

分 类 号 \_\_\_\_\_  
学校代码 10487

学号 M201672719  
密级 \_\_\_\_\_

# 华中科技大学

# 硕士学位论文

## 基于 Web 的数字病理标注数据 采集与管理系统设计与实现

学位申请人： 田靓

学 科 专 业： 生物医学工程

指 导 教 师： 曾绍群 教授

刘秀丽 讲师

答 辩 日 期： 2019 年 5 月 22 日

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree for the Master of Engineering**

**Design and Implementation of Digital Pathology  
Annotation Data Collection and Management System  
Based on Web**

**Candidate : Jing Tian**

**Major : Biomedical Engineering**

**Supervisor : Prof. Shaoqun Zeng**

**Lect. Xiuli Liu**

**Huazhong University of Science & Technology**

**Wuhan 430074, P.R.China**

**May, 2019**

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的成果。尽我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名:

日期： 年 月 日

# 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于 保密□， 在\_\_\_\_年解密后适用本授权书。  
不保密□。

(请在以上方框内打“√”)

学位论文作者签名:

日期:        年    月    日

指导教师签名:

日期：        年    月    日

## 摘 要

图像采集、存储技术的发展成熟降低了图像采集应用的成本，也促进了图像处理与识别技术在各领域的应用发展。图像分析与识别技术的应用依赖于特定图像识别算法的构建，而图像识别算法的实现和优化过程需要大量带有标注信息的图像作为数据集。数据集的质量和数量可直接影响算法的实现效果。数字病理图像标注数据采集过程效率低的原因是图片尺寸大、分辨率高、具有专业知识的标注人员少。

因而，解决现有标注数据采集过程中困难的有效方法是，通过设计和优化标注数据采集系统的方法提升标注数据的采集效率。目前已有的图像标注数据采集系统部分为通用标注工具，其不支持大尺寸、高分辨率的生物医学图像的浏览显示。另一部分是适用于生物医学图像浏览与标注的专用工具，而多为单机版软件，其运行依赖于多种支持性库文件和环境。另一方面，单机版软件大多仅支持本地图像与标注数据的浏览和存储。

针对已有标注数据采集系统的不足，本研究用 Web 技术设计和实现了一套浏览器/服务器结构的软件系统用于大尺寸、高分辨率数字病理图像的标注数据采集和管理。该软件由客户端、应用服务器、数据存储部分和图形处理器服务器五个部分组成。按运行设备介质及其功能特性的不同，系统客户端可分为个人电脑端与移动端两个版本。通过该系统个人电脑客户端，用户可实现数字病理图像的浏览、区域标注数据采集的基本功能，并借助系统中的快捷键模块，使用快捷键操作，提高标注效率。同时，用户通过系统的移动客户端可完成对图像块的分类标注数据采集，并使用测试、历史记录查询、图片收藏功能模块进行查阅和交流。在实现上述基本功能的基础上，系统中引入了多种管理策略，对图像及标注数据、用户信息进行独立管理，利用图形处理器服务器参与标注数据的生成和管理。

上述系统中基本功能与管理策略的应用，有效提升了大尺寸生物图像上的标注数据获取效率，并可帮助管理者进行标注数据质量的维护。结合临床宫颈液基细胞学检查的图像辅助判读软件设计需要，本软件系统的个人电脑客户端已应用于相关区域标注数据采集超过 1 年，移动端也已用于分类标注数据采集超过半年，在提高标注数据采集过程的效率上取得了良好的效果。

**关键词：**数字病理    标注数据    软件系统设计

## Abstract

The development and maturity of image acquisition and storage technology not only reduces the cost of image acquisition and application, but also promotes the application and development of image processing and recognition technology in various fields. The application of image analysis and recognition technology relies on the construction of a specific image recognition algorithm, and the implementation and optimization process of the image recognition algorithm requires a large number of images with annotation information as a data set. The quality and quantity of the data set can directly affect the implementation of the image algorithm. In the digital pathology image annotation data collection process, the characteristics of large image size, high resolution, and low number of people with professional knowledge lead to low efficiency of data collection.

Therefore, an effective method for solving the difficulties existing in the existing annotation data collection process is to improve the collection efficiency of the annotation data by designing and optimizing the annotation data acquisition system. In the existing image annotation data acquisition system, some are general annotation tools, and such annotation tools do not support the display of large-scale, high-resolution biomedical images. The others are specially designed tools for biomedical image display and annotation. Most of these tools are stand-alone software. Its operation depends on a variety of supporting library files and environments. Besides, most of the stand-alone software only supports the display and storage of local images and annotation data.

In view of the shortcomings in the existing labeled data acquisition system, this study uses Web technology to design and implement a software system based on browser/server structure for the annotation data collection and management of large-scale, high-resolution digital pathology images. The software consists of five parts: client, application server, data storage part and graphics processor unit server. According to the running device media and its functional characteristics, the system client can be divided into two versions: personal computer and mobile. Through the personal computer client of the system, the user can realize the basic functions of browsing digital pathological images and collecting data of regional annotations. With the shortcut module in the system, users can use shortcut keys instead of mouse to improve annotation efficiency. Besides, the user can complete the collection of the classification annotation of image patches through the mobile client of our system, and use the testing, history record querying and picture

collection function module for review and discussion. On the basis of realizing the above basic functions, various management strategies are introduced in the system to independently manage images, annotation data and user information, and graphics processor servers are used to participate in the generation and management of annotation data.

The application of the basic functions and management strategies in the above system effectively improves the efficiency of the annotation data acquisition on large-scale biomedical images, and can help managers maintain the quality of annotation data. Combined with the design of image-assisted interpretation software for clinical cervical liquid-based cytology, the PC client of this software system has been applied to collecting regional annotations data for more than 1 year, and the mobile terminal has also been used for classification annotation data collection for more than half a year. Good results have been achieved in improving the efficiency of the annotation data collection process.

