一块采集卡既可采集彩色图像,也可采集单色图像;
 - 支持所有的带 Camera Link 接口的面阵扫描和行扫描的相机;
 - 可定制的相机接口格式。
- 3) 健壮的图片传输:
 - 图像最高传送速率可达 528MB/s;
 - 在图像连续采集过程中,可实现 On-the-fly (飞一样) 图像格式转换和调制,提供极高程度的数据完整性。

X64-CL Dual 图像采集卡集成了 DALSA Coreco 公司先进的 ACU-Plus (采集控制单元) 和数据传输引擎。前者实现多格式、高采集速率、在线实时处理和可定制的相机接口功能,后者实现无需 CPU 的干预,即可将采集的图像拷贝到采集卡上的存储器,也可拷贝到工作站上的内存中,极大的减轻了工作站的负担,提高了数据吞吐率。

X64-CL Dual 图像采集卡可同时对两个独立的相机进行采集,单色和彩色

相机也可混合使用；提供状态灯来指示图像采集的阶段、采集中的处理和所出现的错误；带光藕隔离的输入和输出既可用于外部设备控制，也可快速的响应外部事件；提供两路触发输入信号实现图像采集与外部事件的同步；集成两个独立的 RS-232C 串口，可用于对相机的控制和设置，无需工作站提供额外的串口。

X64-CL Dual 图像采集卡系统框图如图 3-4 所示：

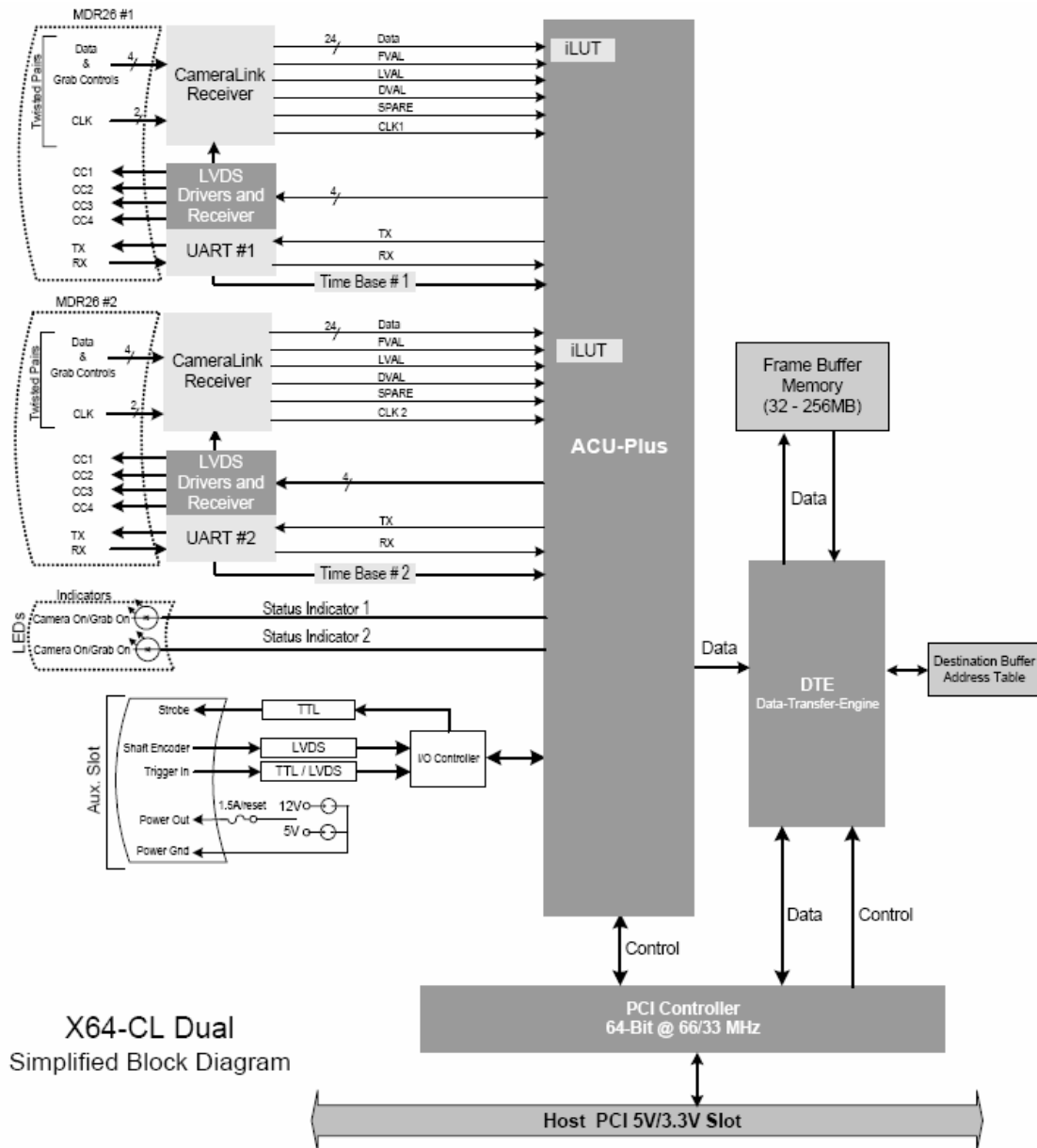


图 3-4 X64-CL Dual 图像采集卡系统框图^[10]

X64-CL Dual 规格如表 3-3 所示：

表 3-3 X64-CL DUAL 规格表^[10]

Board	Half length PCI 2.1 64-bit 66MHz compliant 5V and 3.3V slot compatible
Acquisition	Single slot solutions support acquisition rates up to 528MB/s ² Horizontal Size (min/max): 8 byte/256KB Vertical Size (min/max): Linescan cameras: 1 line to infinity Area scan cameras: 1 line to 16 million/frame variable length frames Onboard frame buffer memory up to 256MB (32MB standard) One 1024 x 1024 or 1024 x 256 input lookup table ³ Concurrent image acquisition from two independent Base Camera Link cameras Interfaces to digital area scan or linescan color or monochrome cameras Can combine any of the following camera formats: 3 x 8-bit, 2 x 10-bit, 2 x 12-bit, 1 x 14-bit, 1 x 16-bit, and 1 x 24-bit/RGB
Pixel Formats	Monochrome 8, 10, 12, 14, 16, or 24-bit/RGB
Transfers	Real-time transfers to system memory: PCI-32 bus: 32 bits @ 33MHz PCI-64 bus: 64 bits @ 66MHz PCI-X bus: 64 bits @ 66MHz Robust error tracking, reporting and recovery On-the-fly tap adjustments for multiple tap, area scan and linescan cameras
Controls	Comprehensive event notification includes start/end-of-field, sequence or N-line events Independent timing control logic for up to two Camera Link cameras Two independent TTL/LVDS trigger inputs programmable as active high or low (edge or level trigger) Two strobes TTL outputs Two PC independent RS-232 COM ports provide seamless interface to MS

	Windows applications Quadrature (AB) shaft-encoder inputs for external web synchronization Up to 12 interrupt driven I/Os4 permit external event synchronization
Power Output	Power-on-reset fused +12V/+5V DC output at 1.5A
Software	Microsoft Windows NT 4.0, Windows 2000, and Windows XP compliant Full support of the Sopera programming package Application development using C/C++ DLLs and ActiveX controls with Microsoft Visual Studio or Visual Basic version 6.0 or higher
System Requirements	PCI-32 or PCI-64 compliant system and 64MB system memory
Dimensions	6.6" (16.8cm) Length x 4.20" (10.7cm) Height
Temperature	0° C (32° F) to 55° C (131° F) Relative Humidity: up to 95% (non-condensing)
Markings	FCC Class B - approved CE Class B - approved

X64-CL Dual 图像采集卡插在 S2895 两条独立的 64Bit PCI-X 总线构成的三个插槽中的任意一个插槽中即可。

3.5 GPS接收机

由于目前天文学界仍没有产生一套准确预报耀斑发生位置、高度，太小及其后随效应的理论体系，因此利用不同的望远镜准确记录耀斑的迅速形成过程、并将观测资料作对照研究与分析，将对太阳耀斑机制的研究和太阳活动预报具有极其重要的意义。

为了使记录耀斑爆发过程的光学图像资料能够与射电资料、以及其他国外联测天文台的数据作全方位的对照分析，光学望远镜观测系统需要具备精确定时功能。由于国内外太阳射电望远镜观测系统的时间精确度一般为毫秒级，因此光学望远镜图像采集系统的精确度也应该不低于毫秒级。

GPS 全球定位系统 (Global Position System)，是目前世界上精度最高的全球性导航、定位和授时系统^[11]。相对于定位功能来说，GPS 的精确授时和同步功能在各领域的电力控制系统中的应用更加重要和普遍^[15]。为了利用 GPS 精确的授时功能，首先必须选择合适的接收设备来获取时间。

SIPRS 系统中的 GPS 定时定位接收机选用的是由中科院国家授时中心研制的 P0941GPS 定时定位接收机。其 GPS 定时系统是选用美国专业公司制造的 OEM 部件作为卫星信号接收器，可同时接收视场内的八颗 GPS 卫星的信号，一旦初始化完成，即使锁定一颗卫星，也可实现授时功能。接收到的卫星信号经单片机处理，将 UTC 时间信息转换为标准北京时间(或世界时)和公历日期。P0941GPS 性能参数表如表 3-4 所示。

表 3-4 GPS 性能参数表^[12]

接收频率	1575MHz
天线射频灵敏度	-166dbw
捕获时间	20 秒-----2 分钟(热起动)
1PPS 输出	定时准确度：0.4 μ s、脉宽：100ms、电平：TTL 电平 阻抗：50 Ω 、极性：正脉冲 路数：一路
1PPM 输出	定时准确度：1 μ s 脉宽：100ms、电平：TTL 电平 阻抗：50 Ω 、极性：正脉冲 路数：一路
显示	二十位 LCD，翻页显示时间信息(年(四位)月日時分秒，可选择北京时或世界时)，接收天线处的经度、纬度、高度、估计水平误差、估计垂直误差、磁偏角、航向以及定位有效性
时码输出	年月日時分秒串行 ASCII 码(RS232 标准)。可选择北京时或者世界时，起始位与 1PPS 前沿的偏差小于 0.2ms
GPS 信息输出	RS232 口，可与 PC 机联机，显示位置、速度、时间、卫星状态、几何因子和位置估计误差
定位精度	15 米(有 SA 时 100 米)
电源	交流 220V $\pm$ 10% 7W
外形尺寸	440mm(宽) $\times$ 110mm(高) $\times$ 390mm(深)

P0941GPS 定时定位接收机提供多种信号来输出接收到的 GPS 时间：

一个秒脉冲和一个 10KHz 的方波，定时准确度达到 1 微秒；分别采用 Q9 高频插座输出。

一路异步串口输出格式：“年一月一日 时：分：秒”；

一路并口输出格式：“时：分：秒 百毫秒：十毫秒：毫秒”。采用 DB-37 芯插座。其管脚定义如表 3-5 所示：

表 3-5 GPS 定时定位接收机 DB37 管脚定义^[12]

脚号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
定义	A1	C1	A2	C2	A3	C3	A4	C4	A5	C5
脚号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
定义	A6	C6	A7	C7	A8	C8	A9	NC	NC	B1
脚号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
定义	D1	B2	D2	B3	D3	B4	D4	B5	NC	B6
脚号	31	32	33	34	35	36	37	——	——	——
定义	D6	B7	NC	B8	D8	B9	GND	——	——	——

表 3-5 中：A1、B1、C1、D1 分别为 1ms 位 BCD 码的 1、2、4、8；A2、B2、C2、D2 分别为 10ms 位 BCD 码的 1、2、4、8；A3、B3、C3、D3 分别为 100ms 位 BCD 码的 1、2、4、8；依次类推 A8、B8、C8、D8 分别为小时个位 BCD 码的 1、2、4、8；A9B9 分别为小时十位的 1、2。GPS 时间信息通过信号缓冲和锁存送入 PCI-1753。

3.6 PCI-1753 数字 I/O 卡

PCI-1753 是研华科技公司推出的 96/192 位数字量 I/O 卡，是一款 PCI 总线的 96 路数字量 I/O 卡，它也可以经由 PCI-1753E 扩展为 192 路的数字量 I/O 口。PCI-1753 仿真 8255PPI 模式 0，但是缓存电路提供了比 8255 更高的驱动能力。96 路 I/O 线分成了 12 个 8 位 I/O 端口：A0，B0，C0，A1，B1，C1，A2，B2，C2，A3，B3 和 C3。用户可以使用软件配置每个端口作为输入或输出端口。

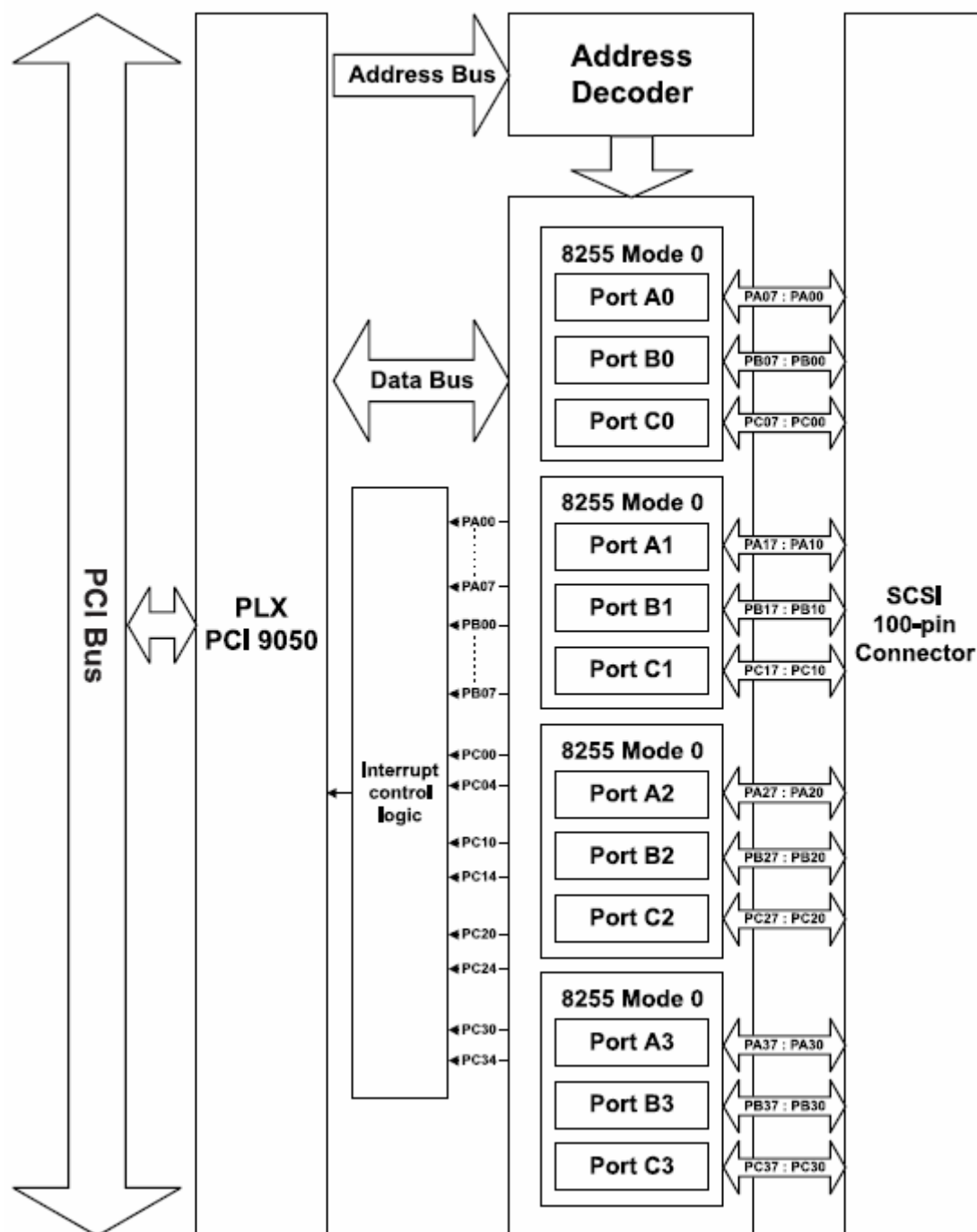
它具有如下特性^[13, 14]：

- 96/192 路 TTL 数字量 I/O；
- 仿真 8255 PPI，模式 0；
- 提供比 8255 更高的驱动能力缓冲电路；
- 中断处理能力；
- 中断输出引脚可在中断产生时同时触发外部设备；

- 高度集成的 SCSI 100 引脚接口；
- 输出状态回读；
- “模式匹配”和“状态改变”中断功能，可用于重要的 I/O 监控；
- 系统热启动后，保持 I/O 口设置和数字量输出值；
- 支持干、湿接点。

表 3-6 PCI-1753 规格表^[14]

I/O 通道	96 路数字量 I/O (仅对于 PCI-1753), 192 路数字量 I/O (通过 PCI-1753 扩展)
编程模式	8255 PPI 模式 0
数字量输入	
逻辑电平 0	0~0.8V
逻辑电平 1	2.0~5.25V
数字量输出	
逻辑电平 0	0.44V 最大@ 24mA(汇)
逻辑电平 1	3.76V 最小@ 24mA(源)
中断源	PC00, PC04, PC14, 定时器 1 和计数器 2
传输速率(这个值受软件和 CPU 速度的影响)	1.6MB/秒(在 dos, K6300MHZ CPU 下测试)
一般特性	
功耗	最大+5V @ 400 mA (典型) +5V @ 2.7 A(最大)
工作温度	0° ~60° (32° ~140° F)
储存温度	-20° ~70° (-4° ~158° F)
工作湿度	5%~95% RH, 无凝结 (参见 IEC 68-2-3)
接口	一个 100 引脚 SCSI-II 孔式接口
尺寸	175mm(L) * 100 mm(H)

图 3-5 PCI-1753 的内部电路框图^[14]

3.7 关键硬件连接

3.7.1 PO941GPS与PCI-1753 之间的连接

根据第二章对系统的功能和架构的分析，按太阳图像的传递和 GPS 时间的传递，可对硬件连接作一个清晰的描述。

P0941GPS 定时定位接收机启动初始化完毕后，其内部的单片机将 UTC 时间

信息转换为标准北京时间(或世界时)和公历日期以特定的格式的电气信号从其 DB37 连接器送出,可精确到毫秒级。为了不在时间信号传输中造成过大的延迟并且避免时间刷新过快而造成时间覆盖,特地做了一块时间信号锁存板,先将 DB37 送来的时间信号以其 10KHz 的方波信号做同步控制锁存到锁存板内的锁存器内,并通过中断通知 PCI-1753,PCI-1753 在 1 毫秒内将时间读走,这样便保证了时间信息向太阳观测程序的顺利传递。

P0941GPS 定时定位接收机并口输出的时间信号编码为 BCD 码,每个时间十进制位占据四个二进制位。时、分、秒各分十位和个位,共六个十进制位,加上百毫秒、十毫秒、毫秒共九个,因小时的十位仅仅取 0、1 和 2,因此只用两个二进制位,分十位、秒十位最高取值 6,因此各三位,最后共 32 个二进制位。因此需要从 PCI-1753 的 96 路输入/输出中选取 32 路,并设置为输入,用于连接前面的 32 个时间信号。

PCI-1753 模拟的芯片 8255 模式 0 包括:

- 两个 8 位的 I/O 端口: 端口 A(PA)、端口 B(PB);
- 端口 C 被分为低四位和高四位;
- 每个端口可以设置为输入或者输出口;
- 输出状态可以回读。

选择端口 A0 读取 32 位时间信号的低 16 位的低字节,端口 B0 读取 32 位时间信号的低 16 位的高字节, A1 读取 32 位时间信号的高 16 位的低字节, 端口 B1 读取 32 位时间信号的高 16 位的高字节, 这样进行四次读操作,便可得到一个完整的 GPS 时间。因为时间信号是从锁存板读取的,读的过程中锁存器的更新是硬件禁止的,无需担心时间遭到刷新。为了简化编程,使用 PCI-1753 板卡上的 17 个跳线将上述端口(端口 A0/A1, B0/B1)设置为输入,无需软件进一步设置。

PCI-1753 具有的很强的中断处理能力,四个 C 端口各自的两个引脚(C0 和 C4)、加上端口 A0 和端口 B0 连接到中断电路。PCI-1753 的中断控制寄存器控制着这些信号如何产生中断。六个中断请求可同时发生。根据各自的中断服务程序(ISR),处理各个中断请求。六个中断源增加了用户使用板卡的灵活性。为了获得尽可能准确的时间,将 P0941GPS 的 10KHz 的方波信号在锁存板上进行

十分频, 将获得毫秒方波于端口 C0 的 C0 脚相连, 用于产生毫秒中断, 当系统需要时间校验时, 使能该毫秒中断, 然后在对应的中断服务程序中获得准确的 GPS 时间, 平时可禁止该中断。

由于 P0941GPS 定时定位接收机并口输出为 DB37, PCI-1753 的输入/输出连接器是高集成度的 100 引脚 SCSI 接口, 因此锁存板上跟 P0941GPS 相连的连接器也是 DB37, 跟 PCI-1753 相连的连接器是 100 引脚 SCSI, 两者通过锁存板就被桥接了起来。

PCI-1753 接受 0~5VDC 直流湿接点输入或干接点输入。锁存板向 PCI-1753 提供的信号具有驱动能力, 属于直流湿接点输入。湿接触时, 当电压源(锁存板驱动器)内电阻大于 $1.5\text{K}\Omega$ 时, 容易产生故障, 因此使用了一个 $1.5\text{K}\Omega$ 的电阻与电源并联, 避免电压源内部电压过高而损坏锁存板。

3.7.2 PCI-1753 与 S2895 之间的连接

PCI-1753 使用了 PCI 控制器来完成卡与 PCI 总线的接口。该控制器完全符合 PCI 规格 Rev2.1 标准。所有与总线相关的配置, 比如基地址和中断分配等都是软件自动控制的。

S2895 的 Slot2 (插槽 2) 是 32-bit 33Mhz PCI 规格 v2.3 标准, 可向下兼容 PCI 规格 Rev2.1 标准, 因此将 PCI-1753 输入/输出板插在 S2895 的插槽 2 上即可。PCI-1753 读入的 GPS 时间便通过 S2895 的插槽 2 传递给太阳观测程序, 用于系统的时间标定以及 X64-CL Dual 图像采集卡的时间标定, 这样 X64-CL Dual 图像采集卡便有了国际标准时间, 用于给采集的太阳图像做时间标签, 便于这些图像的国际共享和信息对比。由于计算机里面的实时时钟不是非常精确, 因此需要经常与 GPS 标准时间进行校对, 便于这些图像的国际共享和信息对比。

3.7.3 1M48-LMCN 与 X64-CL Dual 之间的连接

在进行太阳观测时, 将 1M48-LMCN 的镜头取下, 放置在太阳望远镜中后端, 使其 CCD 处于太阳像平面上, 以获得尽可能清晰的图像。1M48-LMCN 与外界的电接口全在其尾部, 如图 3-6 所示:

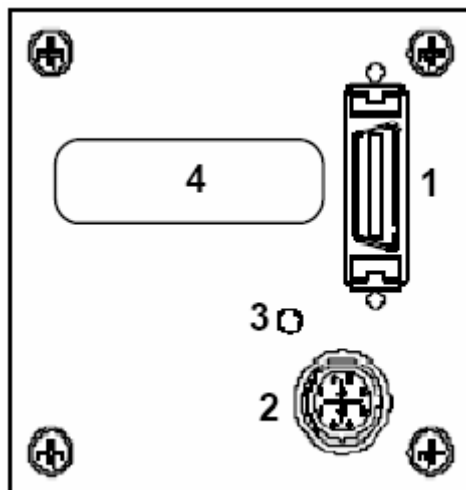


图 3-6 1M48-LMCN 接口图^[7]

表 3-7 1M48-LMCN 接口图描述^[7]

1	相机输出——标准的 Base Camera Link 接口，提供数据、同步、控制和串行接口。
2	电源连接器——提供电源和 I/O 接口。
3	状态指示灯——指示相机的工作状态。
4	序列号——标记相机模型和序列号。

1M48-LMCN 采用其配套的+12VDC@1.5A 的直流稳压适配器供电即可。

相机数据输出满足 Base Camera Link 标准，包含 24 个数据信号、3 个同步信号（LVAL，FVAL 和 DVAL），1 个参考时钟细化，1 个外部输入触发信号和一个双向串口。其输出连接器如图 3-7 所示：

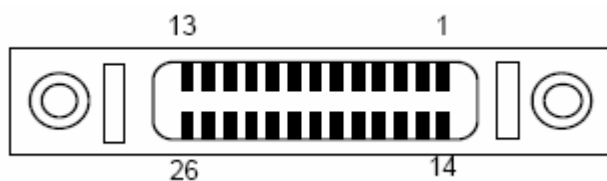


图 3-7 1M48-LMCN 相机输出连接器^[7]

表 3-8 1M48-LMCN 相机连接器信号说明表^[7]

Cable Name	Pin	CL Signal	Type	Description
Inner Shield	1	Inner Shield	Ground	Cable Shield
Inner Shield	14	Inner	Ground	Cable Shield

		Shield		
- PAIR 1	2	- X 0	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
+ PAIR 1	15	+ X 0	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
- PAIR 2	3	- X 1	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
+ PAIR 2	16	+ X 1	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
- PAIR 3	4	- X 2	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
+ PAIR 3	17	+ X 2	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
- PAIR 4	5	- X CLK	LVDS - Out	Camera Link Clock Tx
+ PAIR 4	18	+ X CLK	LVDS - Out	Camera Link Clock Tx
- PAIR 5	6	- X 3	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
+ PAIR 5	19	+ X 3	LVDS - Out	Camera Link Channel Tx
- PAIR 6	7	+ SerTC	LVDS - In	Serial Data Receiver
+ PAIR 6	20	- SerTC	LVDS - In	Serial Data Receiver
- PAIR 7	8	- SerTFG	LVDS - Out	Serial Data Transmitter
+ PAIR 7	21	+ SerTFG	LVDS - Out	Serial Data Transmitter
- PAIR 8	9	- CC 1	LVDS - In	Software External Trigger
+ PAIR 8	22	+ CC 1	LVDS - In	Software External Trigger
- PAIR 9	10	N/C	N/C	N/C
+ PAIR 9	23	N/C	N/C	N/C
- PAIR 10	11	N/C	N/C	N/C
+ PAIR 10	24	N/C	N/C	N/C
- PAIR 11	12	N/C	N/C	N/C
+ PAIR 11	25	N/C	N/C	N/C
Inner Shield	13	Inner Shield	Ground	Cable Shield
Inner Shield	26	Inner Shield	Ground	Cable Shield

上表中的信号仅用于信息的传递，都是差分信号，他们与实际的信号（如

图像数据、同步信号等)之间的对应关系如表 3-9 所示:

表 3-9 1M48-LMCN 连接器与实际信号之间对应的关系表^[7]

Port	Port/bit	12-bits Tap 1, 2
DATA0	PORT A0	A0
DATA1	PORT A1	A1
DATA2	PORT A2	A2
DATA3	PORT A3	A3
DATA4	PORT A4	A4
DATA5	PORT A5	A5
DATA6	PORT A6	A6
DATA7	PORT A7	A7
DATA8	PORT B0	A8
DATA9	PORT B1	A9
DATA10	PORT B2	A10
DATA11	PORT B3	A11
DATA12	PORT B4	B8
DATA13	PORT B5	B9
DATA14	PORT B6	B10
DATA15	PORT B7	B11
DATA16	PORT C0	B0
DATA17	PORT C1	B1
DATA18	PORT C2	B2
DATA19	PORT C3	B3
DATA20	PORT C4	B4
DATA21	PORT C5	B5
DATA22	PORT C6	B6
DATA23	PORT C7	B7
ENABLE0	LVAL	LVAL
ENABLE1	FVAL	FVAL

ENABLE2	DVAL	DVAL
ENABLE3	N/C	N/C
CONTROL0	CC 1	CC 1
CONTROL1	N/C	N/C
CONTROL2	N/C	N/C
CONTROL3	N/C	N/C

1M48-LMCN-CCD 通过高速的 Base Camera Link 与 X64-CL Dual 图像采集卡相连。X64-CL Dual 图像采集卡即可通过串口配置 1M48-LMCN-CCD，通过数据线抓取图像，控制相机软件触发。

在正常模式下，1M48-LMCN-CCD 相机是自由运行的，即开始采样时刻不好确定。使用外部触发模式，可使相机与外部时序脉冲同步起来，如 GPS 的 10KHz 方波分频后的 10Hz 的方波，这样即使不同地点的太阳望远镜内的 CCD 相机都可以将成像同步起来。外部触发模式又包含两种子模式：软件触发模式和硬件触发模式。1M48-LMCN-CCD 相机的硬件触发输入经过光藕隔离，具有很高的抗干扰性，通过其“+TRIGGER IN”和“-TRIGGER IN”输入，并且要求触发脉冲至少宽 100 毫秒，因此将相机帧速限制到了 10FPS。如果采用软件触发模式，这个触发信号通过 1M48-LMCN-CCD 相机的 CC1 相机控制信号输入，这种情况下其最高帧速可达 48FPS。X64-CL Dual 图像采集卡提供 CC1 到 CC4 四个相机控制信号，将它们的 CC1 对应的连接起来（已经包含在 Base Camera Link 里面）即可实现 1M48-LMCN-CCD 相机的软件模式外部触发，用于实现相机同步。

1M48-LMCN-CCD 相机的电源端子不但有供电引脚，还包含所有的相机输入和输出。如图 3-8 所示：

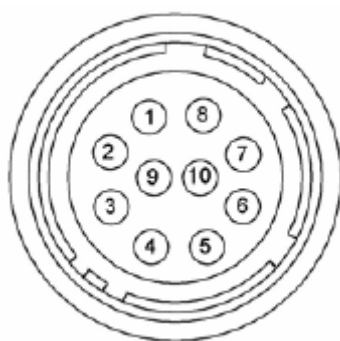


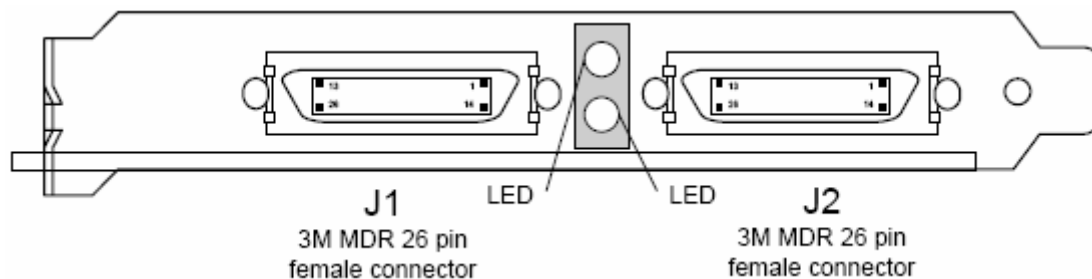
图 3-8 1M48-LMCN-CCD 相机的电源端子^[7]

表 3-10 1M48-LMCN-CCD 相机各引脚描述表^[7]

Pin	Signal	Type	Description
1	Trigger In -	TTL - Inpu	External Trigger Input
2	Trigger In +	TTL - Input	External Trigger Input
3	GND	Power - Input	Power Ground Return
4	GND	Power - Input	Power Ground Return
5	+ 12 V	Power - Input	+ 12 V Power Supply
6	+ 12 V	Power - Input	+ 12 V Power Supply
7	Strobe Out -	TTL - Output	Strobe Light Sync Pulse
8	Strobe Out +	TTL - Output	Strobe Light Sync Pulse
9	Reserve	-	Do not use
10	Reserve	-	Do not use

其中外部触发输入可用于相机同步，脉冲输出用于控制外部光源，因太阳望远镜无需外部光源来增强太阳图像，因此脉冲输出并没有使用。

X64-CL Dual 的 Base Camera Link 连接器分布如图 3-9 所示：

图 3-9 X64-CL Dual 的 Base Camera Link 连接器分布图^[10]

其中 J1 和 J2 分别可以独立地连接支持 Base Camera Link 的相机，因此将 1M48-LMCN-CCD 相机与它们任何一个相连接口，实际运用中与 J1 相连。

3.7.4 X64-CL Dual与S2895 之间的连接

X64-CL Dual 是通用的 PCI 槽板卡，遵循 64 位 PCI 2.2 版规范，可插在 64 位-66/33MHz 的 PCI 槽中或者 32 位-33MHz 的 PCI 槽中都可工作。配备合适的相机，其数据传输率可高达 528MByte/s（64 位-66MHz 的 PCI 槽）。S2895 的第四个和第五个插槽支持 PCI-X 100MHz，第六个槽支持 PCI-X 133MHz，因

此 X64-CL Dual 插在这三个槽中的任一个之中都可以充分地工作, 而且还有剩余带宽。

第3章 参考文献

1. AMD NPT Family 0Fh Processor Electrical Data Sheet [M]. AMD Corporation, 15 Aug 2006.
2. AMD Functional Data Sheet, 940 Pin Package [M]. AMD Corporation, 24 Jun 2007.
3. AMD Opteron Processor Product Data Sheet [M]. AMD Corporation, 8 Aug 2006.
4. AMD Opteron Processor Power and Thermal Data Sheet [M]. AMD Corporation, 30 May 2006.
5. Thunder K8WE (S2895) datasheet [M]. TYAN Corporation, 24 Feb 2005.
6. Thunder K8WE (S2895) user's manual [M]. TYAN Corporation, 22 Feb 2005.
7. Specifications for IPX-1M48-L [M]. Imperx Corporation, 11 Aug 2004.
8. IPX CAMERA SERIES HIGH-RESOLUTION, PROGRAMMABLE 8/10/12 BIT, CAMERA LINK DIGITAL CAMERAS User's Manual [M]. Imperx Corporation, 5 Jun 2005.
9. X64-CL Dual datasheet [M]. Coreco imaging Corporation, 1 Feb 2003.
10. X64-CL Series User's Manual [M]. Dalsa Coreco Corporation, 17 Oct 2005.
11. 李天文. GPS 原理及应用 [M]. 北京:科学出版社, 2003.
12. P0941GPS 数据手册 [M]. 中国科学院国家授时中心, 2003.
13. PCI-1753/1753E 快速安装使用手册 [M]. 研华科技股份有限公司, 3 Jun 2003.
14. PCI-1753/PCI-1753E 数据手册 [M]. 研华科技股份有限公司, 13 Jun 2003.
15. 黄小耘. NTP 在电力自动化设备时钟同步中的应用探讨 [J]. 电力系统自动

化, 2005, 29(15):93-95.

第4章 SIPRS系统的软件设计与实现

SIPRS 系统拥有高性能的工作站，还需配备良好设计的软件以充分发挥底层硬件的性能，使整个系统处于最高性能的运行状态，充分将各种硬件处理资源利用起来。SIPRS 工作站运行具有优良性能专业级的 Windows XP pro SP2，同时各个硬件部件的厂商都有在该操作系统下经过优化的驱动程序，用于驱动相应的硬件。

Windows 系统的价值优势主要体现在可扩展性、易用性、可维护性、兼容性、可用性等细分指标的优越性能和有效整合天文用户现有的 IT 资源、建立统一技术架构、优化天文研究流程等方面。它拥有如下特色：

- 1) 直观、高效的面向对象的图形用户界面，易学易用；
- 2) 用户界面统一、友好、美观；
- 3) 丰富的设备无关的图形操作；
- 4) 多任务；
- 5) 丰富的 Windows 软件开发工具；
- 6) 面向对象式的程序设计思想；
- 7) 网络支持良好；
- 8) 出色的多媒体功能；
- 9) 硬件支持良好；
- 10) 众多的应用程序。

这些功能最终可以给天文观测软件、天文图像处理软件和基于网络的虚拟天文台等等带来很高的开发效率，降低开发成本。

SIPRS 根据太阳观测、太阳观测图像处理、太阳观测图像管理和共享，太阳观测图像存储的需要配备了很多应用软件：

- 太阳观测软件。用于太阳观测，获取磁敏谱线下的全日面图像；
- 太阳观测图像处理软件。用于太阳图像预处理、太阳耀斑识别、磁图提取、FITS 文件生成、JPEG 文件生成和数据压缩等；
- Windows 版的 IDL 集成开发环境。ITT 可视化信息解决方案供应商提供数量、图像可视化处理软件，用于太阳磁图提取等太阳物理信息处理和统计；

- MySQL 工业级数据库。用于太阳观测图像管理、统计，高速存储和回放；
- Apache 服务器。含 HTTP 服务器和 FTP 服务器，用于太阳观测图像共享，远程浏览和下载；
- Microsoft Office 办公软件。用于太阳观测、太阳观测图像管理和处理中的文档编写及数据统计；
- Photoshop 平面图像处理软件。用于太阳观测图像的艺术加工，为虚拟天文台提供太阳方面的素材；
- Microsoft Visual Studio。Windows XP 下的集成开发环境，用于开发太阳观测和太阳图像处理软件。

4.1 关键部件信息流程

SIPRS 系统中关键的部件软件有两个：GPS 对时和太阳图像抓取。前者通过 PCI-1753 获取 P0941GPS 定时定位接收器提供的标准时间，然后对 Windows XP SP2 的系统时间进行设置；后者通过 X64-CL Dual^[1] 图像采集卡采集 1M48-LMCN-CCD^[2] 数字相机拍摄的太阳在观测谱线处的日面图。

4.1.1 GPS对时

P0941GPS^[3] 定时定位接收机启动完成后，即可从并口输出标准的北京时间。P0941GPS 通过锁存板传送的 10KHz 方波在 PCI-1753 上产生中断，PCI-1753 再把该中断通过 PCI 的中断 A 送给操作系统，Windows XP SP2 调用相应的中断服务程序，并产生相应的中断事件，GPS 对时程序在事件处理程序中读取锁存的标准时间，然后对系统时间进行设置。时间信息在 SIPRS 系统中的流程如图 4-1 所示：

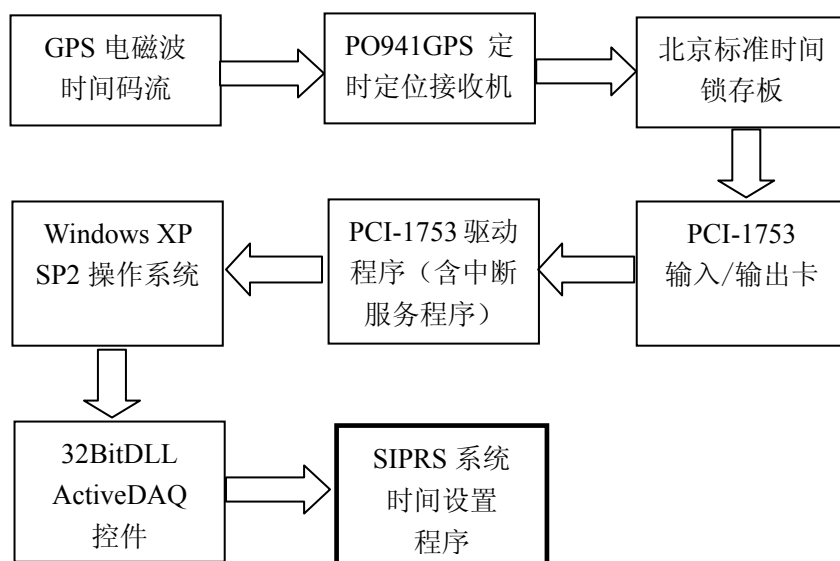


图 4-1 SIPRS 系统中的 GPS 时间流图

4.1.2 太阳图像抓取

在白天晴天无云的天气条件下，太阳光通过太阳望远镜，经过滤光器后的磁敏谱线经成像镜，在 1M48-LMCN-CCD 数字相机的 CCD（去掉了镜头）上成一圆盘太阳像。相机采集的太阳像通过 Base Camera Link 高速视频电缆传送给 X64-CL Dual 高速图像采集卡的本地缓冲内存里。在获取一帧完整图像后，X64-CL Dual 高速图像采集卡通过 PCI-X 向系统产生中断，Windows XP 调用 X64-CL Dual 高速图像采集卡的驱动程序，执行相应的中断服务程序，采用 DMA 通过 PCI-X 把 X64-CL Dual 高速图像采集卡上缓存内的太阳图像传送到 S2895 主板上的系统内存中，然后由太阳图像显示程序进行显示。太阳图像在 SIPRS 系统中的流程如图 4-2 所示：

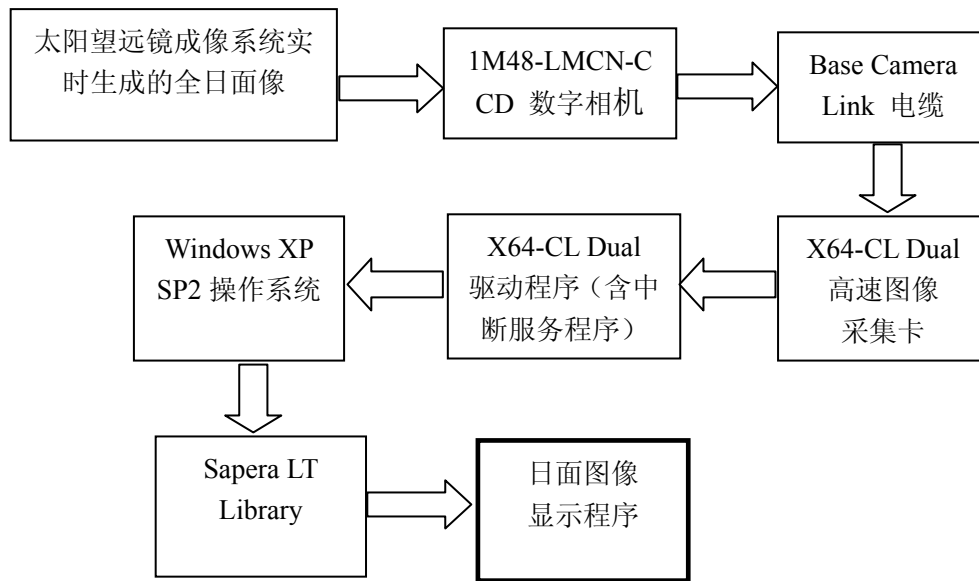


图 4-2 SIPRS 系统中的太阳图像流图

4.2 关键子系统设置与测试

SIPRS 中的两个关键子系统 GPS 对时子系统和太阳图像采集子系统，都需要在软件上进行工作模式和性能参数等方面的设置，才能进行正常工作。

4.2.1 GPS对时子系统

P0941GPS 的工作由其内部的固件完成，无需任何软件设置。其输出的标准北京时间经锁存板后送给 PCI-1753, PCI-1753 相应的管脚已经采用硬件跳线设置为输入。为了在毫秒时间到来那一刻附件读取时间，不造成过大的延迟（1 毫秒之内），P0941GPS 的 10KHz 方波输入到了 PCI-1753 的端口 C0 的 C0 引脚，该脚具有中断相应功能，采用此功能来实现时间的同步。它需要在中断控制和中断模式寄存器中进行相应的设置。

PCI-1753 的 IRQ 级别是由软件自动控制分配的，并保存在 PCI 控制器里，满足 PCI 总线的即插即用功能，用户无需设置 IRQ 级别，虽然板卡具有六个中断源但只使用一个 IRQ 级别。

PCI-1753 的中断控制寄存器控制着中断源、触发沿和标志。下表指出了中断控制寄存器各个位的作用。它是可读/可写寄存器。当写入时，它被用做控制寄存器；当读出时，它被用做状态寄存器。

表 4-1 PCI-1753 中断控制与中断状态寄存器表^[4]

Base+16	PORT0								
Bit#	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D0
Abbreviation	F0	E0	M01	M00	F02	M2	F01	M1	
Base+17	PORT1								
Bit#	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D0
Abbreviation	F1	E1	M11	M10	—	—	—	—	—
Base+18	PORT2								
Bit#	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D0
Abbreviation	F2	E2	M21	M20	—	—	—	—	—
Base+19	PORT3								
Bit#	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D0
Abbreviation	F3	E3	M31	M30	—	—	—	—	—

表 4-1 中各位含义如下：

Mn0 和 Mn1：端口 Cn 的模式位；

M1：端口 A0 的模式匹配端口使能控制位；

M2：端口 B0 的状态改变端口使能控制位；

En：触发沿控制位；

Fn：Cn 的中断标志位；

F01：端口 A0 模式匹配中断标志位；

F02：端口 B0 状态改变中断标志位（n=0~3）。

模式位用于中断源控制，写入到控制寄存器来决定哪个信号产生中断，如图 4-3 所示：

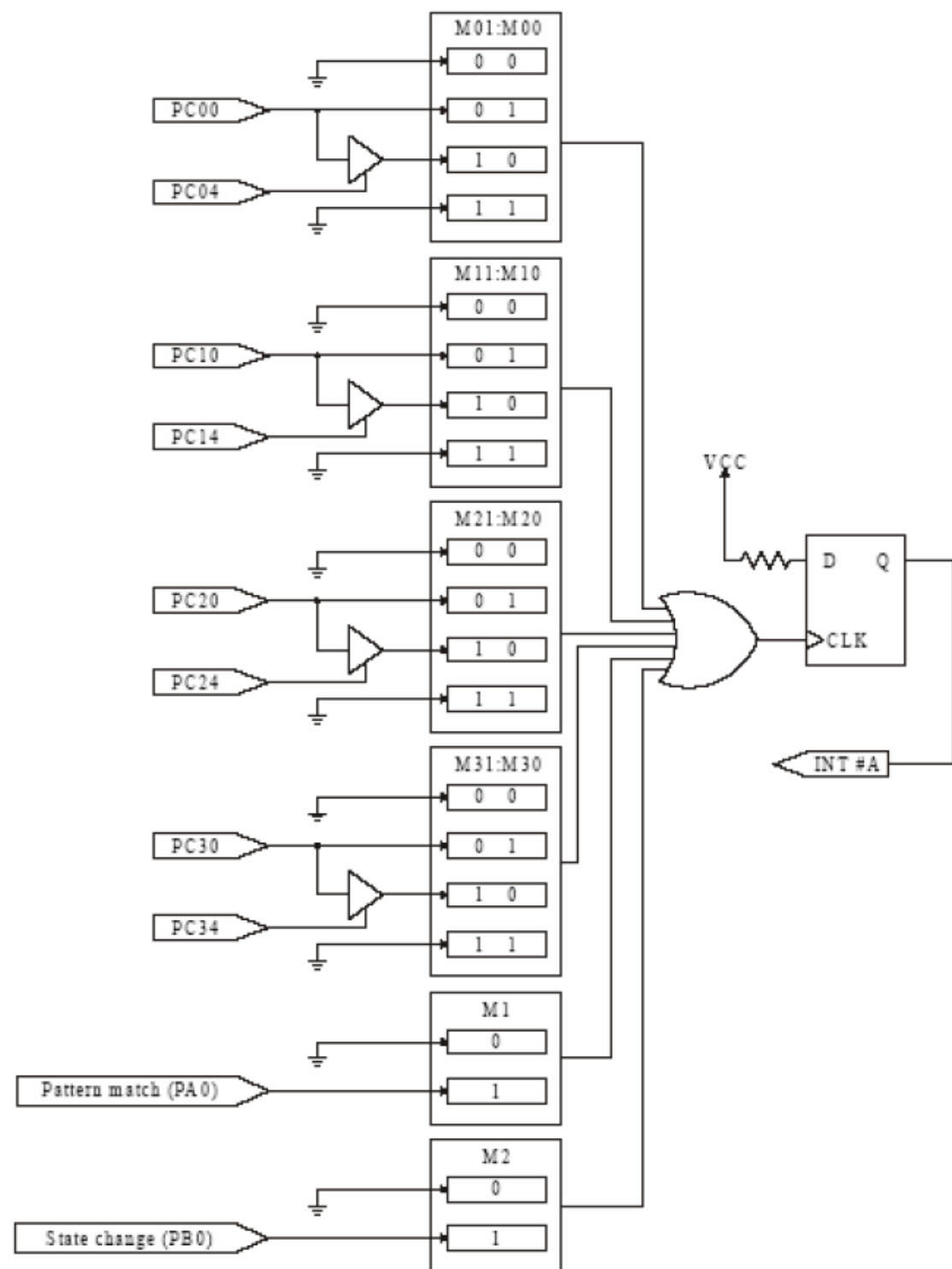


图 4-3 PCI-1753 中断源控制^[4]

表 4-2 PCI-1753 中断模式位描述表^[4]

Base+16	Port 0	Base+17	Port 1		
M01	M00	Description	M11	M10	Description
0	0	Disable interrupt	0	0	Disable interrupt
0	1	Source = PC00	0	1	Source = PC10
1	0	Source = PC00	1	0	Source = PC10 and PC14

		and PC04			
1	1	Disable interrupt	1	1	Disable interrupt
Base+18	Port 2	Base+19	Port 3		
M21	M20	Description	M31	M30	Description
0	0	Disable interrupt	0	0	Disable interrupt
0	1	Source = PC20	0	1	Source = PC30
1	0	Source = PC20 and PC24	1	0	Source = PC30 and PC34
1	1	Disable interrupt	1	1	Disable interrupt

中断还可选择是上升沿触发还是下降沿触发，其控制位描述如表 4-3 所示：

表 4-3 中断沿触发控制位描述表^[4]

En (n = 0 ~ 3)	Triggering edge of interrupt signal
1	Rising edge trigger
0	Falling edge trigger

中断的状态位用于描述中断状态，它可读可写，各位描述如表 4-4 所示：

表 4-4 中断状态位描述表^[4]

F01, F02 and Fn (n = 0 ~ 3)		Interrupt Status
Read	1	Interrupt exists
	0	No interrupt
Write	1	Clear interrupt
	0	Don't care

PCI-1753 还提供在 A 端口的模式匹配中断，B 端口的状态改变中断，因 SIPRS 中没有使用，因此省略其介绍。

根据 PCI-1753 在 SIPRS 中的使用和连接，SIPRS 中仅用了端口 C0 的 C0 上升沿中断，因此中断控制寄存器设置如下：

■ PORT1、PORT2 和 PORT3 的中断未使用，根据中断控制位定义将其全清零；

■ 仅用了端口 C0 的 C0 上升沿中断，即所有 F 位置 1，清除中断；M1 和 M2 清零，禁止端口 A0 的模式匹配中断和端口 B0 的状态改变中断；M01=0，M00=1，选取 C0 口的 C0 为中断源；E0=1，取上升沿触发。综合各位设置可得端口

0 的中断控制寄存器设置值为 0xDA。

这样设置好后，PCI-1753 便可响应 P0941GPS 送过来的 10KHz 方波产生的中断了。

在 SIPRS 工作之前，需要对 P0941GPS 和 PCI-1753 构成的 GPS 定时系统进行测试，确保其可以正常工作。

P0941GPS 启动完毕后，如果没有故障，其二十位 LCD 即可翻页显示时间信息(年(四位)月日时分秒，可选择北京时或世界时，通过面板上的按键进行选择)，接收天线处的经度、纬度、高度、估计水平误差、估计垂直误差、磁偏角、航向以及定位有效性。

研华科技为 PCI-1753 提供了一系列的驱动程序、动态链接库、的三方驱动程序、设备管理程序、测试程序和演示程序（含源代码），十分方便 PCI-1753 的安装和测试：

- Advantech's Drivers for 3rd Party Software;
- Advantech's OCX Driver;
- Linux driver for Dac' card;
- 32-bit DLL Drivers for PCI-1753;
- Universal 32-bit DLL Driver for PCI-1753;
- DOS Direct I/O example for PCI-1753。

其安装与测试流程如图 4-4 所示：

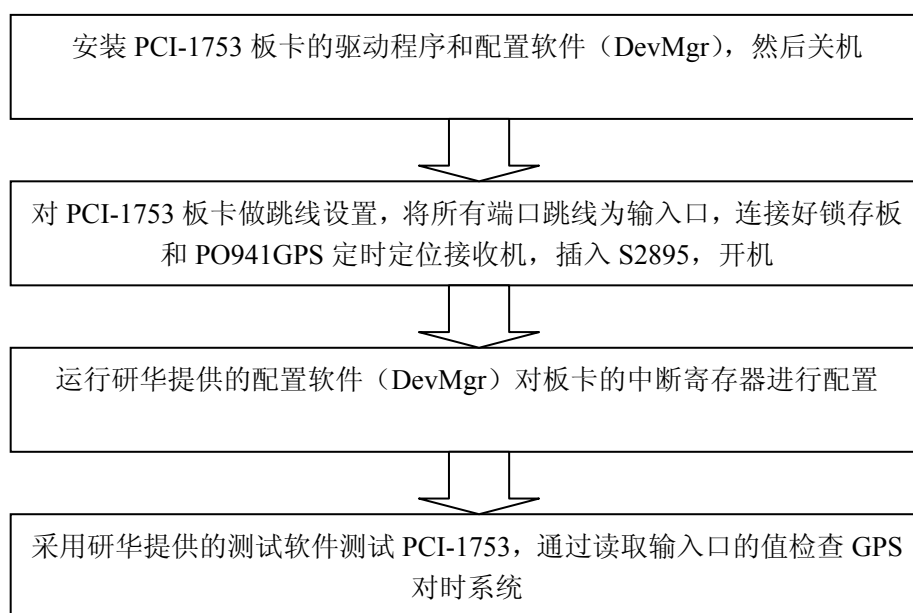
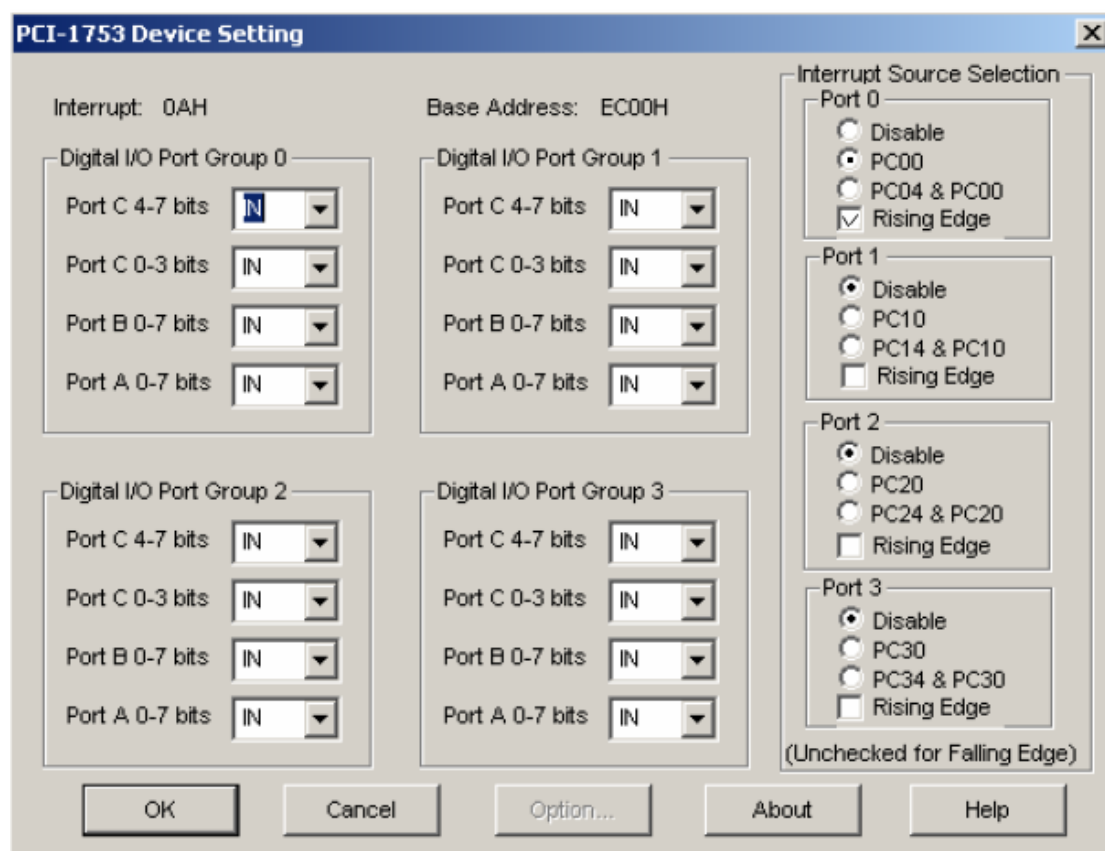


图 4-4 GPS 对时系统安装与测试流程图

PCI-1753 板卡在研华的 Device Manager（DevMgr）软件中配置如图 4-5 所示：

图 4-5 PCI-1753 板卡在 Device Manager 中的配置^[4]

正常情况下，采用研华的板卡测试程序——Advantech Device Test 软件读取 PCI-1753 的端口 A0/A1/B0/B1，可获得 BCD 编码的标准北京时间。

4.2.2 太阳图像采集子系统

太阳图像采集子系统是 SIPRS 系统的核心子系统。根据太阳观测的特征，对 1M48-LMCN-CCD 数字相机和 X64-CL Dual 高速图像采集卡的工作模式和性能参数进行恰当的设置，配备太阳观测程序即可进行正常的日面活动观测。

1M48-LMCN-CCD 数字相机具有高度可编程性和灵活性，其全部特性和工作参数都可由用户控制。通过 Base Camera Link 集成的串口通道，用简单的 ASCII 命令即可与 1M48 进行通讯，配置和监视 1M48 的全部资源（内部寄存器、视频放大器和 EEPROM）。UART 异步通讯格式为 8 个数据位，1 个停止位，无校验和无握手，波特率为 9600BPS。1M48 通过该串口对用户输入的命令进行响应。为简化配置，1M48 还配备了一个图形用户界面的 IPX Configurator 配置软件。

1M48-LMCN-CCD 数字相机内建的配置内存分三个部分：工作空间、厂方空间 and 用户空间。工作空间存储相机启动后运行的当前配置，相机的所有寄存器都处于该空间，并都可以通 ASCII 命令进行读取和修改。由于工作空间是基于 RAM 的，因此相机关电后所有配置数据便会丢失。厂方空间是基于 ROM 的，不可写，存储相机的缺省配置，只能读取其内容。而用户空间是基于非挥发的 EEPROM 用于存储用户自定义的配置。相机启动时，其固件程序便从用户空间或者厂方空间将配置拷贝到工作空间中去，具体从什么地方拷贝，通过设置引导控制寄存器的值来确定。正常情况下，可设置为从厂方空间拷贝来恢复相机的缺省设置；从用户空间拷贝来调用用户自定义的配置，当用户修改完工作空间的内容后，可把相应的内容写入用户空间中，这样免掉了每次启动相机都进行配置修改。

1M48-LMCN-CCD 数字相机工作空间共有 25 个配置寄存器，所有控制寄存器为 8 位，所有 AFE（模拟前端）寄存器为 16 位，每个寄存器可单独存取。其寄存器映射如表 4-5 所示：

表 4-5 1M48-LMCN-CCD 数字相机寄存器映射表^[2]

Device	Register	R/W	Address
Local Camera	Camera Control 1	Read/Write	00

Control Registers	Camera Control 2	Read/Write	01
	External Trigger Duration	Read/Write	02
	Reserved for Future use		03
	Vertical Window Top Lines Low	Read/Write	04
	Vertical Window Top Lines High	Read/Write	05
	Vertical Window Bottom Lines Low	Read/Write	06
	Vertical Window Bottom Lines High	Read/Write	07
	Shutter Time Select	Read/Write	08
	Reserved for Future use		09
	Long Integration Time Low	Read/Write	0A
	Pre-Exposure/Long Integration Time High	Read/Write	0B
	Strobe Position Select	Read/Write	0C
	Reserved for Future use		0D
	Horizontal Window Size Left	Read/Write	0E
	Horizontal Window Size Right	Read/Write	0F
Ch.1 AFE Registers	Operation Low	Read/Write	10
	Operation High	Read/Write	11
	Gain Low	Read/Write	12
	Gain High	Read/Write	13
	Clamp Low	Read/Write	14
	Clamp High	Read/Write	15
	Control Low	Read/Write	16
	Control High	Read/Write	17
	Reserved for Future use		18: 1F
Ch.2 AFE Registers	Operation Low	Read/Write	20
	Operation High	Read/Write	21
	Gain Low	Read/Write	22
	Gain High	Read/Write	23
	Clamp Low	Read/Write	24

	Clamp High	Read/Write	25
	Control Low	Read/Write	26
	Control High	Read/Write	27
	Reserved for Future use		28: 2F
Product ID	CCD FPGA Revision	Read Only	30
	Reserved for Future use		31
	DSP FPGA Revision	Read Only	32
	Reserved for Future use		33
	Reserved for Future use		34: 7F
EEPROM	Local Camera Control Registers	Read Only	80: 8F
Factory Settings	Ch.1 AFE Registers	Read Only	90: 9F
	Ch.2 AFE Registers	Read Only	A0: AF
	MFG Data	Read Only	B0: BF
EEPROM User Settings	Local Camera Control Registers	Read/Write	C0: CF
	Ch.1 AFE Registers	Read/Write	D0: DF
	Ch.2 AFE Registers	Read/Write	E0: EF
	Reserved for Future use		F0: FE
BOOT	Boot Control	Read/Write	FF

1M48-LMCN-CCD 数字相机的 ASCII 命令和响应格式如下：

- 8 位寄存器写：0xA5+寄存器地址+0x5A+要写的数据；
- 16 位寄存器写：0xA5+寄存器地址低字节+0x5A+要写的低字节+0xA5+寄存器地址高字节+0x5A+要写的高字节；
- 8 位寄存器读：0xA5+寄存器地址+0x55+0x55，相机通过串口返回被读寄存器数据；
- 16 位寄存器读：0xA5+寄存器地址低字节+0x55+0x55，相机通过串口返回被读寄存器数据低字节；0xA5+寄存器地址高字节+0x55+0x55，相机通过串口返回被读寄存器数据高字节。

IPX Configurator 配置软件封装了上述 ASCII 命令和响应的协议，可用于

1M48-LMCN-CCD 数字相机的快速配置和测试。其运行界面如图 4-6 所示：

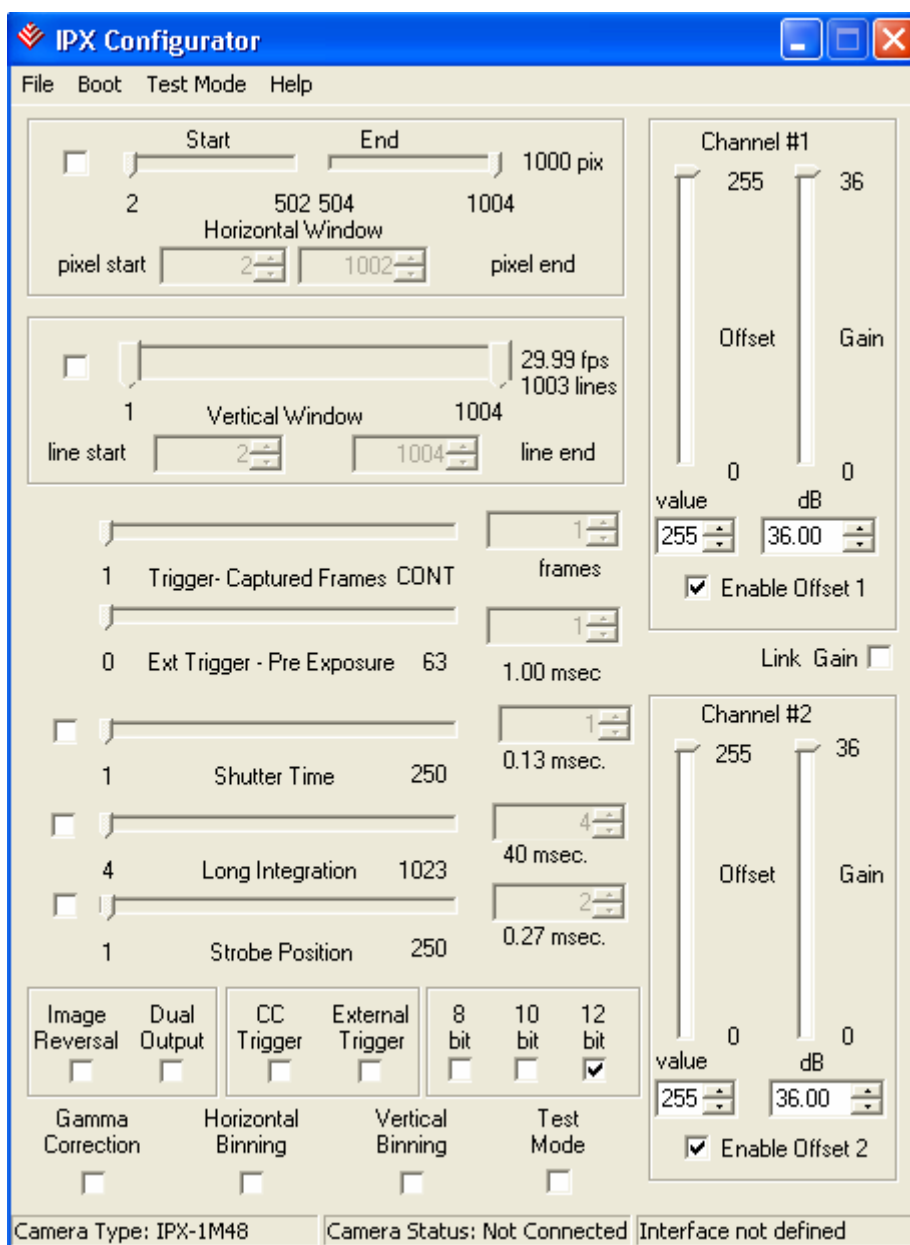


图 4-6 IPX Configurator 配置界面图^[2]

为了通过程序对相机进行配置，必须遵循上述协议。X64-CL Dual 高速图像采集卡也封装了上述协议，方便用户对 1M48-LMCN-CCD 数字相机进行配置和控制。由于 1M48-LMCN-CCD 数字相机的串口集成在 Base Camera Link 之中，因此通常需要将其于图像采集卡连接号再进行配置和测试。

将 1M48-LMCN-CCD 数字相机用 Base Camera Link 电缆与 X64-CL Dual 高速图像采集卡连接起来，把工作站关机，然后把卡插入工作站第四个为 PCI-X 的插槽中，固定好后开机。由于 PCI-X 卡是即插即用的，Windows XP 会自动检测

新硬件，X64-CL Dual 高速图像采集卡的驱动需要手动安装以定制一些特性，因此在此取消 Windows XP 的硬件驱动安装向导。运行 DALSA Coreco Sapera CD-ROM 上的 launch.exe 按程序提示先安装 Sapera LT 开发库（必须先安装），再安装 X64-CL Dual 高速图像采集卡的驱动，重启系统之后驱动安装完毕。

系统重启后，有时需要对 X64-CL Dual 高速图像采集卡上的固件进行更新，有三种方法可以采用：自动更新，手动更新和定制更新。采用 DALSA Coreco Device Manager 可完成这三种更新，SIPRS 系统中采用了自动更新。其界面如图 4-7 所示：

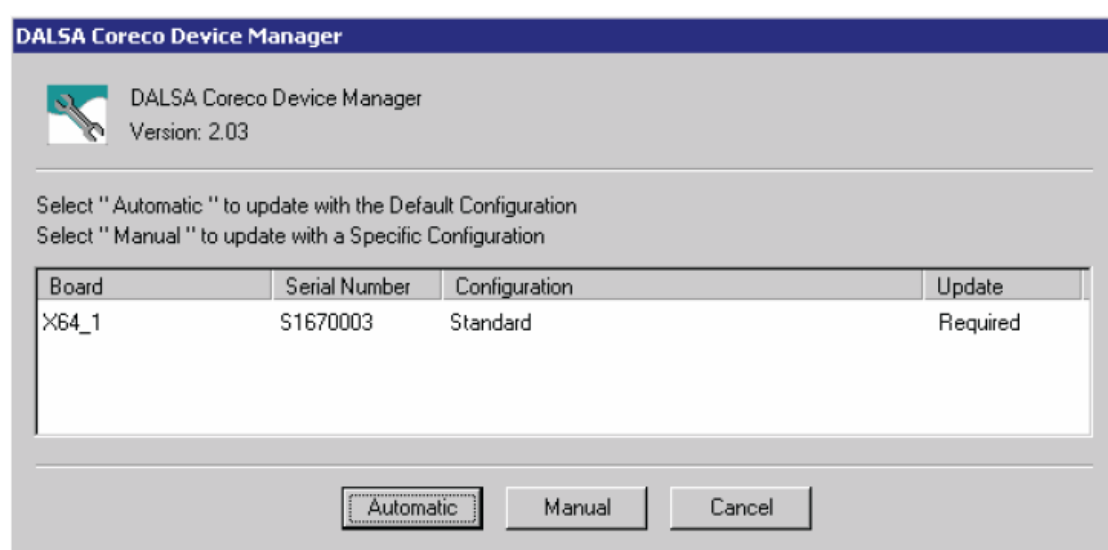
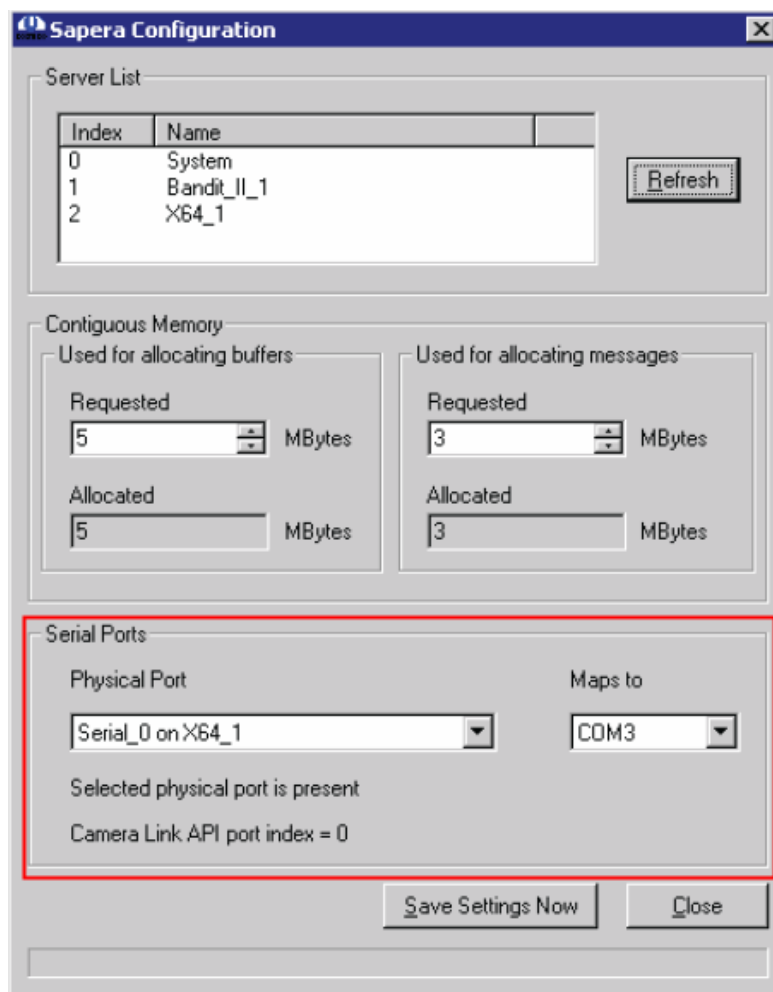
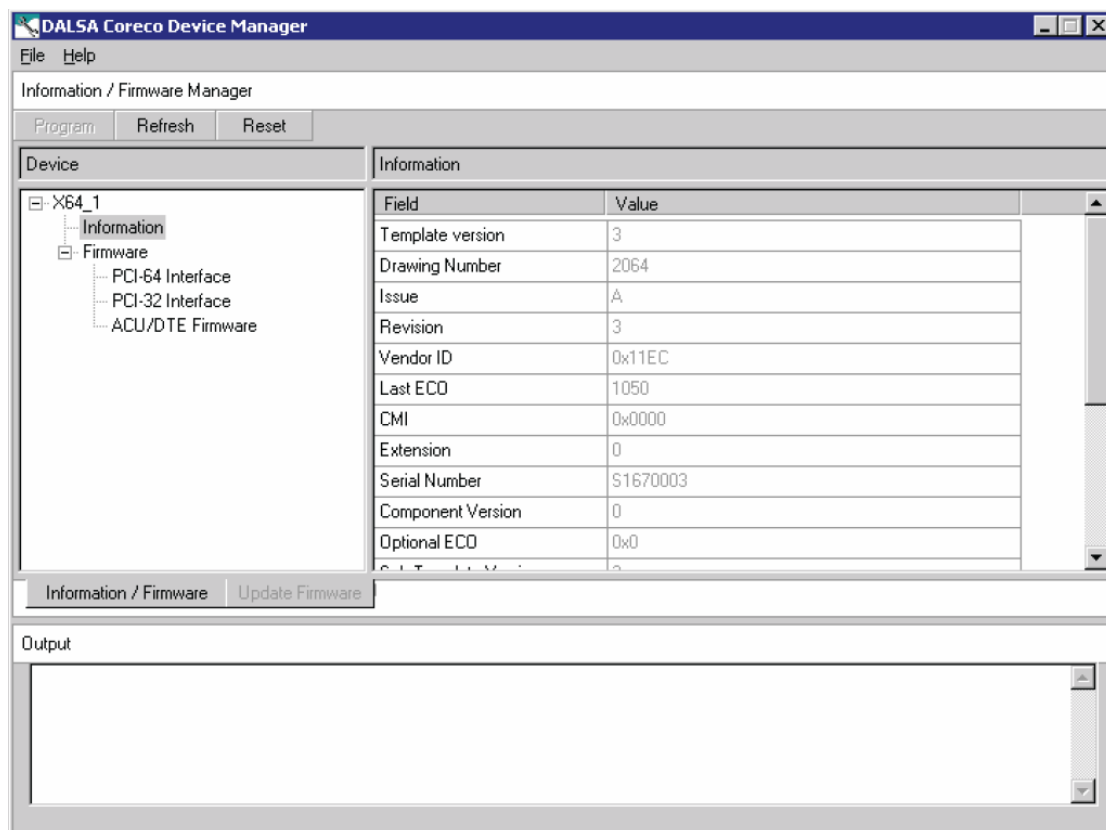


图 4-7 DALSA Coreco Device Manager 运行界面^[1]

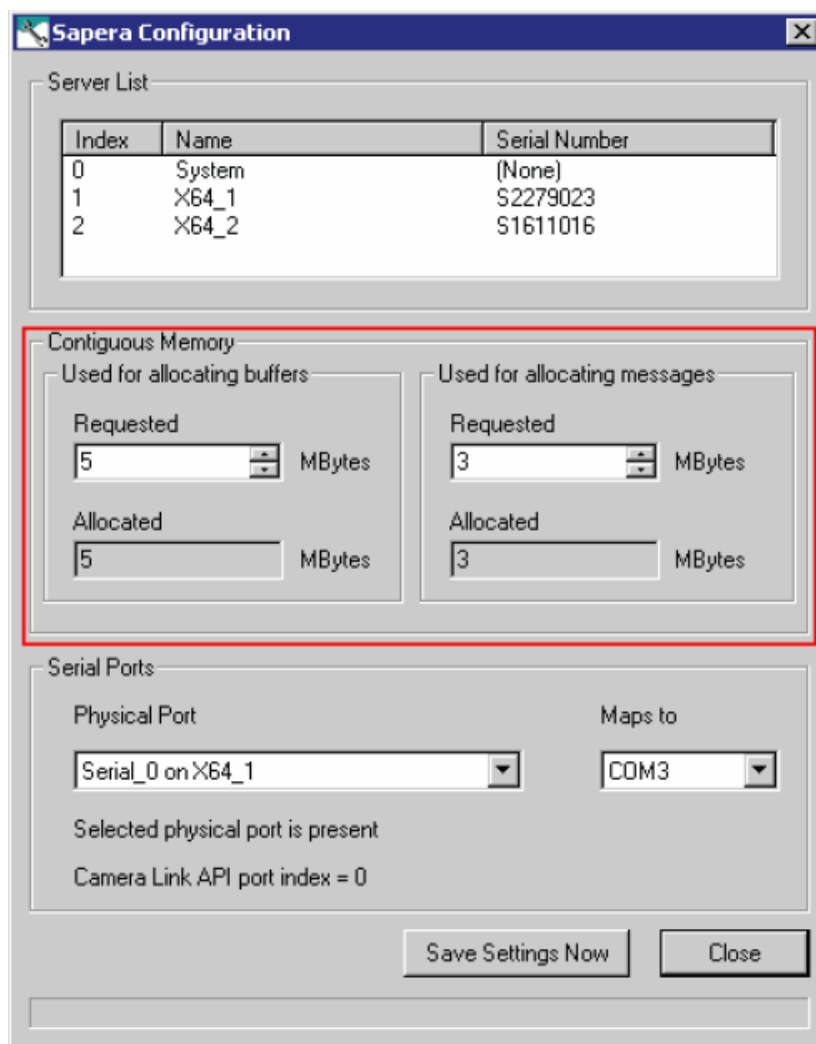
估计更新完毕后即可开始对图像采集子系统进行测试了。根据 CameraLink 规范，每个 Base Camera Link 接口都有一个串口，X64-CL Dual 有两个这样的接口，因此有两个串口。X64-CL Dual 的驱动既可直接操作该串口也可将其映射到主机上的 COM 口，直接操作可提升程序性能，映射后可采用任何串口程序对 X64-CL Dual 所连接的相机进行通讯，用于图像采集子系统的初步测试。串口的映射也在 DALSA Coreco Device Manager 中完成，如图 4-8 所示：

图 4-8 X64-CL Dual 串口的逻辑映射^[6]

SIPRS 系统中将 X64-CL Dual 中的两个串口分别映射为 COM3 和 COM4。通过 Coreco Device Manager - Board Viewer 可以查看到 X64-CL Dual 板卡的信息，如图 4-9 所示：

图 4-9 Board Viewer 查看 X64-CL Dual 板卡的信息图^[6]

为了提升 Sapera LT 开发库的性能，还需要对 Sapera 进行配置。Sapera 运行时需要两个关键的连续内存资源（内存在物理地址上是连续的）：Sapera 缓冲和 Sapera 消息。前者用于存储 Sapera 启动时主机帧缓冲管理所需要的动态分配资源如 DMA 描述表以及其余内核需求；后者用于启动时消息分配，存储主人 Sapera 函数调用时传递的参数等。这些需求通常按缺省的分配即可满足要求，如图 4-10 所示：

图 4-10 Spera 连续内存资源分配^[6]

DALSA Coreco 公司为测试基于其图像采集卡的图像采集系统提供了一个快速配置和测试工具——CamExpert，它具有如下特性^[6]：

- 支持所有由 Spera 库支持的图像采集卡；
- 可根据相机时序和控制参数生成相机配置文件（如 i_ipx-lm48_single12.cca），也可调用以前设置好的相机配置文件，甚至具有向下兼容性，调用其低版本的相机配置文件，如*.cca 和*.cvi 文件；
- 其中实时采集显示窗口可用于立即检测对相机时序和控制参数的有效性，而无需运行单独的图像采集程序，同时其状态栏还可显示相机的像素时钟、帧有效和行有效信号；
- 采用可配置的 CCF（相机配置文件）文件，实现了灵活的相机接口和配置。

CamExpert 的 CCF 文件两部分关键信息——描述相机的视频信号特性和工作模式的参数，以及对应的图像采集卡的工作参数：

相机相关参数：

- 视频格式和像素定义；
- 视频分辨率（像素时钟、每行像素数目和每帧行数）；
- 同步信号源和时序；
- 通道配置；
- 支持的相机模式和相关参数；
- 外部信号分配。

图像采集卡相关参数：

- 激活并设置所有支持的相机控制模式和控制变量；
- 定义累积模式和持续时间；
- 定义触发输出控制；
- 分配图像采集卡传输 ROI，主机视频缓冲大小和类型（RGB888, RGB101010, MON08, MON016）；
- 配置行/帧触发参数，如触发源（采集卡内部触发或者外部触发），电气格式（TTL, LVDS, 光藕隔离等）和信号的有效沿或者有效电平特性。

CamExpert 的运行如图 4-11 所示：

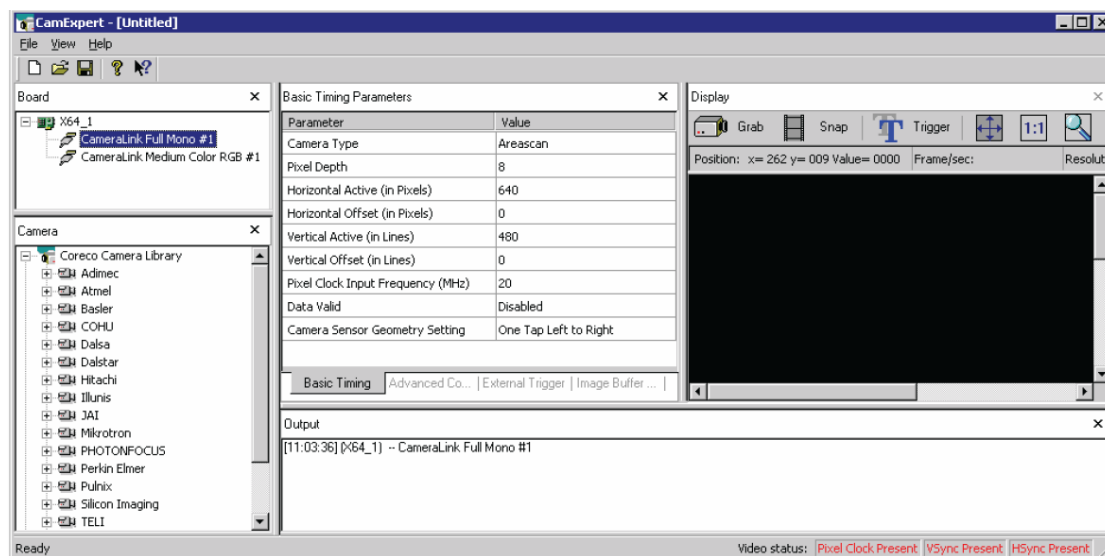


图 4-11 CamExpert 对相机的快速配置界面^[6]

由于 Sapera 已经自带了 1M48-LMCN-CCD 数字相机的多种模式配置文件，

SIPRS 中选取了 i_ipx-1m48_single10.cca 配置文件，并将像素深度改成了 12 位/像素，另存为 i_ipx-1m48_single12.cca 以备后用。

4.3 太阳观测程序设计

太阳观测软件主要由 GPS 对时程序和观测程序构成。

SIPRS 的 GPS 对时、太阳观测和太阳观测图像存储软件框图如图 4-12 所示：

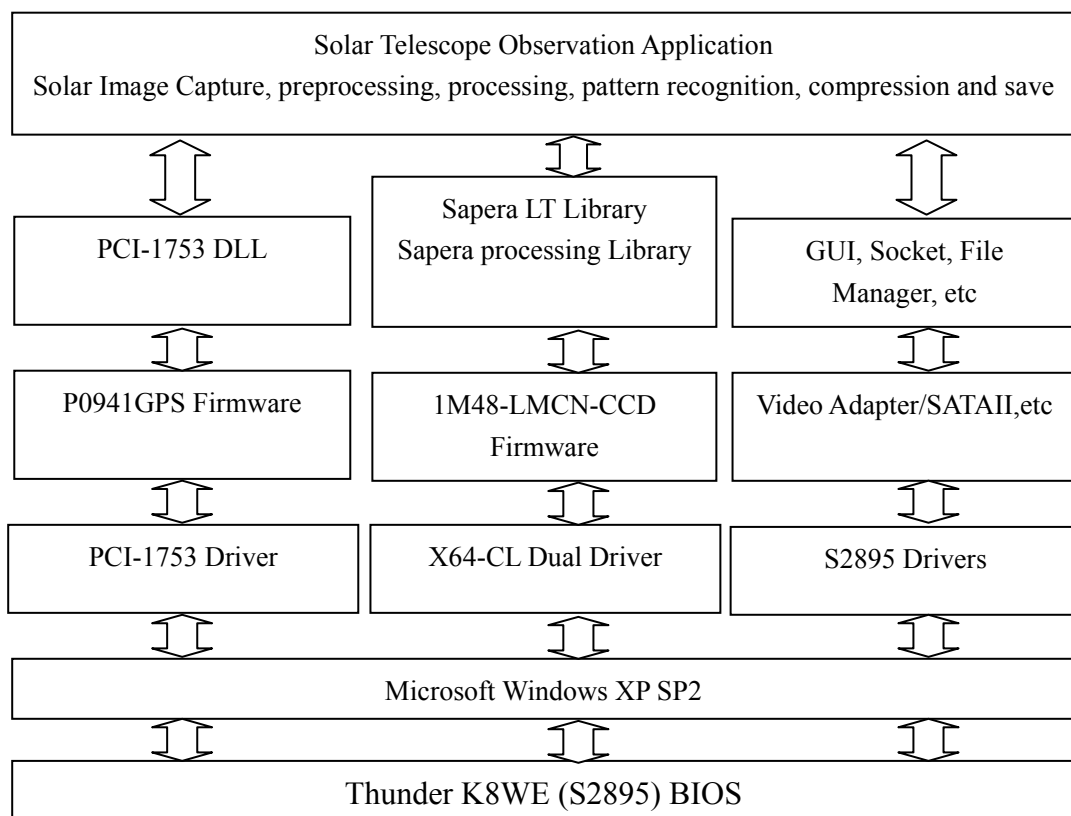


图 4-12 SIPRS 的 GPS 对时、太阳观测及图像处理与存储软件框图

GPS 对时程序以研华提供的下面两个参考程序为基础经过改造而得：

- VC 版的 DI_SOFT，演示数字量输入函数；
- VC 版的 DI_INT，演示数字量输入和中断事件功能。

获得 BCD 编码的标准北京时间后，转换成二进制，调用 Windows 系统函数 SetLocalTime 即可完成操作系统时间的设置。GPS 对时程序的流程图如图 4-13 所示：

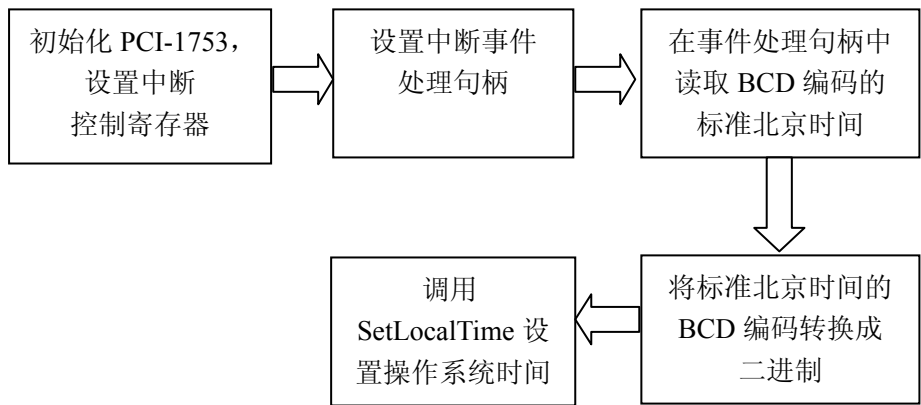


图 4-13 GPS 对时程序的流程图

太阳观测与图像处理软件的顶层流程图如图 4-14 所示：

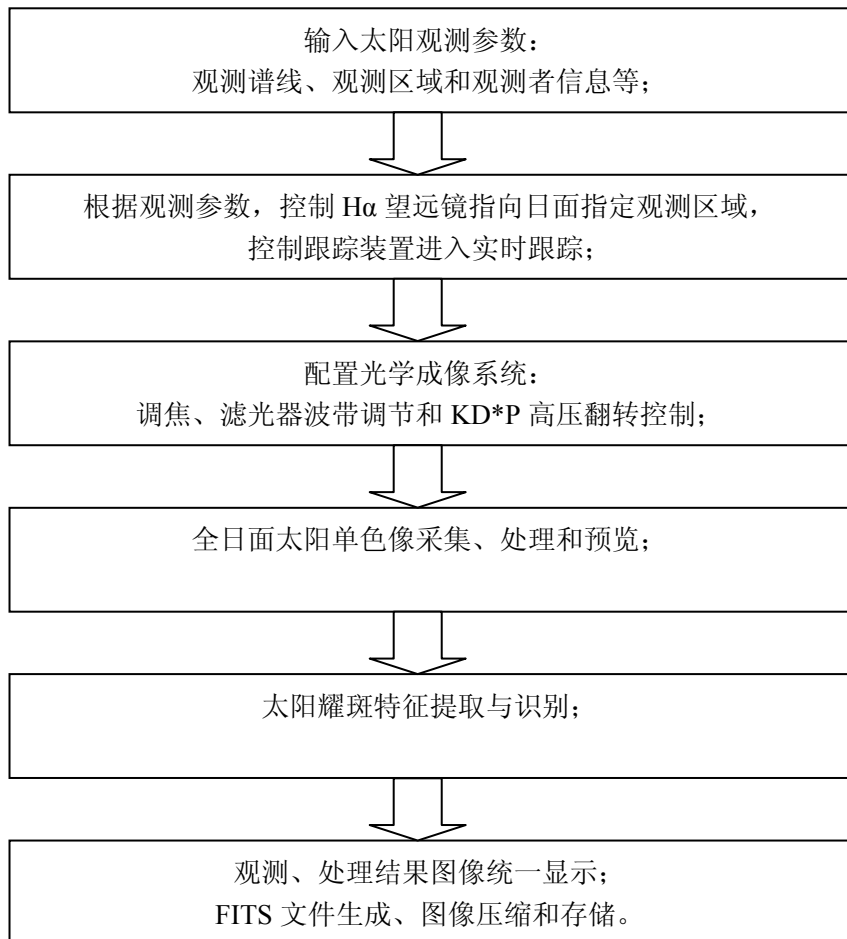


图 4-14 太阳观测与图像处理软件顶层流程图

DALSA Coreco 公司为开发基于 X64-CL Dual 高速图像采集卡提供了一个开

发软件库——Sapera 开发库 (Sapera Development Library), 简称 Sapera LT。它是一套用于机器视觉和图像处理的 C++ 类库, 该 C++ 库 API (应用程序接口) 分基础类和 GUI 类两大类。其中基础类构成了 Sapera++ API 的核心, 又可细分如下:

- 管理类。提供设备管理功能;
- 硬件无关类。提供所有硬件无关的图像采集、显示和存取功能;
- 板卡相关类。提供具体板卡操作, 如 DALSA Coreco 公司的像素处理器和 Coreco 辅助总线模块 (CAB) 相关的操作代码。

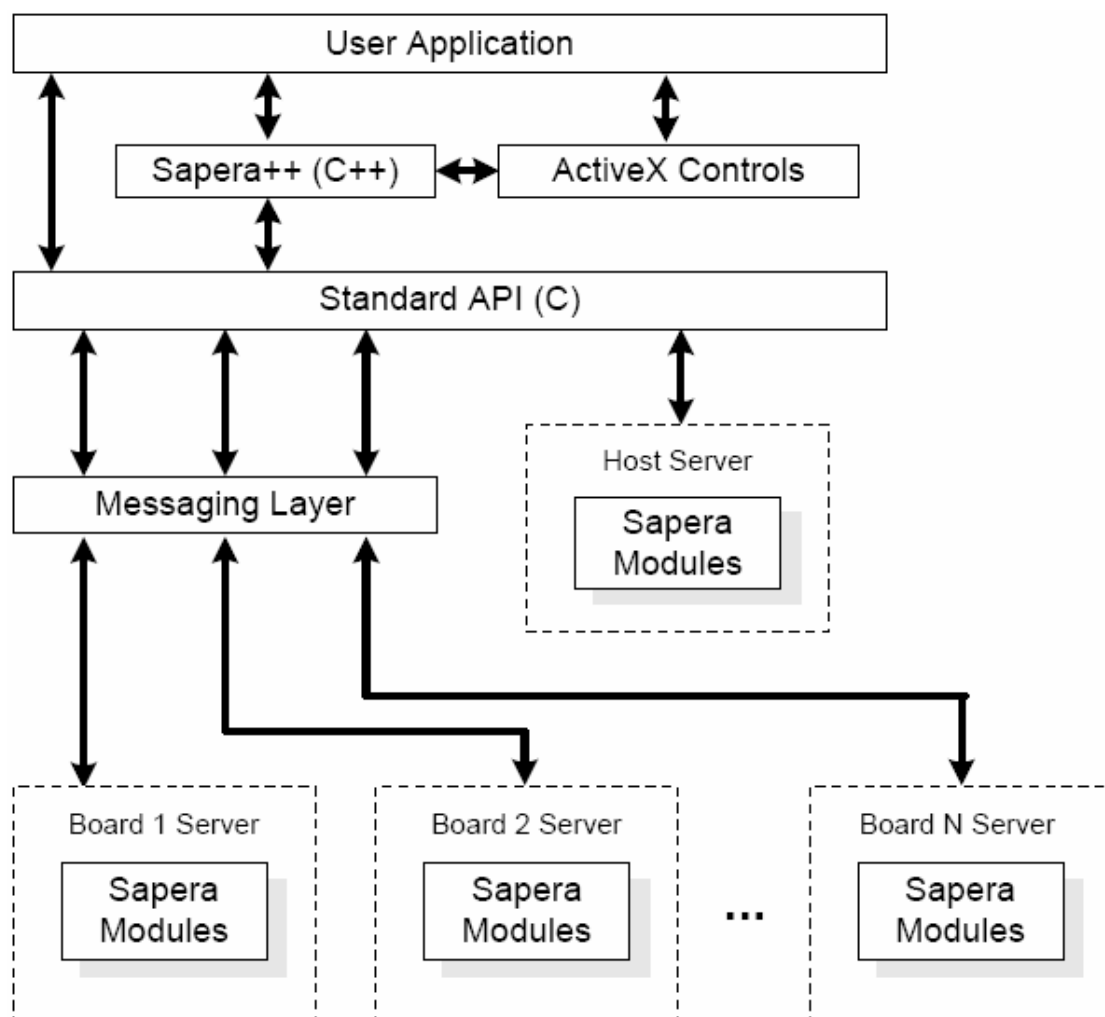
硬件无关类为应用程序操作不同的 Coreco 图像采集卡提供了一种一致的 API, 因此可以保证应用程序可以无缝地升级到 Coreco 未来高性能的图像采集卡上去, 这种模块化架构给用户编程带来了极大的灵活性和可读性。

GUI 类包含一套基于 MFC 的对话框, 用于实现 Sapera LT 应用程序中常见的任务, 如装载相机配置文件等等。它们可以方便的应用到用户程序的开发中去。

Sapera LT 运行库支持两个常见的图像软件标准:

- TWAIN 标准。用户可直接采用 TWAIN 接口来控制 Coreco 图像采集卡, 而无需采用 Sapera API。
- 微软的 DirectShow。可使任何受 Sapera LT 支持的图像采集卡做为 DirectShow 的视频源。

Sapera LT 包含三套 API (Sapera++, Standard C 和 ActiveX), 分别适用于采用 C++、C 语言和组件编程。Sapera LT 调用全部通过 Sapera LT 消息层进行了屏蔽, 使之完全独立与底层硬件, 为程序提供了无缝的移植性。Sapera LT 的架构如图 4-15 所示:

图 4-15 Sapera LT 的架构图^[5]

SIPRS 采用具有良好模块化、封装的 Sapera++ 进行太阳观测程序的开发。

Sapera++ 包含如下的类，如表 4-6 所示：

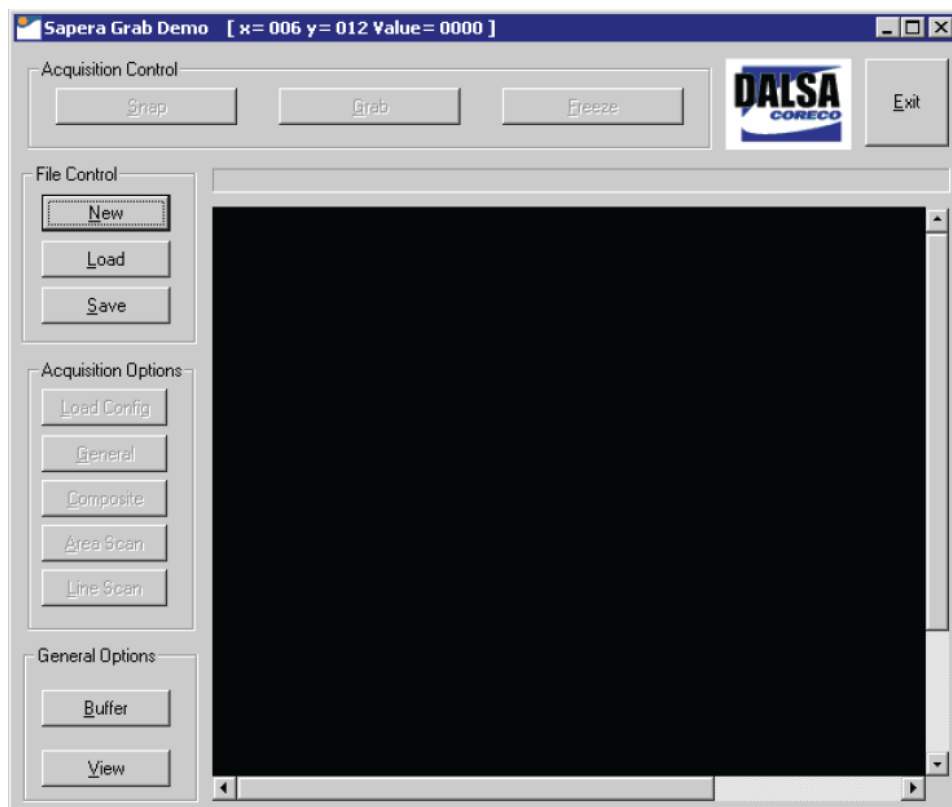
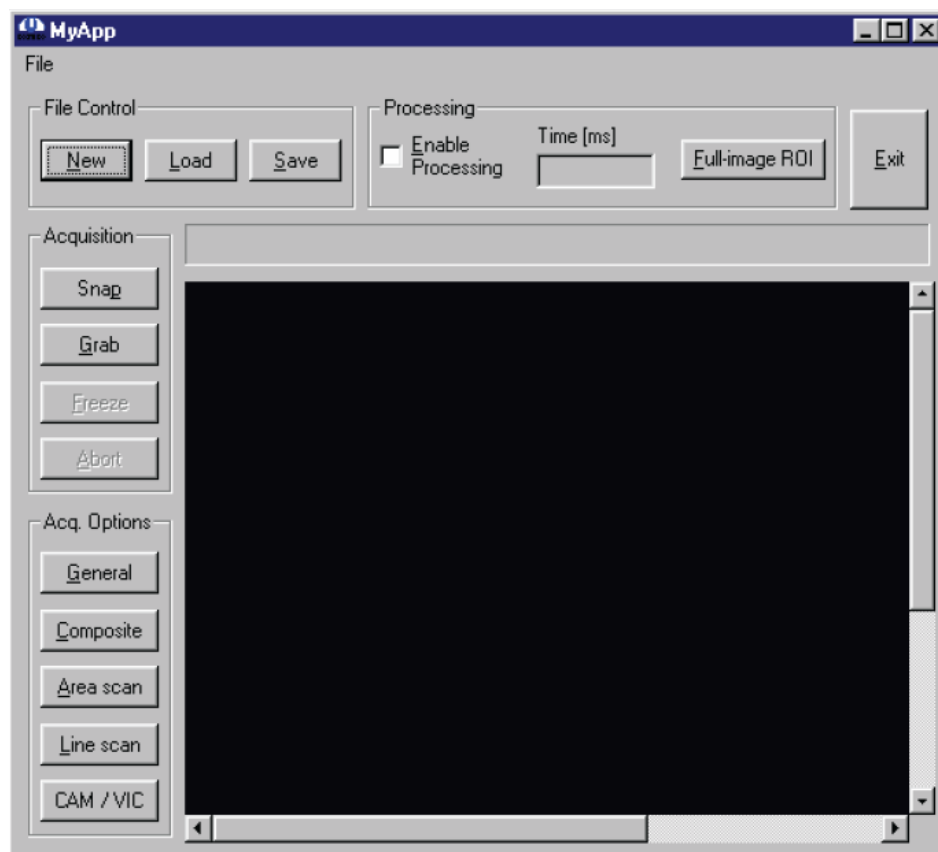
表 4-6 Sapera++ 的类及其描述表^[5]

Sapera++ Class	Class Description
SapAcquisition	includes the functionality to control an acquisition device on any DALSA Coreco board that supports an acquisition section。
SapBuffer	includes the functionality to manipulate an array of buffer resources。
SapCab	includes the functionality to manipulate a CAB resource。
SapCounter	count events。
SapDisplay	includes functionality to manipulate a display resource on the

	system display device (your computer video card) or any DALSA Coreco board supporting a display section.
SapGio	to control a block of general inputs and outputs, that is, a group of I/Os that may be read and/or written all at once.
SapGraphic	implements the drawing of graphic primitives and text strings.
SapLut	implements lookup table management.
SapPixPro	includes the functionality to manipulate resources on a pixel processor device.
SapTransfer	implements functionality for managing a generic transfer process, that is, the action of transferring data from one source node to a destination node.
SapView	includes the functionality to show the resources of a SapBuffer object in a window through a SapDisplay object.
Data	act as wrappers for low-level Sapera LT data types, where each class encapsulates one data element of a specific type.
SapAcqCallbackInfo	acts as a container for storing all arguments to callback functions for the SapAcquisition class.
SapBayer	to support Bayer conversion on images acquired from a camera.
SapBufferRoi	to create a rectangular region of interest (ROI) inside an existing SapBuffer object.
SapBufferWithTrash	creates an additional resource called the trash buffer used when transferring data in real-time applications.
SapCounterCallbackInfo	acts as a container for storing all arguments to callback functions for the SapCounterclass..
SapFlatField	to perform flat-field correction on images acquired from a camera or loaded from a disk.
SapGioCallbackInfo	acts as a container for storing all arguments to callback functions for the SapGio class.
SapLocation	identifies a Sapera server/resource pair.

SapManager	includes methods for describing the Sopera resources present on the system.
SapManCallbackInfo	acts as a container for storing all arguments to callback functions for the SapManager class.
SapPerformance	implements basic benchmarking functionality.
SapPixProParams	acts as a container for storing pixel processor parameters used by the SapPixPro Class.
SapProcessing	allows you implement your own processing through a derived class.
SapProCallbackInfo	acts as a container for storing all arguments to callback functions for the SapProcessing class.
Specialized Transfer	are a set of classes derived from SapTransfer that allow easy creation of the most commonly used transfer configurations.
SapViewCallbackInfo	acts as a container for storing all arguments to callback functions for the SapView class.
SapXferCallbackInfo	acts as a container for storing all arguments to callback functions for the SapTransfer class.
SapXferPair	describes a pair of source and destination nodes for the SapTransfer class.
SapXferParams	stores parameters needed by a transfer task managed by the SapTransfer class.

为了加速基于 Sopera++ 的应用程序的开发，Sopera LT 还提供了一个演示程序——Grab Demo 和一个应用程序向导——PCVisionAppWizard。

图 4-16 Sapera Grab Demo 演示图^[5]图 4-17 PCVisionAppWizard 生成的图像采集程序^[5]

SIPRS 的太阳观测程序参考 Grab Demo 利用 PCVisionAppWizard 生成的结果改造而成。

4.4 太阳观测图像处理

太阳图像处理主要包括：预处理、太阳耀斑识别、FITS 文件生成、JPEG 文件生成和数据压缩等部分。为了提高图像处理性能，DALSA Coreco 公司在 Sapera LT 开发库的基础上提供一套高性能的经过优化^[9]的图像处理软件包——Sapera Processing^[7,8]。

Sapera Processing 是一套基于 Windows 的提供图像处理与分析的详尽的编程软件包，硬件无关用于简化机器视觉应用程序开发。它基于一套高性能的 C++ 类库，并且采用 MMX、SSE（流水线的 SIMD 扩展）和 SSE2 进行了优化，可扩展的设计架构，构成了一套全面的图像处理的优化工具，包括图像处理，搜寻（模式匹配），OCR（OCR (Optical Character Recognition)，字符识别），图像局部分分析和条形码解码。因为它基于 Sapera LT 因而硬件无关，可在所有支持 Sapera LT 的图像采集卡上工作，具有无缝的移植性。它在典型的图像处理系统中的位置如图 4-18 所示：

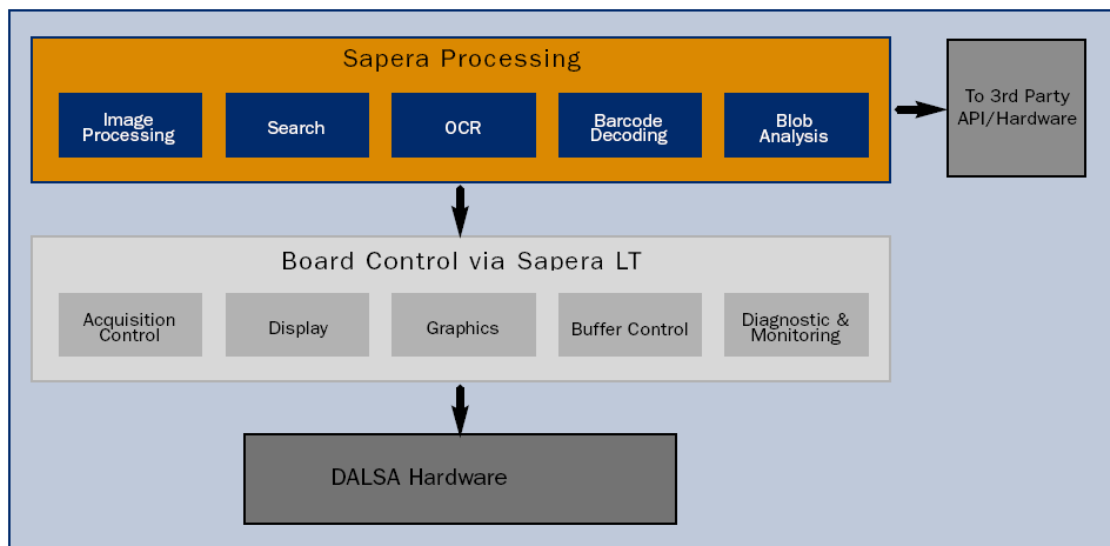


图 4-18 Sapera 软件架构图^[7]

Sapera Processing 的图像处理包含如下功能，如表 4-7 所示：

表 4-7 Sapera Processing 的图像处理功能表^[7]

滤波器	■ Generalized convolution 1-D, 2-D ■ Low and high-pass filters 1-D, 2-D ■ Laplacian ■ Gaussian ■ Compass: eight-direction edge enhancement ■ Gradient: magnitude and phase ■ Edge and line detection
几何运算	■ Flipping: horizontal, vertical, transpose and 90-degree rotation ■ Rotation by an arbitrary angle ■ Translation: pan and scroll at integer or sub-pixel precision ■ Zooming by image dimensions or scaling factor ■ Shearing: horizontal and vertical ■ Affine and perspective calibration and warping ■ Polar coordinate transform
测量	■ Basic statistics such as histogram, pixel count, mean, variance, minimum and maximum based on the pixel values of an image ■ Horizontal and vertical projections ■ Histogram processing: smoothing and peak detection ■ Normalized and non-normalized cross-correlation ■ Sum-of-difference ■ Vector difference ■ Variance filter (variance computed on each pixel's neighborhood) ■ Pixel sampling on a path (with subpixel accuracy)
形态分析	■ Binary dilation, erosion, opening, closing and median on 1 or 8-bit images ■ Grayscale dilation, erosion, opening, closing and median on 8 or 16-bit images ■ Labeled dilation and erosion

	■ Outline, skeleton, thinning and thickening filters ■ Conditional binary dilation ■ Morphological gradient ■ Rank filter ■ Hit-or-miss transform ■ Top-hat transform
点运算	■ Arithmetic operations on one or two images: add, subtract, multiply, divide, absolute subtract, minimum, maximum and user-defined expression ■ Logical operations on one or two images: AND, OR and XOR ■ Fixed and adaptive thresholding ■ Gaussian noise generation ■ Lookup table transformation ■ Contrast equalization manual or histogram-based
图像分割	■ Distance map ■ Directional edge detection ■ K-means clustering ■ Local peak detection ■ Region-growing ■ Watershed transform ■ Zero-crossing detection
图像变换	■ Spectral transforms: FFT (Fourier), DCT (Cosine), DHT (Hadamard) ■ Hough transform: direct and reverse
其余杂项功能	■ Subpixel edge crossing on a path ■ Contour Following tool ■ Frame averaging (true and recursive)

Sapera Processing 的搜寻（模式匹配）性能十分出色，可快速准确地识

别多个物体和模式，而不用管它们的方向和尺度。它可以以 1/50 个像素大小的分辨率快速地定位用户在图像质量较差甚至光源不均匀的目标图像中任意定义的模式。它具有如下功能和特色，如表 4-8 所示：

表 4-8 Sapera Processing 的搜寻（模式匹配）功能表^[7]

通用特色	■ User-selectable algorithm (area-based or edge-based) ■ Train and search on an adjustable rectangular ROI ■ Multi-model training ■ Adjustable rotation and scaling range
基于区域的算法特色	■ Algorithm based on normalized cross-correlation (NCC) ■ Extremely fast when no rotation and scale is involved ■ Tolerant to extreme noise ■ Position accuracy up to 1/25th pixel
基于边沿的算法特色	■ Algorithm based on object contours ■ Rotation, scale and contrast independent ■ Tolerant to extensive occlusion ■ Great for contrast reversal ■ Great for overlapping and touching objects ■ User-selectable model contours ■ Position accuracy up to 1/50th pixel ■ Angle accuracy up to 1/80th degree

Sapera Processing 的局部分析功能可用于将物体从背景（如全日面图中的耀斑，黑子等日面活动）中分割出来并计算一系列的几何和灰度特征。它具有如下特色：

Sapera Processing 的局部分析功能^[7]

- Supports 1-bit, 8-bit, 16-bit, binary or grayscale input images
- Different levels of input (grayscale image, binarized or labeled image)
- Calculation of over 50 spatial and grayscale blob features including the

following:

◆ Basic Features

- Area
- Bounding box location and size
- Centroid
- Perimeter length
- Number of holes
- Form factor (ratio of area to the square of perimeter)
- Elongation
- ◆ Moments related:
 - Best-fitting ellipse
 - Ratio of best-fitting ellipse axes
 - Orientation
 - Roundness
- ◆ Convexity related:
 - Convex area
 - Minimum bounding box location, size and orientation
 - Feret diameters at different angles
 - Convexity (ratio of convex perimeter to raw perimeter)
 - Solidity (ratio of net area to convex area)
- ◆ Perimeter related:
 - Perimeter points (blob's boundary and holes)
 - Filled area
- ◆ Gray scale related:
 - Minimum, maximum, standard deviation of all pixels of the blob
 - Gray scale centroid
- Sorting and selecting blobs based on any calculated feature
- User selection of group of features to calculate
- Automatic threshold of input grayscale images using global, local, fixed or adaptive thresholds
- Optional output of RLE (Run-Length-Encoding) allowing user-defined feature calculation

Sapera Processing 还具有字符识别和条形码（1 维和 2 维条形码）解码功能，因在 SIPRS 中未利用，此处略。

Sapera Processing 以 C++ 类库和 ActiveX 控件两种形式提供，满足大部分编程语言和大部分开发环境的应用。由于其 ActiveX 控件跟其 C++ 类库的内部组织很类似，C++ 类库形式可更易于了解其内部工作原理，因此 SIPRS 中采用了其 C++ 类库对太阳观测图像进行处理。Sapera Processing 的 C++ 类库的层次结构图如图 4-19 所示：

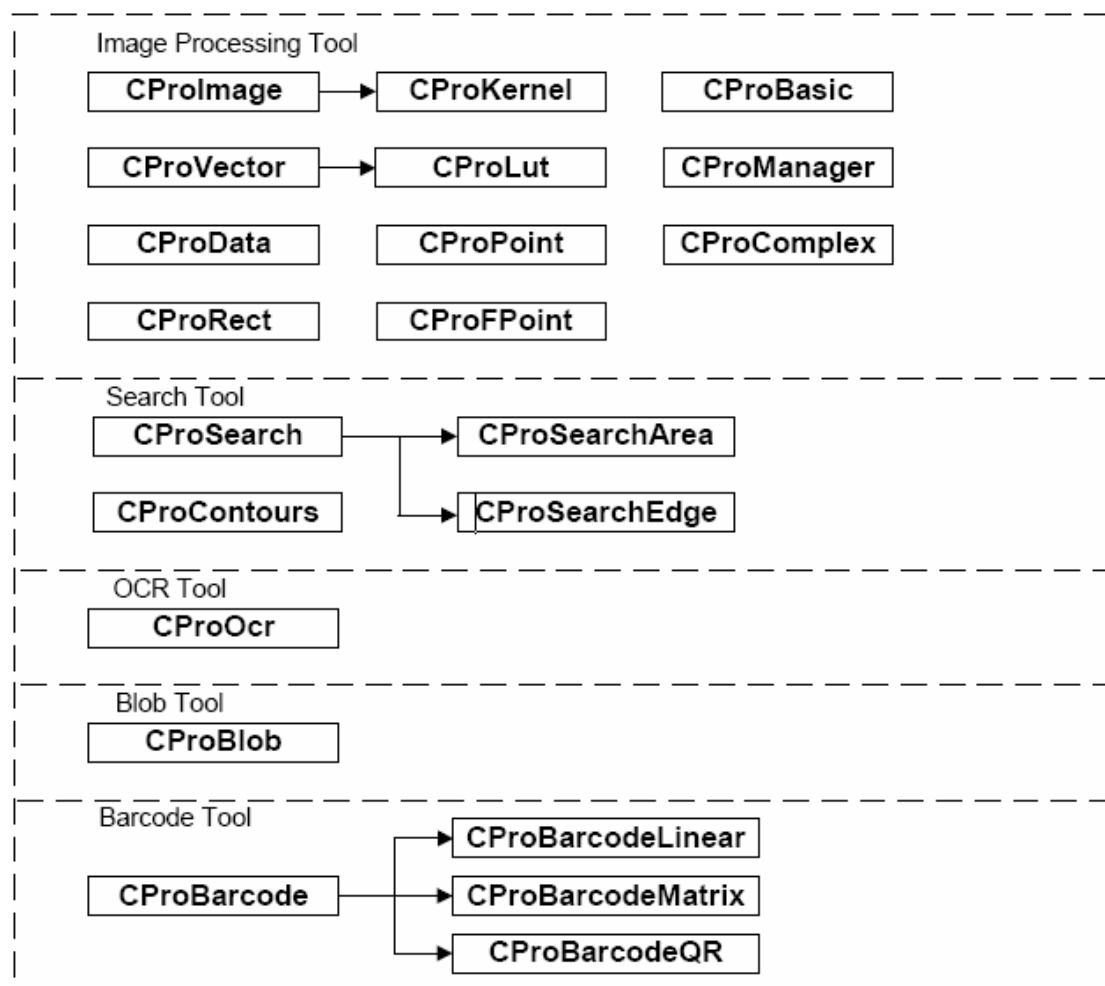


图 4-19 Sapera Processing 的 C++ 类库层次图^[7]

其中图像处理、搜寻和局部分析的类描述如表 4-9 所示：

表 4-9 Sapera Processing 的图像处理 C++ 类描述表^[7]

Class	Description
CProBasic	includes all the processing functions of the Image Processing Tool.
CProComplex	is a simple structure containing a single complex data value.

CProData	is a union structure that can contain any type of data.
CProFPoint	is a simple structure to contain a single real-point data value.
CProImage	includes the functionality to allocate and manipulate images.
CProKernel	includes the functionality to allocate and manipulate processing kernels.
CProLut	includes the functionality to allocate and manipulate processing lookup tables(LUT).
CProManager	includes the functionality to manage the global parameters of the library.
CProPoint	is a simple structure to contain a single integer-point data value.
CProRect	a simple structure to contain a rectangle.
CProVector	includes the functionality to allocate and manipulate vectors.

表 4-10 Sopera Processing 的搜寻工具 C++类描述表^[7]

Class	Description
CProContours	includes the functionality to manipulate contour sets generated by the CProSearchEdge Class.
CProSearch	is the base class for the CProSearchArea and CProSearchEdge classes.
CProSearchArea	includes the functionality of the Area-based mode of the Search Tool.
CProSearchEdge	includes the functionality of the Edge-based mode of the Search Tool.

表 4-11 Sopera Processing 的局部分析 C++类描述表^[7]

Class	Description
CProBlob	includes functionality to perform a connectivity analysis on run lengths for a given input image.

4.4.1 图像预处理

望远镜对太阳的跟踪运动、风使望远镜产生的抖动、波片表面变形和光学系统离焦等都会使观测的图像产生几何畸变，即使图像发生退还。图像预处理的目的是去除噪声提高信噪比，尽可能去除成像中的图像退化，使图像接近其真实对象。根据图像退还的原因进行相应的预处理^[10]：

- 1) 去除图像中的随机噪声。可采用图像积分、加长曝光时间或者多帧累加

的方法,提高信噪比;

2) 去除图像几何畸变。采用三次卷积法、双线性内插法和最临近内插法等内插方法进行几何畸变失真校正。

SIPRS 将采用双线性内插法处理每一帧图像,然后采用帧数可调多帧累加法累加多幅图像封装在一个 C++ 类内实现,构成图像预处理类。

4.4.2 太阳耀斑自动识别

为了获取高质量的太阳耀斑活动全过程的图像信息,需要在日常观测系统中加入实时监测耀斑活动、并能够随时自动调节观测初始条件、重新设置 CCD 曝光时间、并能完全纪录耀斑爆发全过程等的一系列新的功能。太阳耀斑特征提取与识别可以完成对耀斑爆发全过程的监控,尤其是对具有重要理论研究意义的耀斑爆发前期过程的监控,该软件功能具有重要的实用意义。由于国内地面观测系统该领域尚未有采用实时监测和识别耀斑的功能,因此 SIPRS 系统的此项功能还将填补国内此领域研究的空白。

4.4.3 FITS文件生成

FITS 是 Flexible Image Transport System (灵活图像传输系统)的缩写,是用来存储、传输和处理科学图像的一种数字文件格式,广泛应用于天文领域,方便国际天文界信息交流和共享^[11]。

根据 FITS 文件最新规范 2.1B 版的要求, FITS 文件由文件头数据单元(HDU)、兼容的扩展(可选)和别的特殊记录(可选)构成。最基本的 HDU 由数据块和一个包含一个逻辑记录的文件头构成,逻辑纪录长度固定为 2880 个字节,包含 36 条长度固定为 80 个字节的卡片映像,每条卡片映像由 ASCII 字符描述的关键字和关键值对构成,用于描述图像相关信息^[12]。

生成 FITS 文件的核心在于根据观测信息生成 FITS 文件头,怀柔 SMT 观测数据的 FITS 文件头中需要包含如下信息:

文件类型。第一条卡片映象必须为 FITS 规范规定的“SIMPLE=T”,表示该文件格式遵循 FITS 文件格式规范。

图像信息。坐标维数,每维点数和位深。

观测信息。观测起始、结束时间,观测区域,观测谱线,大气视宁度,增益,暗流水平,曝光时间,帧数,STOKES 参数。

观测台和观测者信息。

在系统内存中开辟一块 2880 字节的内存，用于 FITS 文件头的构造，在其设置完相关信息后，与对应的观测或者处理的图像数据合并在一起，即可生成需要的 FITS 文件。

4.4.4 图像格式转换

常见的浏览器和流行的图像处理软件一般都不能直接支持对 FITS 文件的浏览，虽然有的通过相关插件可以浏览，但是 FITS 文件一般都在几兆字节以上，大小为 1024×1024 ，无论本地浏览还是通过互联网进行浏览都非常不便。采用如下步骤将 FITS 图像转换为 JPEG2000 格式的图像：

采用二维 EDMA 将 FITS 图像数据以行列都隔三取一缩小到原来的 1/16；

采用 JPEG2000 编码软件将缩小后的图像压缩成 JPEG 图像。

将生成后的 JPEG2000 格式的图像以硬盘的 UltraDMA 模式搬迁到 vsftpd 设置好的目录内，以便在线浏览。

4.4.5 图像数据压缩

FITS 图像一般所占用的空间都很大，就算简单的由一个逻辑记录与数据（整数型）构成的 FITS 图像，其文件大小为： $2880 + \text{NAXIS1} * \text{NAXIS2} * 2$ 字节。比如怀柔太阳观测基地的全日面色球 $H\alpha$ 太阳单色像的大小就有 8293440 个字节， $8293440 = 2880 + 2032 \times 2040 \times 2$ 。若采用压缩的 NTFS 文件格式，操作系统为 WINDOWS XP SP2，其在硬盘上约占 5.81MB 的空间。如果一个 160GB 的硬盘全部用来存储这样的全日面 FITS 图像，也仅仅能存 27538 张（在太阳活动低年约等于 1 个月的实际观测数据量，在峰年则不足 2 周），这还不包括文件系统的开销。因此很有必要对需要存储的 FITS 图像进行压缩处理，而且通常需要无损压缩。

数据压缩的原理来自信息论。通常图像的像素之间，行或帧之间存在着一一些相关性，或者说冗余，压缩就是去除这些相关性或者冗余，而使数据量减少。数据压缩的算法很多：比如平均信息法的脉冲编码调制、熵编码、行程编码和哈夫曼编码等；预测编码法的增量调制编码和微分脉冲编码调制；变换编码法的离散傅立叶变换编码、离散余弦变换编码和离散沃尔什—哈达玛变换编码。现在新兴的压缩编码技术有人工神经元网络编码、分形和小波等编码。

常见的无损压缩软件很多，比如 Winzip、WinRAR、bzip2、gzip、arj、WinRK、

7-zip、uha、kgb 等等。文献对常用的无损压缩软件进行了详细的全面的比较, 结论是 WinRK、7z、uha 压缩性能处于前列, 而 kgb 压缩性能最好。本文针对 HrHa061229065638P00A.fit 采用几个压缩软件在普通压缩模式下进行了压缩, 并将结果进行对比。之所以采用普通模式而不是最佳模式, 是因为普通模式的压缩速度较快, 而最佳模式虽然压缩程度会更深一点, 但压缩时间明显延长。压缩测试平台为 Windows XP sp2。压缩结果的对比见表 4-12:

表 4-12 六款压缩软件在普通压缩方法下的 FITS 图像压缩率对比

压缩样本 HrHa061229065638P00A.fit, 文件大小 8293440 字节			
压缩软件	软件版本	压缩后文件的大小(字节)	压缩率
Winrar	v3.62	3079220	37.13%
Bzip2	v1.0.4	2510240	30.27%
Gzip	v1.2.4	3645121	43.95%
kgb	v1.2	2221994	26.79%
uha	v0.6a	2612576	31.50%
7-zip	v4.42	2680341	32.32%

从表 4-12 中可以看出, 用 Bzip2 和 kgb 压缩后的 FITS 图像压缩程度较高, 压缩之后的文件大小约为原来文件的 1/3, 也就是同样的硬盘, 可以存储原来三倍的图像数目, 这样的存储效果非常可观。在实际测试中, 虽然 kgb 压缩率最高, 但是 kgb 也是对硬件要求最高、压缩时间最长的软件。综合比较, Bzip2 不但压缩率高, 压缩速度也很快, 因而十分适合实际应用。本文参照无损压缩性能高、压缩速度也很快开源的压缩软件 Bzip2, 将其核心压缩代码移植, 并封装成 C++ 类, 用于 FITS 图像文件的无损压缩。

第4章 参考文献

1. X64-CL Series User's Manual [M]. Dalsa Coreco Corporation, 17 Oct 2005.
2. IPX CAMERA SERIES HIGH-RESOLUTION, PROGRAMMABLE 8/10/12 BIT, CAMERA LINK DIGITAL CAMERAS User's Manual [M]. Imperx Corporation, 5 Jun 2005.
3. P0941GPS 用户手册 [M]. 中科院国家授时中心, 2003.
4. PCI-1753/1753E 96/192-bit Digital I/O Card User's manual [M]. 研

- 华科技股份有限公司, 2005.
5. Sopera LT User' s Manual [M]. Dalsa Coreco Corporation, 26 Nov 2005.
 6. Sopera CamExpert 5 Quick Start for Digital Cameras edition 2.0 [M]. Dalsa Coreco Corporation, 14 Mar 2005.
 7. Sopera Processing Programmer' s Manual [M]. Dalsa Coreco Corporation, 14 Mar 2005.
 8. Sopera Processing ActiveX Manual [M]. Dalsa Coreco Corporation, 14 Mar 2005.
 9. Software Optimization Guide for AMD64 Processors [M]. AMD Corporation, Sep 2005.
 10. Castleman 著, 朱志刚等译. 数字图像处理 [M]. 北京:电子工业出版社, 2002.
 11. http://fits.gsfc.nasa.gov/fits_overview.html [DB/OL]. The HEASARC, 2004.
 12. IAU FITS Working Group. Definition of the Flexible Image Transport System (FITS) [DB/OL]. December 9, 2005.

第5章 太阳耀斑自动识别方法研究

在太阳日常观测中，为了获取高质量的太阳耀斑活动全过程的图像信息，需要在全日面观测系统中加入一系列新的功能，例如实时监测日面活动、识别耀斑爆发、并能够随时自动调节观测初始条件、重新设置 CCD 曝光时间、并能完全纪录耀斑爆发全过程等。

对于太阳耀斑的自动识别与监测问题的研究，需要建立一个太阳耀斑自动采集与识别软件包。本文将统计识别技术引入耀斑观测研究中，实现系统的耀斑自动识别与观测功能。

首先分析了耀斑在太阳物理学上的分类，还进行了耀斑图像特征分析，提出了耀斑自动识别的主要目标。在了解耀斑自动识别问题实质的基础上，充分应用自动识别技术、专家知识等相关领域的知识，提出了自动识别耀斑爆发的方法。根据太阳耀斑的物理机制和耀斑图像的各种特征进行图像有效特征的提取，再利用统计识别算法进行耀斑图像的识别，并进行结果分析。

5.1 图像模式识别技术简述

5.1.1 模式识别的概念

模式 (Pattern) 本意是指供模仿用的、完美无缺的标本。在心理学中，模式识别是作为一个过程来定义的，通过这样一个过程，到达感觉器官的外界信号被转换成有意义的感性经验。正如柏拉图说的那样：客观世界本身正是完美理想的不尽完美的复制品。模式可以通过演绎或者归纳过程得到，然而要精确定义什么才是“有意义的感性经验”，是模式识别问题的困难所在^[1]。

随着数字计算机的出现，它强有力的数值计算能力，使得人们曾经对它抱有很高的期望。数字计算机在数值计算方面的能力远远超过人脑，使得人们曾经期望它能像人类的大脑一样，不仅具备逻辑计算、数字计算的能力，还具备非数值计算的能力。然而这种期望并未能变成现实，因为与先进的计算机系统比较，人脑的机制更为复杂，还因为人类目前并没有能够完全认识自身大脑的所有功能及其运作机制。这种非数值计算能力如何在计算机上实现的问题，后来成为人工智能和机器识别的重要任务。

模式可以被理解成取自世界有限部分的单一样本的被测量值的综合；模式

识别则是试图确定这样一个样本的类别属性，即把某一样本归属于多个类型中的某一个类型。

模式识别是通过机器的自动识别，需要为机器制定一些规则和方法，并让机器具有综合分析和自动分类的判断能力，以便使机器完成自动识别的任务。目前，模式识别技术已经被广泛的应用于人工智能、计算机工程、机器人学、神经生物学、医学、侦探学以及高能物理、考古学、地质勘探、宇航科学和武器技术等许多重要的领域。

5.1.2 模式空间、特征空间和类型空间

模式识别的完整过程可由图 5-1 形象地表示：

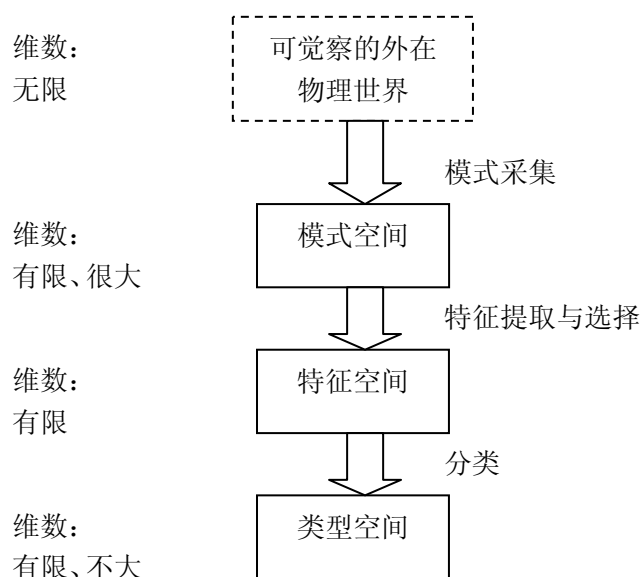


图 5-1 模式识别过程^[1]

1) 可觉察的外在物理世界：

在模式识别范畴内，在客观世界里存在这样的一些物质和事件，它们各自都能被适当选择的和足够多的函数来描述，即它们在物理上是可测量的，它们的可测数据的集合就称为物理上可觉察的外在世界。显然，这个外在世界的可测数据维数是无限大。

2) 模式空间：

在物理上可以觉察到的世界里，适当的选择某些物体和事件，我们把它们称为样本，对它们分别进行观测。每个样本的观测数据的综合都构成模式，所有的样本观测数据则构成模式空间。显然，模式空间的维数与所选取的样本和

测量方法有关，也与特定的应用有关。一般来说，模式空间的维数是很大的，但是有限值。在模式空间里，每个模式样本都是一个点，点的位置有该模式在各维空间上的测量数据来确定。有物理上可以觉察到的世界到模式空间经历的过程称为模式采集。

3) 特征空间：

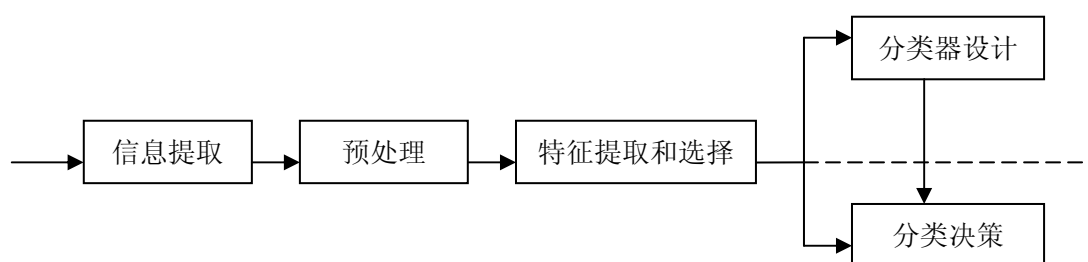
模式空间的维数虽然是有限的，但还是非常多的，其中有些并不能有效的提示样本的实质。正像人们对事物进行判断之前首先要进行综合分析一样，机器在作出判断之前也要对模式空间里的各个坐标元素进行综合的分析，以获取最能揭示样本属性的观测量作为主要特征，简称特征。每个样本在特征空间里也是一个点，点的位置由该样本的各个特征值来确定。由模式空间到特征空间所需要的综合分析，往往包含适当的变换和选择，称为特征提取和特征选择。

4) 类型空间：

由某些知识和经验可以确定分类准则，称之为判决规则。根据适当的判决规则，把特征空间里的样本区分成不同的类型，从而把特征空间塑造成了类型空间。类型空间里不同类型的之间的分界面，称为决策面。类型空间的维数与类型的数目相等，一般情况下，类型空间的维数小于特征空间的维数。由特征空间到类型空间所需要的操作就是分类决策。

5.1.3 模式识别系统的构成

最基本的模式识别方法有统计模式识别方法和结构（句法）模式识别两种方法。与此相应的模式识别系统由两个过程组成，即设计和实现两个过程。设计是指用一定数量的样本（学习集/训练集）进行分类器设计。实现是指用所设计的分类器对待识别的样本进行分类决策。相对于结构（句法）模式识别方法，统计模式识别方法更常见。基于统计模式识别方法的系统主要由以下几个部分组成：信息的获取、预处理、特征提取和选择、分类决策，如图 5-2 所示。

图 5-2 模式识别系统的基本构成^[2]

5.1.3.1 信息获取

为了使计算机能够对各种现象进行分类识别，需要采用计算机可以运算的符号来表示所研究的对象，通常输入对象的信息有以下三种类型。

- 1) 一维波形
- 2) 二维图像
- 3) 物理参量和逻辑值

通过测量、采样和量化，可以用矩阵或向量表示二维图像或一维波形，这个过程就是信息提取的过程。

5.1.3.2 预处理

预处理的目的是去除噪声，加强有用信息，并对输入测量仪器或其它因素所造成的退化现象进行复原。

5.1.3.3 特征提取和选择

由图像或波形所获得的数据量是相当大的。为了有效的实现分类识别，就需要对原始数据进行变换，得到最能够反映分类本质的特征。这个过程就是特征的提取和选择的过程。

5.1.3.4 分类决策

分类决策就是在特征空间中用统计方法把被识别对象归为某一类别。基本作法是在样本训练集基础上确定某个判决规则，使按这种判决规则对被识别对象进行分类所造成的错误识别率最小或引起的损失最小。

5.1.4 图像识别问题简述

某些二维图像识别问题（例如字符和汉字识别、人脸检测、指纹识别、虹膜识别等等）非常复杂，原因在于人类视觉的物理基础尚未被很好的认识。由

于人脑中光学错觉的存在使得这类问题变得很特殊，对于这类问题，显然如果不考虑更高级的精神过程视觉信息的机器处理是不妥当的。概括的图像模式识别将设计以下几部分内容：

- 1) 图像的取样和量化：图像被转化为一个数组，以适合计算机处理；
- 2) 图像分割：按亮度、彩色或纹理的一致与否确定区域；
- 3) 景物分析：由分割获得的区域被合并或修改，使之可被定位物体；
- 4) 形状描述：物体被编码为反映它们形状的定量的结构；
- 5) 物体描述：可能是简单分类，或者是一段语言的描述。

5.2 太阳耀斑识别问题

5.2.1 太阳耀斑的分类

太阳耀斑是在太阳的色球-日冕过渡层中发生的一种局部辐射突然增加的太阳活动。可以观察到亮度突然增加，射电波、紫外线、X射线流量也会猛增，有时还会发射高能的 γ 射线和高能带电粒子。耀斑一般只存在几分钟，个别耀斑能长达几小时。在耀斑出现时要释放大量的能量。一个特大的耀斑释放的总能量高达 10^{26} 焦耳，相当于数十亿颗百万吨级氢弹爆炸的总能量。耀斑是先在日冕低层开始爆发的，后来下降传到色球。用色球望远镜观测到的是后来的耀斑，或称为次级耀斑^[3]。

耀斑按面积分为 4 级，由 1 级至 4 级逐渐增强，小于 1 级的称亚耀斑。耀斑的显著特征是辐射的品种繁多，不仅有可见光，还有射电波、紫外线、红外线、X 射线和伽玛射线。耀斑向外辐射出的大量紫外线、X 射线等，到达地球之后，就会严重干扰电离层对电波的吸收和反射作用，使得部分或全部短波无线电波被吸收掉，短波衰减甚至完全中断。

一般把增亮面积超过 3 亿平方千米的称为耀斑，而面积小于 3 亿平方千米的则叫亚耀斑。随着不断的研究，天文学家又将耀斑分为：

- 1) 光学耀斑：发射可见光增强辐射，并可用单色光观测；
- 2) X 光耀斑：用 X 光观测到的；
- 3) 白光耀斑：在白光照片上可以看到，这种耀斑极为罕见。

与耀斑有关的光学现象有：

- 1) 耀斑前暗条激活;
- 2) 冲浪;
- 3) 喷焰;
- 4) 爆发日珥;
- 5) 环状日珥。

与耀斑共生或由耀斑引起的现象:

- 1) 紫外线;
- 2) 软 X 射线;
- 3) 硬 X 射线;
- 4) γ 射线和射电波段的爆发;
- 5) 各种高能粒子 (质子、电子、中子) 辐射的突然增强;
- 6) 磁暴;
- 7) 突然电离层扰动;
- 8) 极光;
- 9) 极冠吸收。

耀斑爆发是复杂的电磁活动现象, 耀斑释放的能量非常巨大, 天文学家认为这些能量来自太阳磁场。而对于这些能量如何转变成耀斑? 许多性质相差悬殊的辐射为什么会一起发生? 这些问题还有待解决。

由于目前对耀斑机制的研究并未取得突破性进展, 因此难以用标准对耀斑进行确切的分类。以下内容是分别根据耀斑的各个特征对耀斑进行分类的结果。

5.2.1.1 根据耀斑面积分类

在 H_{α} 全日面太阳望远镜观测所得的太阳单色像上, 太阳耀斑呈现为亮斑。耀斑面积的大小成为光学波段对耀斑分类的主要依据, 面积的测量是以圆面中心的一日面平方度为衡量单位。

$$1 \text{ 日面度} = 1/360 \text{ 太阳圆周} = 12, 500 \text{ km}$$

$$\text{日面的百万分之一} = 1/97 \text{ 平方度}$$

$$1 \text{ 平方度} = 1.476 \times 10^{14} \text{ m}^2 (\text{日面})$$

具体分类如表 5-1 所示，每类耀斑以数字和英文字母表示，其中字母 f、n 和 b 的含义分别为弱(faint)、正常(normal)、极亮(brilliant)。

表 5-1 H α 耀斑分类^[3]

面积		相对亮度		
平方度	10 ⁻⁶ 太阳圆面	弱 (f)	正常 (n)	极亮 (b)
<2. 06	<100	Sf	Sn	Sb
2. 06~5. 15	100~250	1f	1n	1b
5. 15~12. 4	250~600	2f	2n	2b
12. 4~24. 7	600~1200	3f	3n	3b
>24. 7	>1200	4f	4n	4b

5. 2. 1. 2 根据软X射线分类

也可以根据耀斑的 X 射线观测资料进行分类，其实与可见光 H α 观测资料比较，X 射线观测资料提供了更好、更客观的判据，同时 X 射线判据对耀斑本身提供了更深远的物理看法。通常所用的分类最简单的依据是耀斑爆发期间的 X 射线光子流量(1~8 Å)。具体以表 5-2 中 C、M 或 X 来划分，这些字母代表 X 射线辐射流的量级，字母后的数字表示数量级的倍数，B 表示亚耀斑。

表 5-2 耀斑软 X 射线分类 1^[3]

类型	强度/(W. m ⁻²)
B	10 ⁻⁷
C	10 ⁻⁶
M	10 ⁻⁵
X	10 ⁻⁴

5. 2. 1. 3 综合分类

对于大多数耀斑，X 射线分类和上一节可见光分类以及射电辐射之间有很大的相关性，因此可用相关性进行综合分类。如表 5-3 所示：

表 5-3 耀斑软 X 射线分类 2^[3]

面积/平方度	类型	射电辐射度/5000MHz sfu	软 X 射线 (SXR)
<2.0	S	5	C ₂
2.1~5.1	1	30	M3
5.2~12.4	2	300	X1
12.5~24.7	3	3000	X5
>24.7	4	30000	X9

其中 $1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1} = 10^4 \text{ Jy}$ 。

5.2.2 H_α全日面单色像的特征分析

5.2.2.1 H_α光谱特征

目前国内外许多天文台都配备H_α双折射滤光器的色球望远镜进行每日太阳耀斑监测。滤光器的透过带半宽大多在 0.25~0.5Å 之间。图 5-3 为宁静太阳、谱斑、耀斑和大耀斑的 H_α谱线轮廓，图中虚线部分表示滤光器透过带半宽为 0.25Å 和 0.5Å 的位置。右边四条虚直线表示滤光器透过带处在 H_α红翼+0.25Å 时的位置。这时大耀斑的增强辐射可以进入滤光器，望远镜可以观测到大耀斑。

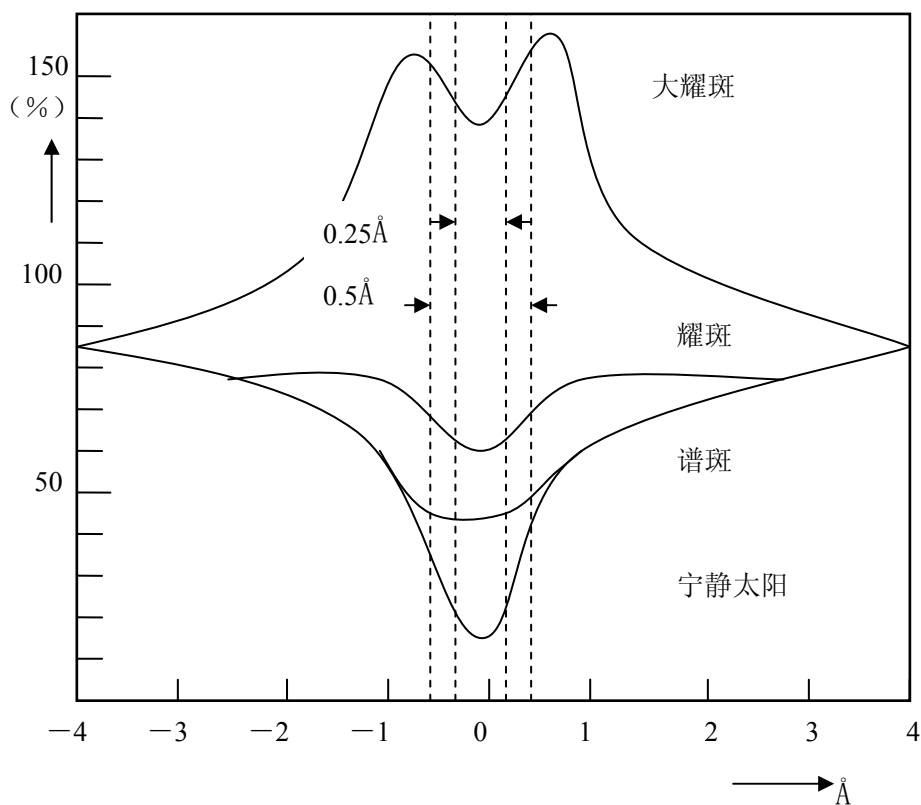


图 5-3 宁静太阳、谱斑、耀斑和大耀斑的 H_{α} 谱线轮廓^[3]

纵坐标以 H_{α} 附近连续谱强度表示的辐射强度

用 H_{α} 单色光监测太阳色球层时，有时会在活动区附近的谱斑中看到局部小区域的突然增亮。增亮区由原有的谱斑亮度在几分钟内 (10^2s 量级) 迅速增量几倍甚至几十倍。然后在几分钟至 1~2 小时 (10^3s 量级) 缓慢恢复至原有谱斑亮度。这就是光学耀斑在 H_{α} 单色光观测中的表现。它的光度变化曲线如图 5-4 所示：

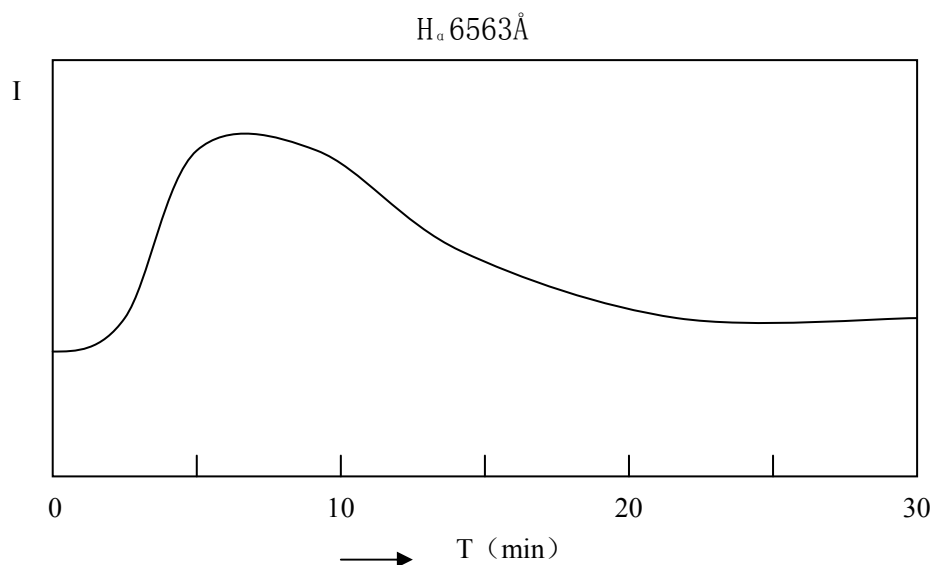
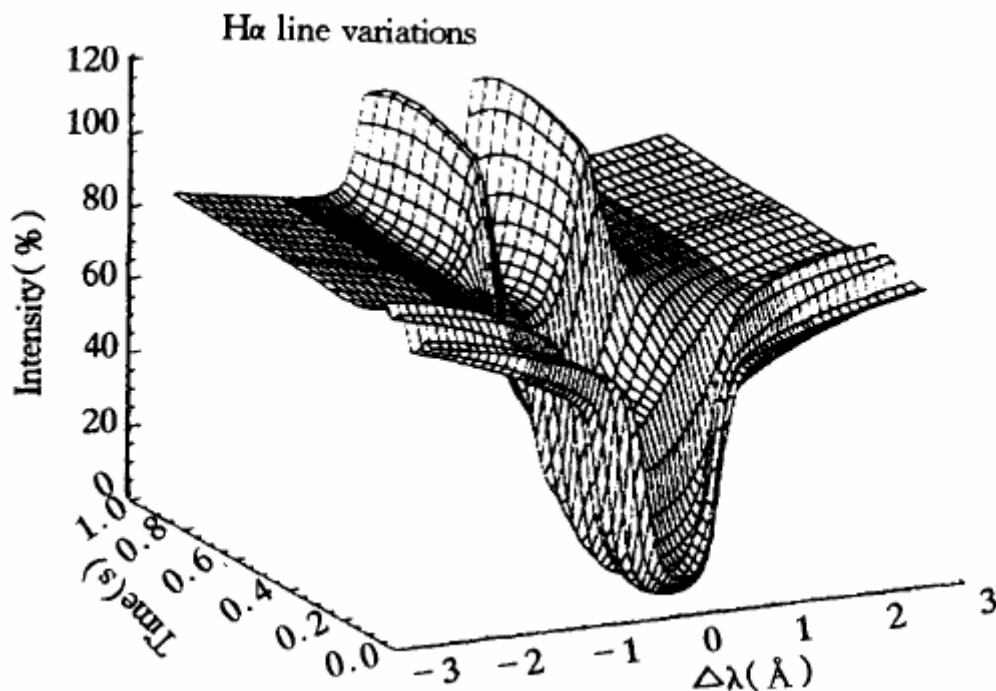


图 5-4 电磁辐射和粒子发射图^[3]
一次大耀斑发生过程中 H α 6563Å 波段的
电磁辐射和粒子发射随时间的变化图

当一个活动区发生耀斑时，往往有几个亮块。一般亮块增大时，亮块面积也在增大，但各个亮块到达极大的时间不很一致。耀斑光度迅速增大期称为闪相，而耀斑面积迅速增大期称为爆发相(Explosive Phase)。

耀斑发生时，从 H α 单色光观测中还可以看到几种与耀斑有关的色球活动现象。耀斑发生前期的先兆现象主要是谱斑增亮，暗示耀斑区的预热过程。大约不到一半的耀斑发生前几分钟至几十分钟，活动区中位于中性线上的宁静日珥（暗条）受到激活，通常表现为暗条内部骚动、膨胀、上升并消失在日冕中，或瓦解不见，或向下流入色球中消失。这些现象表明活动区的磁场正在发生变化。有些暗条爆发紧接着发生耀斑。

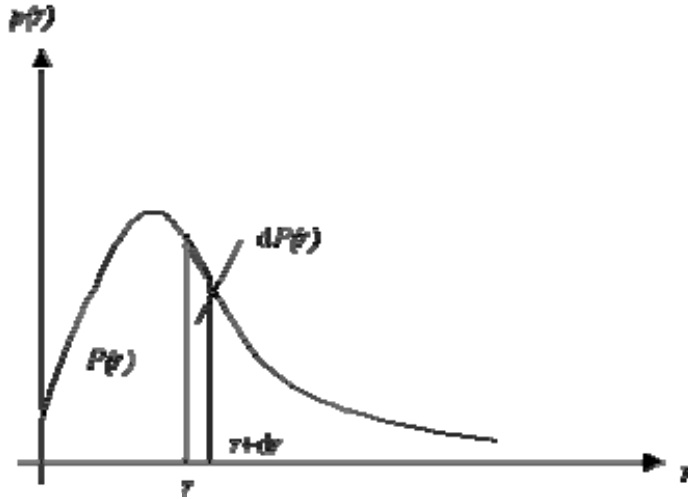
图 5-5 H α 谱线轮廓的变化^[4]

由亚秒级电子束脉冲加热的辐射动力学模型
计算得到的 H α 谱线轮廓的变化

5.2.2.2 灰度直方图特征

以下是国家天文台怀柔观测基地 H α 色球望远镜的实际观测数据, 从这两幅耀斑图像资料及其灰度直方图中, 我们可以直观的看出耀斑爆发时色球图像的特点。

灰度直方图 (histogram) 是灰度级的函数, 它表示图象中具有每种灰度级的象素的个数, 反映图象中每种灰度出现的频率^[5]。如下图所示, 灰度直方图的横坐标是灰度级, 纵坐标是该灰度级出现的频率, 是图象的最基本的统计特征。从概率的观点来理解, 灰度出现的频率可看作其出现的概率, 这样直方图就对应于概率密度函数 pdf(probability density function), 而概率分布函数就是直方图的累积和, 即概率密度函数的积分。



$$P(r) = \int_0^r p(r)dr, \quad p(r) = \frac{dP(r)}{dr}$$

若直接从代表每种灰度的象素数目的直方图来观察，常用如下的表示：

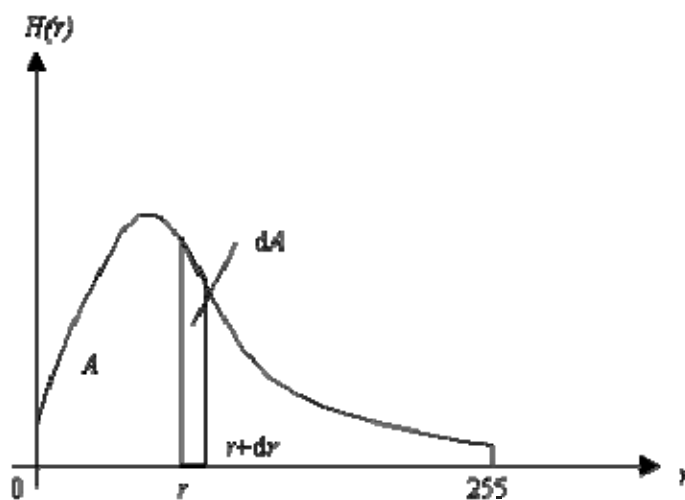
$$A(r) = \int_0^r H(r)dr, \quad A_0 = \int_0^{255} H(r)dr \quad (\text{一幅图象的总面积，或象素总数})$$

$$\text{概率密度 } p(r) = \frac{H(r)}{A_0} = \frac{dA(r)/dr}{A_0}, \quad P(r) = \frac{1}{A_0} \int_0^r H(r)dr$$

在离散情况下，取 $dr=1$ 时， $p(r) \approx \frac{dA}{A_0}$,

若记像素总数为 n ，灰度为 r_k 的像素数为 n_k ，则概率密度 $p(r_k) = \frac{n_k}{n}$

$$\text{而概率分布函数 } P(r_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}$$



灰度直方图的计算是很简单的，依据定义，若图象具有 L （通常 $L=256$ ，即 8 位灰度级）级灰度，则大小为 $M \times N$ 的灰度图象 $f(x, y)$ 的灰度直方图 $\text{hist}[0 \cdots L-1]$ 可用如下计算获得：

- 1) 初始化 $\text{hist}[k]=0$; $k=0, \cdots, L-1$
- 2) 统计 $\text{hist}[f(x, y)]++$; $x, y=0, \cdots, M-1, 0, \cdots, N-1$
- 3) 标准化 $\text{hist}[f(x, y)]/=M*N$ 。

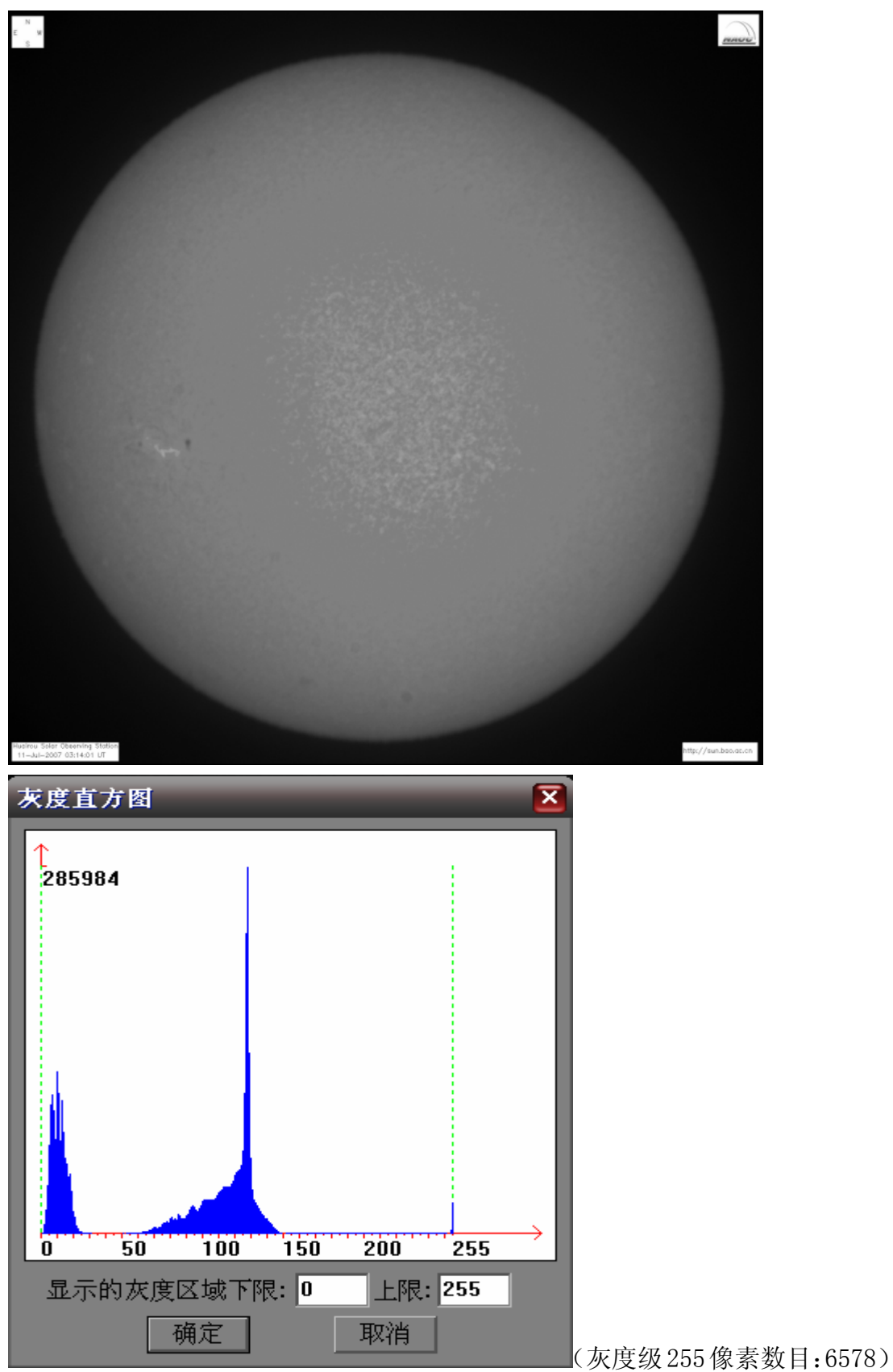
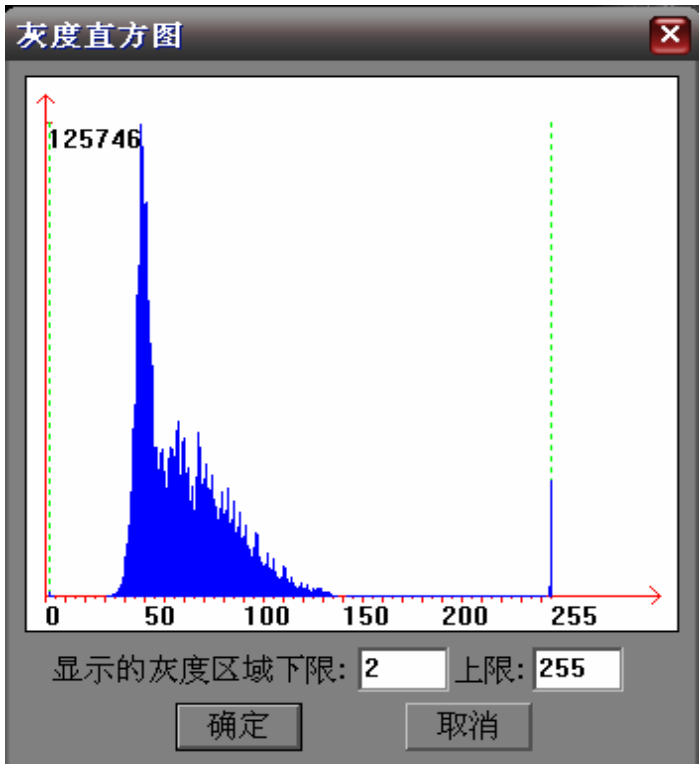
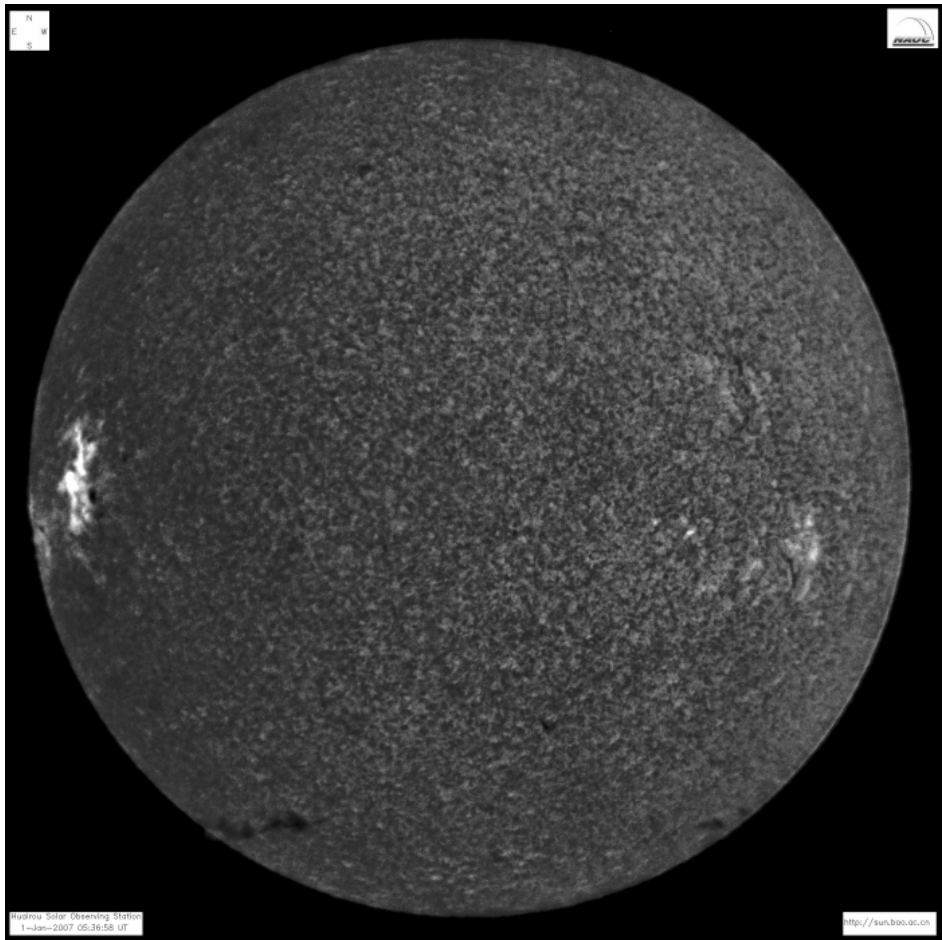


图 5-6 HrHa070711031401full.jpeg 图像及其灰度直方图



(灰度级 255 像素数目:7909)

图 5-7 HrHa070101053625full. jpeg 图像及其灰度直方图

为了便于观测资料的后续研究与分析，在没有耀斑爆发时 H_α 图像并不出现

亮度饱和的像素。但图 5-7 和图 5-8 中可以看出, 在出现耀斑爆发时 H_{α} 图像则出现像素的亮度饱和, 其中 HrHa070711031401full.jpeg^[12] 图像亮度饱和像素的数目为 6578 个, 而 HrHa070101053625full.jpeg^[12] 图像亮度饱和像素的数目为 7909 个。

5.2.3 太阳耀斑识别问题描述

关于图像处理软件包, 目前世界上通用的图像处理软件包数目繁多、而且功能愈来愈强大。其中值得一提的是 PHOTOSHOP 的插件 Liberator, PHOTOSHOP 作为平面图像处理事实上的标准工具, Liberator 十分方便制作天文艺术图像, 在哈勃太空望远镜的欧洲主页上面有其详细的介绍, 甚至还提供了一篇如何使用 Liberator 在 PHOTOSHOP 中制作天文艺术图像的教程。

天文学研究中常用的图像处理软件有 IRAF、IDL 以及 MATLAB 等, 这些软件包都具有强大的图像处理功能, 而且都是基于人机交互的方式工作, 目前还没有一个专门用于日面活动图像与识别的开放软件包。本文以日面上最具代表性的活动——耀斑爆发为研究对象, 所进行的日面活动图像处理与识别方法的研究, 为今后进一步开发和完善日面活动图像自动识别软件包具有重要的理论意义和实用价值。它将为太阳耀斑爆发的研究提供全面的资料, 并加快 H_{α} 图像数据的分析, 提高 H_{α} 望远镜系统的日常观测能力。

太阳耀斑识别的主要目的是确认耀斑的爆发。目前国内外有关太阳耀斑自动识别方法研究的文献很少^[6,7], 本文根据 H_{α} 望远镜图像资料的灰度值特征和耀斑面积等特征, 将太阳耀斑识别分为以下几个问题:

1) 原始图像的预处理:

为了提高图像实时处理效率, 需要对原始的图像进行预处理。

2) 太阳耀斑特征提取:

提取图像中的太阳耀斑爆发特征, 在满足识别效果要求的前提下尽量减少运算量, 以满足图像的实时处理效率。

3) 确认耀斑爆发:

一旦发现有太阳耀斑爆发的特征出现, 即调节 CCD 的曝光时间, 完整的纪录耀斑爆发的全过程。

5.3 原始图像数据

为了与国际天文学研究接轨,国家天文台怀柔基地的H_α全日面望远镜的图像资料为FITS图像格式。FITS是Flexible Image Transport System(灵活图像传输系统)的缩写^[11],是用来存储、传输和处理科学图像的一种数字文件格式,FITS文件广泛应用于天文、遥感、气象、医学成像等领域。跟其它图像文件格式不同,FITS文件既可以用来存储科学图像,除了原始图像数据之外还包含多条光度和空间校准信息;也可以用来存储非图像文件,诸如光谱、光子清单、数据立方体、甚至结构性数据,例如多表数据库。

FITS 文件=文件头数据单元(HDU)+兼容的扩展(可选)+别的特殊记录(可选)。其中文件头数据单元,是数据块和一个或者多个与数据块相互交织的文件头,每个文件头包含一个或者多个逻辑记录,每个逻辑记录长度固定为2880个字节,包含多条固定为80个字节的长度的卡片映像(card image),每条卡片映像是由ASCII字符描述的关键字或关键值对构成^[8]。这些关键字和关键值可以描述数据长度、原点、坐标、二进制数据格式、自由格式的注释以及任何作者想描述的信息。文件头中一些关键字是FITS标准保留的,其余的剩余空间可以由作者任意定义。存储图像的FITS文件又称FITS图像。

早期的FITS图像由单一的文件头和数据块构成,如国家天文台怀柔太阳观测基地的全日面矢量磁场和视向速度场图像、全日面色球H_α太阳单色像,这些图像资料都由单一的文件头和数据块组成,这种图像格式现在仍在广泛使用。FITS图像可以包含任意维数的数据向量,不过通常的图像只需要二维或者三维即可描述,一般最后一维为颜色平面。而数据块的数据格式既可以是整数,也可以是浮点数,这些信息在文件头中描述。现在FITS图像包括一个或者多个科学坐标系,其中隐含的坐标系为直角坐标系,描述每个像素在图像中的坐标,由于科学计算一般在世界坐标系中进行,因此其中还可能会有天体坐标系。FITS标准在使用中变得越来越先进,早期的FITS图像允许用一个简单的比例因子来代表像素的大小,但最近版本的标准,允许多种非线性坐标系统,可以描述图像的任何畸变。世界坐标系标准中包含很多不同的球面投影,比如广泛用于观测宇宙微波背景辐射的HEALPix球面投影。

FITS图像处理技术发展至今,国际上已经积累了大量的程序库来处理FITS

图像。有多种语言可用来编写这些库，诸如 C、FORTRAN、Java、Perl、PDL、数值 Python 和 IDL 等语言。一些通用的图像处理程序比如 GIMP 和 Photoshop，可以读取简单的 FITS 图像，但做不了深入的分析，因此一般的科学活动中科学工作者都会采用一定的程序语言编写程序，根据文件头中的坐标信息来显示、比较、校正和操作 FITS 图像。

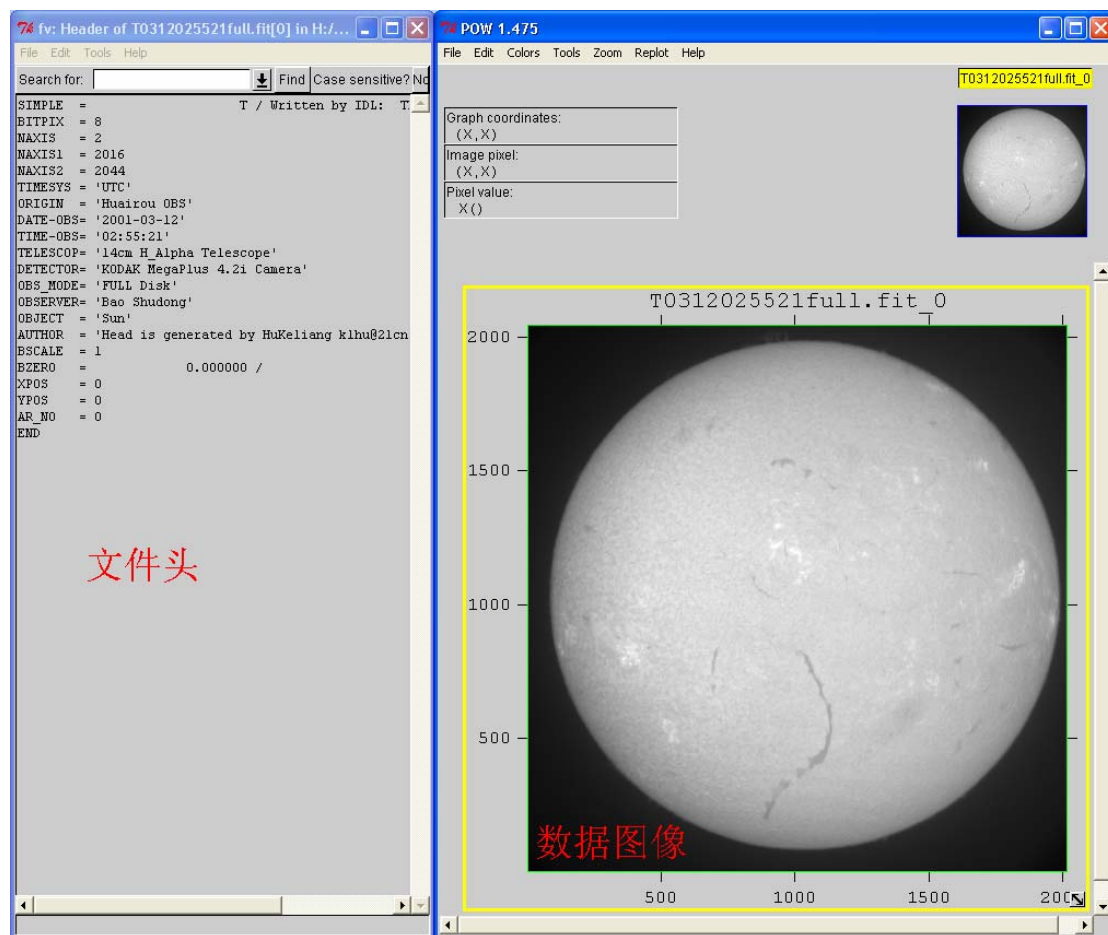


图 5-8 用 fv 软件^[9]查看 FITS 格式的全日面图像

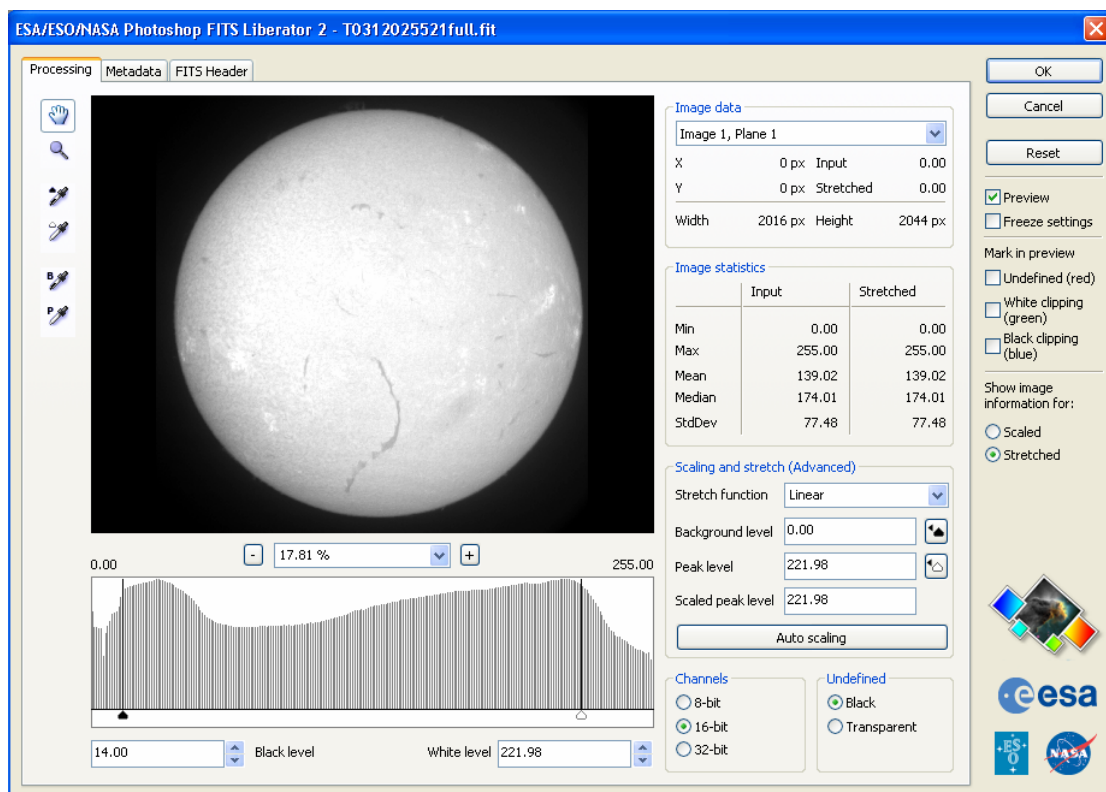


图 5-9 用 Liberator 插件在 PHOTOSHOP 中打开 FITS 图像

5.4 图像数据预处理

本文将采用双线性内插法^[5](一阶插值算法)进行图像处理, 设 $0 < x < 1$, $0 < y < 1$, 具体计算如下:

首先可以通过一阶线性插值得出 $f(x, 0)$:

$$f(x, 0) = f(0, 0) + x[f(1, 0) - f(0, 0)] \quad (1)$$

再对 $f(x, 0)$ 进行一阶线性插值:

$$f(x, 1) = f(0, 1) + x[f(1, 1) - f(0, 1)] \quad (2)$$

最后对垂直方向进行一阶线性插值, 以确定 $f(x, y)$:

$$f(x, y) = f(x, 0) + y[f(x, 1) - f(x, 0)] \quad (3)$$

合并上述 3 式可得:

$$f(x, y) = [f(1, 0) - f(0, 0)]x + [f(0, 1) - f(0, 0)]y + [f(1, 1) + f(0, 0) - f(0, 1) - f(1, 0)]xy + f(0, 0) \quad (4)$$

在程序中进行双线性插值计算时直接用 3 次一阶线性插值, 需要进行 3 次乘法和 6 次加减法运算; 用上述合并公式只需要 4 次乘法和 8 次加减法运算,

提高了图像预处理的速度。

采用双线性内插法先对每一帧图像进行处理, 然后采用帧数可调多帧累加法累加多幅图像, 并封装在一个 CODEC 内实现, 构成图像预处理 CODEC。

5.5 太阳耀斑特征提取

由于太阳耀斑爆发没有固定的时间, 也难以对其进行预测, 耀斑爆发时更没有固定的形态, 耀斑图像的这些特征都为本文的识别工作增加了难度^[10]。

图像分割处理定义为将数字图像分割成互不重叠区域的过程。在这里, 区域是像素的连通集合, 即是一个所有像素都有相邻或相接触像素的集合。连通性是指在一个连通集合中的任意两个像素之间, 都存在一条完全由这个集合的元素构成的连通路程。连通路程是一条可在相邻像素间移动的路径。因此在一个连通集合中, 可以跟踪在任意两个像素间的连通路程而不必离开这个集合。

图像分割可以采用三种不同的原理来实现。在利用区域的方法时, 把各像素划归到各个物体或区域中。在边界方法中, 只需确定存在于区域间的边界。在边缘方法中, 则先确定边缘像素并把它们连接在一起以构成所需的世界。

阈值处理是一种区域分割技术, 它对物体与背景有较强对比景物的分割特别有效。它计算简单, 而且总能用封闭而且连通的边界定义不交叠的区域。当实用阈值规则进行图像分割时, 所有灰度值大于或等于某阈值的像素都被判属于物体。所有灰度值小于该阈值的像素被排除在物体之外。于是, 边界就称为这样一些内部点的集合。

本文中将耀斑爆发的识别规则确定为阈值分割规则, 从而将识别空间划分为相互不重叠的两个区域: 阈值以内、阈值以外。参见下图离线部分(虚线)。对于每一幅资料图像, 特征值作为该图像的特征, 用来确定该图像属于哪一类。如果特征值归属于阈值之内, 就将该图像归入出现耀斑爆发的情况中; 如果特征值归属于阈值之外, 就将该图像归入没有发生耀斑的情况中。

在本文中如何设定合理的阈值是识别效果的关键。

5.5.1 基于面积特征的阈值分割法

基于面积特征的方法有直方图法、轮廓检测与提取法、灰度阈值分割法等。根据本课题的特点, 选取太阳耀斑图像的亮度饱和面积(像素数目)以及面积变化率为特征, 进行太阳耀斑自动识别研究。

如图 5-7 和图 5-8 所示, 在出现耀斑爆发时 H_{α} 图像出现像素的亮度饱和, 其中 HrHa070711031401full.jpeg 图像亮度饱和像素的数目为 6578 个, 而 HrHa070101053625full.jpeg 图像亮度饱和像素的数目为 7909 个, 1M48-LMCN-CCD 的有效像素数量为 1000×1000 个。因为以上两幅图都是耀斑已经爆发并处于爆发过程中, 因此如果以图像亮度饱和像素的数目作为阈值进行图像阈值分割来识别耀斑的爆发, 那么显然耀斑爆发临界时刻的图像中亮度饱和像素的数目应该少于 6578 个。

根据对国家天文台怀柔基地 2001 年至 2007 年的 H_{α} 图像资料的分析, 初步选择图像亮度饱和像素数目的阈值为 3000, 即亮度饱和像素数目小于 3000 个时认为没有耀斑发生, 而大于 3000 个时认为有耀斑爆发, 并启动 CCD 曝光设置等一系列系统设置工作。通过对 2002 年 1 月至 12 月的 200 幅图像的测试, 其结果的准确率为 80% 以上。

但应用此种方法时, 如果基本的曝光时间调节的不合适, 使得日面上大面积的谱斑亮度过大, 将会导致把谱斑误认为是耀斑爆发现象, 即导致在没有耀斑爆发的情况下却误认为有耀斑爆发; 或基本的曝光时间如果有所改变, 会导致不同图像资料中本来相同的背景亮度却变得不同, 显然在这种情况下, 如果仍然用固定的阈值进行图像分割将导致在某些真正有耀斑爆发时却误认为没有耀斑爆发。

为了避免上述两种错误的发生, 接下来将以图像的亮度饱和面积变化率为特征, 进行图像分割与耀斑识别研究。

5.5.2 基于面积变化率的阈值分割法

针对太阳耀斑爆发这一变化目标检测过程中, 太阳背景信息复杂变化并且信息处理量大的问题, 选择对时间相邻的图像进行差影计算, 从而快速的检测出耀斑爆发活动的动态变化。以图像活动区的面积变化率为特征进行图像阈值分割, 采用差影法进行图像检测。

根据太阳耀斑爆发的时间特点, 选择每 10 秒钟间隔的两幅图像进行相差运算。为了明显的看出变化以有利于说明基于面积变化率的阈值分割法的应用, 我们从国家天文台怀柔基地 2002 年的图像资料^[7]中选取的这两幅图像时间上相差 60 秒钟。以下是这两幅原始图像以及对它们进行差影运算后的结果图像, 还

有结果图像的灰度直方图，如图 5-10 所示。

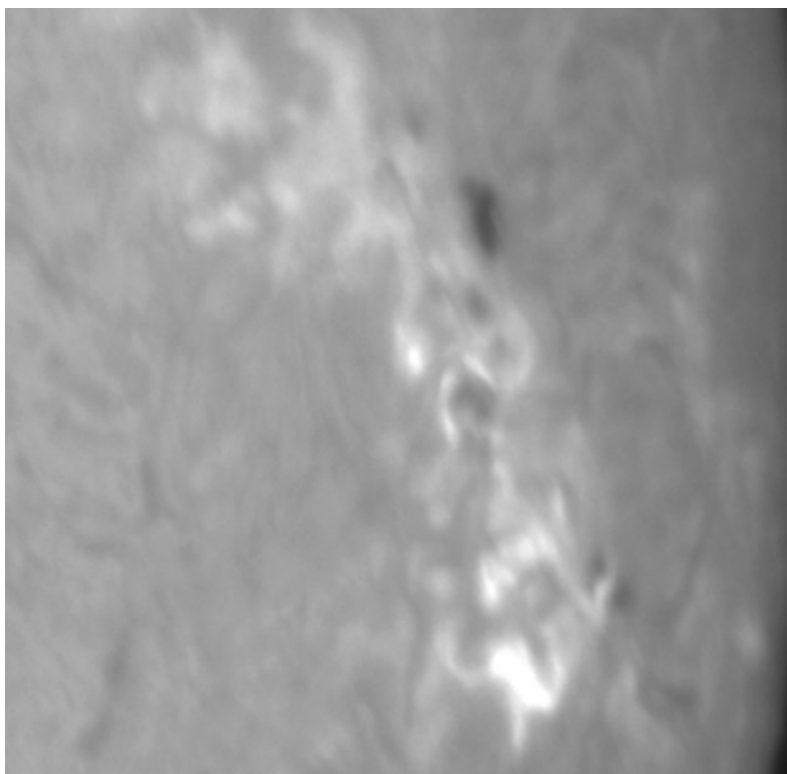


图 a

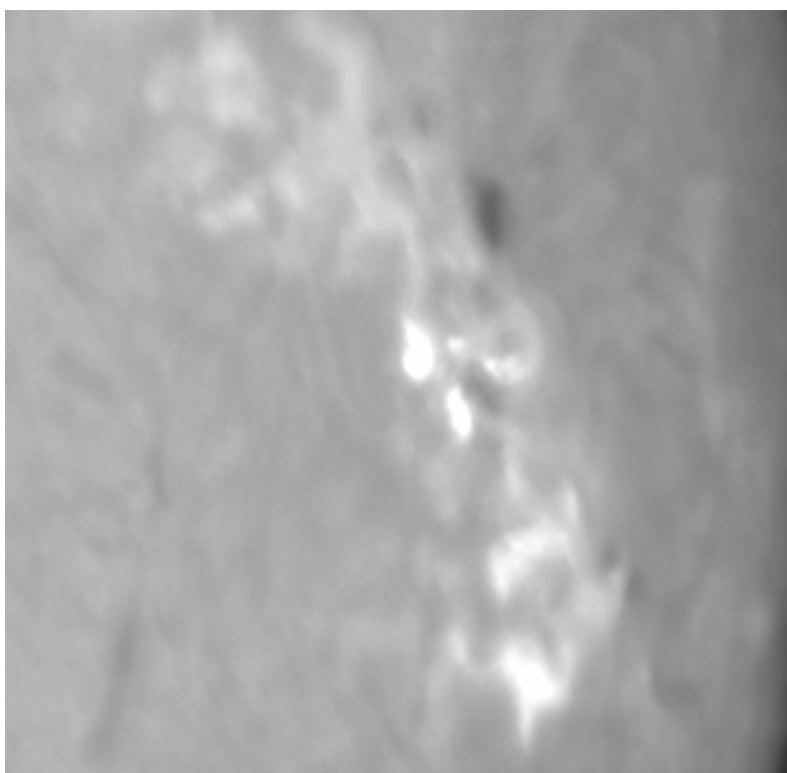


图 b

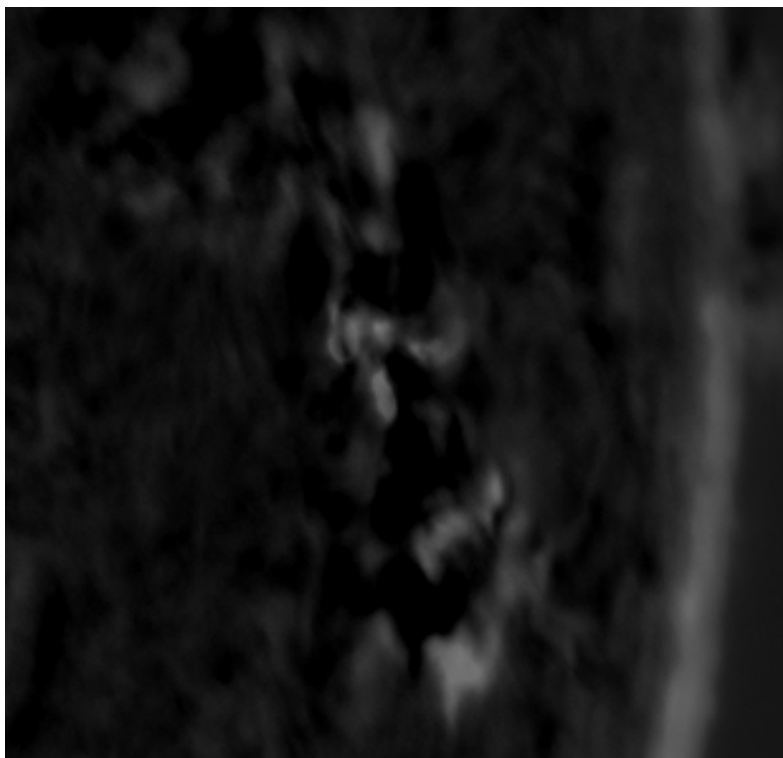


图 c

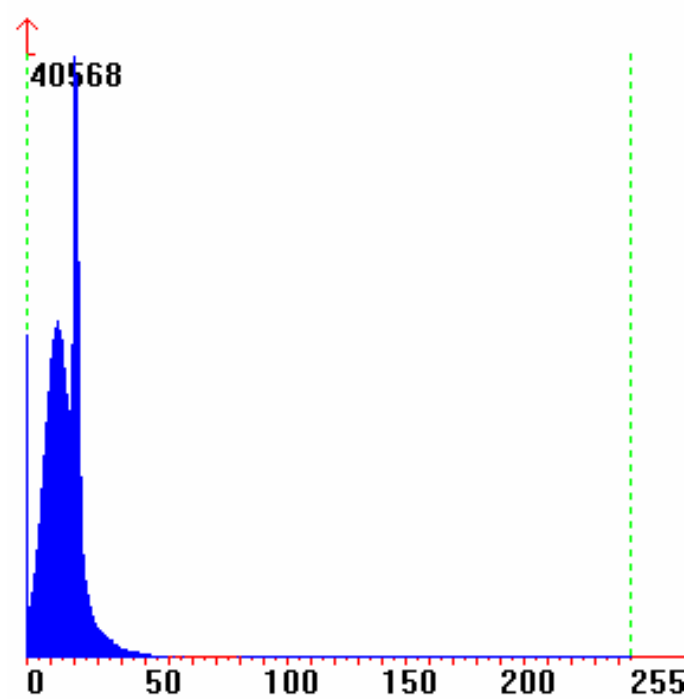


图 d

图 5-10 差影法应用结果

图 a 和图 b 是两幅时间差为 10 秒钟的图像，
图 c 为图 a 和图 b 的差值，图 d 是图 c 的灰度直方图

基于面积变化率的阈值分割法，其规则我们采用基于面积阈值分割法和基于灰度值阈值分割法的组合。根据对怀柔观测资料特点的具体分析，初步得出阈值规则如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{面积阈值} = 1500 \text{ 个 (像素)} \\ \text{灰度阈值} = 50 \text{ (255 灰度图)} \end{array} \right.$$

差影计算后所得的结果图像应该同时满足上面两个条件才可以认为是耀斑爆发，即灰度值大于 50 的像素的总数目在 1500 个以上。

5.6 基本分类器设计

对于每一幅 H_{α} 太阳耀斑资料图像，基本分类器计算出该图像与分类规则之间的相似程度，并将这个值作为该图像的一个特征函数，用来确定该图像属于哪一类。如果特征值归属某个区域，就将该图像归入对应的类别（在本文中是耀斑爆发和无耀斑爆发两种结果）中。分类器的基本设计完成后，得到初步的结果。

基本分类器设计过程的流程图如图 5-11 所示。

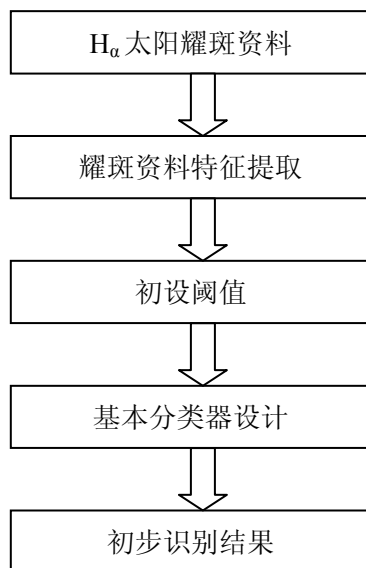


图 5-11 基本分类器设计过程

通过对 2002 年 1 月至 12 月的 200 幅图像的测试，其结果的准确率在 82% 以上。

第5章 参考文献

1. 求是科技, 张宏林, 蔡锐. 数字图像模式识别技术及工程实践 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
2. 边肇祺. 模式识别 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
3. 林元章. 太阳物理导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
4. 于晓霞. 色球耀斑 H α 谱线轮廓不对称性研究进展 [J]. 天文研究与技术, Vol 2, No. 4, 2005: 218~231.
5. Castleman 著, 朱志刚等译. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
6. 周虹. 类星体自动识别方法研究. 中国科学院自动化研究所研究生学位论文, 1999.
7. 吴永东. 类星体识别方法研究. 中国科学院自动化研究所博士论文, 1997.
8. IAU FITS Working Group. Definition of the Flexible Image Transport System (FITS) [DB/OL]. December 9, 2005.
9. http://fits.gsfc.nasa.gov/fits_verify.html [DB/OL]. The HEASARC, 2005.
10. Qu Ming, Shih Frank. Automatic Solar Flare Detection Using MLP, RBF and SVM [J]. Journal of Solar Physics, 217, 157-172, 2003.
11. <http://en.wikipedia.org/wiki/FITS>. 26 June 2007.
12. H-alpha 资料图像.
http://sun.bao.ac.cn/hsos_datas/full_disk/h-alpha/2007/07/. 2007.

第6章 太阳耀斑识别软件设计

在上一章中，我们对太阳耀斑自动识别问题的天文学背景以及识别方法^[1]进行了研究和讨论。在本章中，将在上述方法研究的基础上设计和实现了太阳耀斑爆发自动识别软件，并给出了测试结果。

6.1 软件工作流程图

图 6-1 是太阳耀斑处理与识别的主要内容及其流程图。

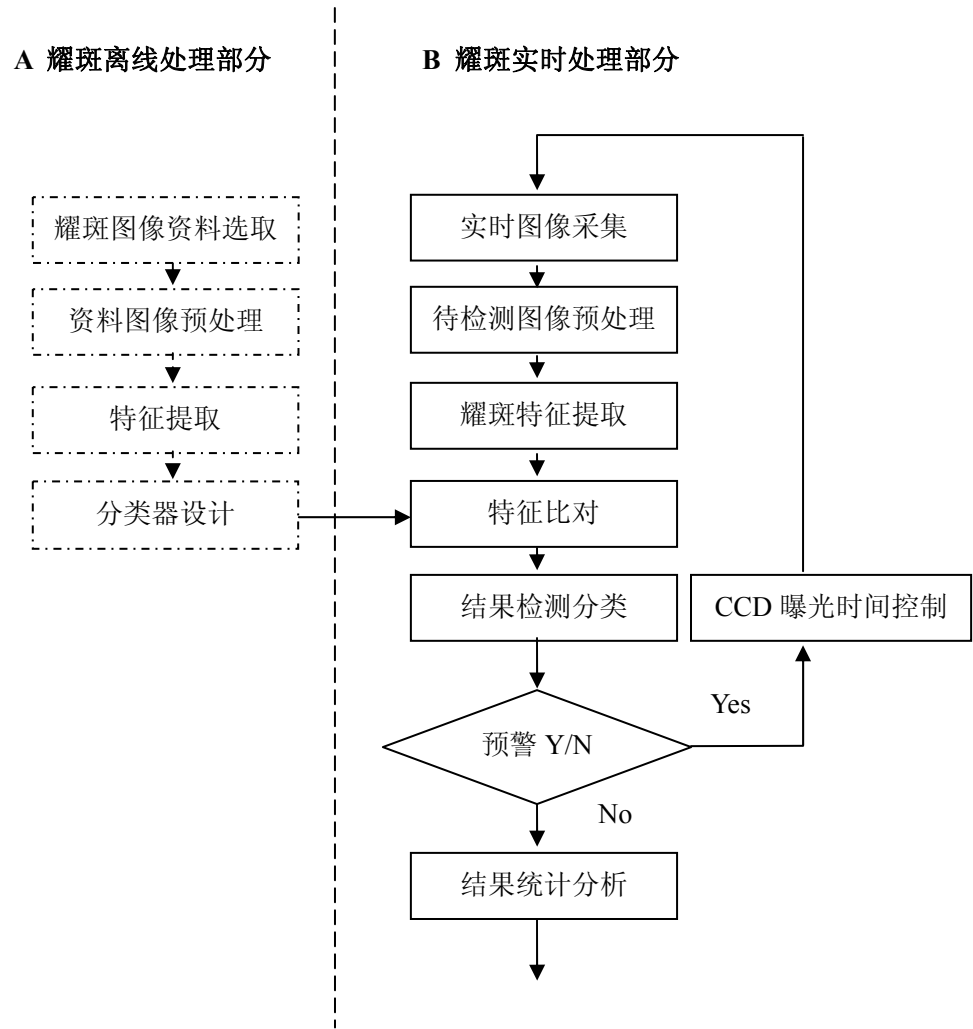


图 6-1 太阳耀斑处理与识别流程图

6.2 方法的选取

为了提高识别结果的准确率，我们采用基于面积变化率的阈值分割法。即采用基于面积阈值分割法和基于灰度值阈值分割法的组合。初步的规则设置为

面积阈值=1500 个（像素）；灰度阈值=50（255 灰度图）。

6.3 统计与学习

对于统计识别算法，基本分类器训练和统计学习很必要^[2,3]。统计学习部分是一个完整的自动识别系统不可缺少的部分，担任着不断完善和提高系统性能的任务。在本文中选取合适的耀斑图像、以及合理确定阈值，进行分类器训练是提高分类器性能的保证。

本文对于基本分类器训练的具体做法为：从 H_α 太阳耀斑资料资料图像中选择 N 组耀斑图像（每一组对应一个耀斑爆发过程），作为分类器的训练集。根据上一章中介绍的基于面积变化率的阈值分割法，对资料进行差影计算，并对每一个耀斑爆发过程选定一个适合的灰度阈值。再将所得的 N 组阈值进行统计分析，最后采用算术平均值的方法得出最佳阈值。

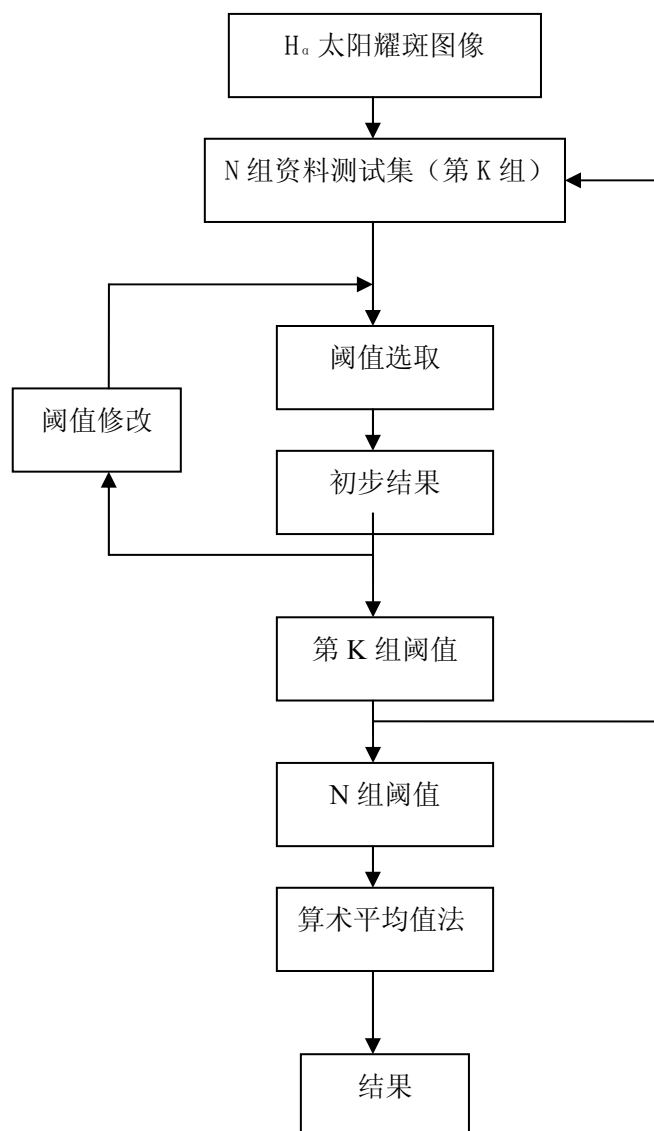


图 6-2 分类器训练流程图

选取的是怀柔基地 H_0 太阳耀斑图像 2000 年至 2006 年的资料, $N=50$ 组。其结果数据统计如表 6-1 所示:

表 6-1 分类器结果数据统计表

	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10
面积阈值 / 像素个数	1650	1700	1900	1900	1450	1650	1600	1500	1780	1700
灰度阈值/255 灰度图	45	48	45	55	58	55	62	42	60	62
	k=11	k=12	k=13	k=14	k=15	k=16	k=17	k=18	k=19	k=20
面积阈	1550	1400	1650	1500	1550	1800	1750	1600	1380	1500

值 / 像素个数										
灰度阈值/255 灰度图	55	55	65	55	65	75	70	50	75	45
	k=21	k=22	k=23	k=24	k=25	k=26	k=27	k=28	k=29	k=30
面积阈值 / 像素个数	1700	1550	1450	1200	1700	1350	1350	1550	1500	1350
灰度阈值/255 灰度图	45	40	40	38	55	50	40	55	65	60
	k=31	k=32	k=33	k=34	k=35	k=36	k=37	k=38	k=39	k=40
面积阈值 / 像素个数	1200	1450	1400	1600	1600	1650	1450	1380	1450	1550
灰度阈值/255 灰度图	50	40	40	38	50	45	40	45	38	45
	k=41	k=42	k=43	k=44	k=45	k=46	k=47	k=48	k=49	k=50
面积阈值 / 像素个数	1550	1450	1550	1350	1500	1300	1250	1450	1500	1550
灰度阈值/255 灰度图	45	45	40	55	60	50	60	40	40	45

计算结果如下：

面积阈值的算术平均值=1528 个；

灰度阈值的算术平均值=51。

6.4 实验结果

通过对 2006 年耀斑爆发的实际测试，该系统的识别率达 85%以上。

H_α 太阳耀斑图像资料选取的是怀柔基地 2000 年至 2006 年的资料。由于期间更换过 CCD，并对图像采集软件以及 CCD 的初始条件进行了重新设置，因此会造成不同年份的 H_α 图像资料背景灰度不相同，这直接影响阈值的选取和结果的准确度。因此为了获得更加合适的阈值以便于更准确的识别太阳耀斑的发生，还需要后续大量的统计与分析工作。

实践证明此种方法对太阳爆发的识别具有切实可行性。本文的识别软件研

究工作将为今后此类问题的研究具有良好的参考意义。

第 6 章 参考文献

1. 边肇祺. 模式识别 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
2. 周虹. 类星体自动识别方法研究. 中国科学院自动化研究所研究生学位论文, 1999.
3. 黄凌云. 类星体自动识别方法研究. 中国科学院自动化研究所研究生学位论文, 2000.

第7章 SIPRS系统测试与结果分析

图 7-1 是实际系统的截图：



图 7-1 SIPRS 实际系统截图

7.1 SIPRS系统硬件与软件部分测试

SIPRS 系统的硬件和软件部分的设计在前面第三章和第四章详细讨论过。硬件系统在所有子系统的基础上，又配备有 $200\text{G} \times 5$ 个的大数据量存储器^[1]，用于实现 SIPRS 大量的高速存储和回放的功能。此系统能满足怀柔太阳观测基地日常观测的一切所需，目前在怀柔观测基地与原有的 H _{α} 图像采集系统一同进行日常观测工作^[2]。

7.2 SIPRS系统耀斑图像识别功能测试

于 2006 年 5 月~2007 年 3 月间进行过多次测试，识别效果基本满足要求。为了进一步提高系统的识别率，有待进一步收集资料并进行分类器训练。为了继续完善和发展现有的太阳耀斑自动识别系统，还需要更有效的引入专家经验等。

第 7 章 参考文献

1. 郑为民, 张秀忠, 陈 中等. CVN 高速数据记录与回放硬盘系统及其应用 [J]. 上海天文台年刊, 2004(25):112-119.
2. 胡柯良. 面阵 CCD 导行和嵌入式系统在高时空分辨率太阳磁场观测中的应用. 中国科学院国家天文台学位论文, 2004.

第8章 工作总结与展望

8.1 论文完成的主要工作

太阳耀斑自动识别是图像处理、自动识别、人工智能、天文学相结合的新的研究课题。本文分析了耀斑在太阳物理学上的分类,还进行了耀斑图像特征分析,提出了耀斑自动识别的主要目标。在了解耀斑自动识别问题实质的基础上,充分应用识别技术、专家知识等相关领域的知识,提出了基于灰度阈值的耀斑自动识别方法。在研究中发现,太阳自动识别问题由于问题本身的复杂性,用单一的灰度阈值法难以取得良好效果。本文提出的基于灰度变换率的方法经实验测试,具有切实可行性。在基于上述讨论的基础上,设计并实现了一种灰度阈值分割的太阳耀斑自动识别软件系统,并获得良好的实测效果。

并在此软件的基础上,对 H_α 全日面太阳望远镜系统终端的图像采集硬件系统、系统控制、以及软件其它各个部分进行了一系列需求分析和 UML 建模工作,并设计和实现了 SIPRS (日面活动高速图像处理与识别系统)。SIPRS 系统采用高性能图形工作站和高性能图形采集技术实现了 H_α 全日面望远镜终端系统的硬件高速实时处理功能^[1]、软件实时采集与处理功能,并在观测软件中实现了太阳耀斑自动识别的功能。

8.2 本文的创新点

本文的研究意义:

- 1) 它将为耀斑爆发物理机制的研究提供重要的实际观测资料;
- 2) 它能为太阳活动预报研究提供重要的观测依据;
- 3) 该系统还将是其它日面活动现象自动识别研究的重要参考,并为日面其它活动现象的自动识别软件的建立提供良好的范例。

本文的创新点:

- 1) 将 UML 建模思想应用于天文望远镜的需求分析中,为后续系统的设计和实现等工作明确了方向,并为其它天文观测系统设计提供范例;
- 2) 将最新的图像处理技术应用于 H_α 全日面望远镜的日常观测系统中,提高了望远镜的观测能力;
- 3) 目前从国内的文献资料中^[2],还没有看到类似的太阳活动现象自动识

别、尤其是太阳耀斑自动识别系统，本课题的研究工作填补了国内此研究领域的空白。

8.3 下一步工作展望

虽然本文在太阳耀斑爆发活动的自动识别方面取得了一定进展，但是这方面的研究尚处于初级阶段，识别的整体效果还有待改进。特别是灰度阈值分割法中的阈值选取，还有待进一步扩大有效样本的数量，并做进一步的实测和分析。

总之，对于观测系统软件部分，继续完善和发展现有的太阳耀斑自动识别系统以及日面活动识别系统，提高系统的识别率，更有效的引入专家经验等，是今后需要解决的问题；对于观测系统硬件部分，则是提高系统实时性、数据传输与存储问题^[3]、提高网络访问速度等问题是今后需要解决的重点问题。

第8章 参考文献

1. 胡柯良. 面阵 CCD 导行和嵌入式系统在高时空分辨率太阳磁场观测中的应用. 中国科学院国家天文台学位论文, 2004.
2. 周虹. 类星体自动识别方法研究. 中国科学院自动化研究所研究生学位论文, 1999.
3. 郑为民, 张秀忠, 陈 中等. CVN 高速数据记录与回放硬盘系统及其应用[J]. 上海天文台年刊, 2004(25):112-119.

博士期间发表的论文

以下是在学期间以第一作者身份在国内核心期刊和 EI Compendex 核心期刊源上待发表的文章：

1. 胡新华，邓元勇等. FITS 图像处理技术荟萃及在太阳观测中的应用. 天文研究与技术，2008 年 1 期，已录用.
2. 胡新华，邓元勇等. 基于达芬奇技术的 SMFT 终端实时图像处理系统研制. 光电子·激光，2008 年期，已录用.
3. 胡新华，邓元勇等. 并联监控电路可靠性分析及设计. 微计算机信息，2009 年 1 月期，已录用.
4. 胡新华，邓元勇等. 提高工控机可靠性的一种简易方法. 微计算机信息，2009 年 2 月期，已录用.
5. 胡新华，邓元勇等. 基于达芬奇技术的日面活动图像处理与识别系统. 计算机应用研究，2008 年 10 月期，已录用.

致 谢

在此论文即将完成之际，首先，衷心地感谢我的导师邓元勇研究员。他的治学严谨、勇于创新；他那对科学锲而不舍的执著精神，无一不深深地感染着我。他广博的专业知识、机敏的思维，以及为人处世的人格魅力令我敬佩。感谢他在课题的选择、研究以及论文的写作上给予的指导和帮助。在他的严格要求下，我不仅在专业能力上获得了长足的进步，而且对科研方法和系统研究的全局把握方面有了一定的能力，很幸运在职业生涯中能有这样一位优秀的导师为我引路。还要感谢他作为一位长者与我分享他的成长经历并给予宝贵的建议，很幸运能有这样一位良师益友。

感谢张洪起研究员多年来的不吝赐教，张老师严谨的治学态度和勤俭的生活作风是我们学习的好榜样。感谢胡柯良高级工程师、林佳本高级工程师在专业研究领域和技术应用研究方面给予的所有指导和帮助。感谢王华宁研究员在耀斑识别问题研究方面给予的指导和建议，感谢颜毅华研究员、骆丽教授、杨志良教授以及孙才红研究员在论文写作方面给予的意见和建议。同样感谢研究生处的杜红荣老师和艾华老师在我的博士学业期间提供的各方面的支持与帮助。还要感谢林钢华高级工程师、王东光高级工程师以及苏江涛副研究员多年来给予的指导和帮助。感谢站长李焕荣、李威，秘书王艺、观测员汪国萍、张鼎波等多年来在工作上给予的帮助。感谢师兄包星明、师姐马雪莲等，与他们沟通和交流丰富了我的人生阅历，他们以身作则更是我学习和生活的好榜样。

衷心地感谢国家天文台怀柔观测基地给了我这样一次难得的学习机会，这些年的求学和生活经历将是我人生中的宝贵经历，令我终生难忘。还要向一起学习的所有同学们、以及在学期间曾给予我帮助的所有国家天文台老师和同学们表示谢意。

特别感谢我的好友雨池在各个方面给予的难能可贵的指点和鼓励，令人永生难忘。感谢好友泰乐的指点。还要多多感谢张医生。

衷心地感谢我的好友王先平，感谢他多年以来在生活上的细心关怀与照顾；还要感谢他始终如一的支持、理解与鼓励。感谢他帮助我克服学习方面的障碍

和其它方面的困难、并为我重新树立自信心；还要感谢他身体力行为我树立榜样、指点道路，使我能以乐观积极的态度面对未来的人生。千言万语也难以完全表达出我的感激，可以说他适时给予的帮助为我的命运带来了转机。没曾想到最珍贵的东西得来却是免费的，就好似太阳的光芒，比如真正的尊重和理解、还有真诚的爱。其实现实与想象并非总是一致，有时甚至是截然相反的；感叹岁月本身并不能带来什么，原来使人成熟的是经历而不是岁月。过去并未逝去、而且仍在继续，感叹认识和完善自我原来是人生永不结业的必修课。

有一种付出，无需太多，只要一点点就足已令人感动。衷心的感谢所有那些在我的人生旅途中曾给予过关怀、鼓励和帮助的人们。所谓“爱一个人，一生不够”，但作为一个能让自己坚强走下去的理由，却已足够。对于所有那些我曾深深爱过的人们，我这样一个平凡而普通的人，别无其它可奉送，就让我把这最后的感谢和永远的真诚一起献上吧。