**Key words:** Digital pathology      Annotation data      Software system design

## 目 录

摘要.....	I
---------	---

Abstract.....	II
---------------	----

### 1 绪论

1.1 数字病理研究与应用背景 .....	1
1.2 宫颈细胞学检查与数字病理应用 .....	2
1.3 数字病理中标注数据种类与应用 .....	5
1.4 图像标注采集与管理工具的国内外研究现状 .....	7
1.5 主要研究内容与组织架构 .....	8

### 2 个人电脑端标注数据采集与管理系统分析与设计

2.1 个人电脑端系统总体分析 .....	11
2.2 个人电脑端系统总体结构设计 .....	16
2.3 个人电脑端系统客户端功能设计 .....	17
2.4 个人电脑端系统管理策略设计 .....	22
2.5 个人电脑端数据库与数据存储格式设计 .....	24
2.6 本章小结 .....	26

### 3 个人电脑端标注数据采集与管理系统实现和测试

3.1 个人电脑端系统客户端功能实现 .....	27
3.2 个人电脑端系统管理策略实现 .....	39
3.3 个人电脑端系统测试 .....	41
3.4 本章小结 .....	46

### 4 移动端标注数据采集与管理系统设计与实现

4.1 移动端系统方案设计 .....	48
4.2 移动端系统客户端实现 .....	57

# 华中科技大学硕士学位论文

---

4.3 移动端系统测试 .....	62
4.4 本章小结 .....	64
5 总结与展望	
5.1 论文工作总结 .....	65
5.2 未来工作展望 .....	66
致 谢 .....	69
参考文献.....	70
附录 攻读学位期间申请或授权的专利 .....	74



## 1 绪论

### 1.1 数字病理研究与应用背景

图像采集领域软硬件技术的持续发展与图像存储技术的成熟，使得图像采集与应用的成本不断降低，进而加速了促进了图像处理、识别技术的应用与进步。以深度学习为代表的人工智能以及图像识别技术在社会各个领域获得了广泛应用，如交通、安防以及医学诊断领域<sup>[1, 2]</sup>。与此同时，“智能+”被写入《2019 年政府工作报告》，政府将鼓励以大数据、人工智能为代表的技术应用至高端装备、生物医药、新能源汽车、新材料等新兴产业集群，为制造业升级赋能<sup>[3]</sup>。在生物医药领域，研究者利用人工智能技术在医疗图像识别领域进行了广泛的探索，基于眼科、皮肤科等临床科室采集的图像的研究应用取得了令人瞩目的阶段性研究成果<sup>[1, 4-8]</sup>。已有的应用成果不仅展现出人工智能广阔的应用潜能，也使医学工作者相信，在未来人工智能技术能够帮助医生和专业人士对医学影像进行解读并给出相应的诊断<sup>[1, 6, 9, 10]</sup>。

在众多医学图像与人工智能相关的研究和应用中，基于病理图像的图像分析与应用最为常见。传统病理学经过一百五十多年的发展，在临床医学中具有举足轻重的地位，被广泛应用于各临床科室的疾病检查与诊断，是众多疾病诊断的金标准<sup>[11, 12]</sup>。病理学检查的主要手段是分析采样检体，辅助医生诊断，也可用于进一步疾病造成的生理变化并寻求解释。因此，病理学科在医院中也被称为“医生中的医生”。临床病理学可细分为十余种领域，又以解剖病理学、血液病理学、微生物学和化学病理学为主要研究领域。其中解剖病理学是临床最常见的、应用最广泛的病理学，它是指病理医生使用肉眼或借助光学显微镜及电子显微镜观察组织与细胞结构以增加临床诊断准确性的方法<sup>[13]</sup>。虽然以原位杂交、免疫组化为代表的现代分子技术已经被广泛用于病理诊断，但组织形态和细胞形态诊断依然占据主导地位<sup>[14]</sup>。

受益于图像采集技术的日趋成熟、图像存储成本降低，数字病理在病理学实验室中获得推广和应用<sup>[15, 16]</sup>。数字化病理，简称数字病理，是指在传统病理学基础上，将计算机、网络技术等应用于病理图像采集、存储和辅助诊断的技术。

全切片数字化(whole slide scanning)与全切片图像(WSI, whole slide image)技术是数字病理发展和成熟的关键性技术。专业的数字显微成像设备可对切片上生物

组织细胞细节进行自动扫描成像，再以高分辨率数字化片方式存储、还原并展示出来<sup>[14]</sup>。WSI 数据的获取为数字病理相关技术后期的发展铺平了道路，进一步促进了传统病理学应用的数字化发展<sup>[17]</sup>。

数字化病理学的不断发展，使可得到大尺寸高分辨率数字化病理图像数据的应用场景变得常见，并在临床诊断、医学教学、继续教育、远程医疗等领域得到了广泛的应用和认可<sup>[15, 18]</sup>。例如，与数字病理相结合的互联网远程会诊打破了临床讨论的地理界限，同时节省了时间和经济成本<sup>[19]</sup>。数字病理技术除了具有远程会诊功能外，还有更广阔的应用和发展前景。数字病理众多应用中，最受关注的课题是将该技术用于病理图像的辅助解释和计算机辅助诊断，以帮助降低病理学家的工作强度<sup>[20, 21]</sup>。

如图 1-1 所示，传统的临床病理诊断完全依赖于病理学家的高强度工作，以实现阅片与诊断。现在，临床病理学家正与软件与算法工程师合作，探索通过使用计算机程序对病理图像进行识别与分析，进而协助病理医生进行辅助诊断。

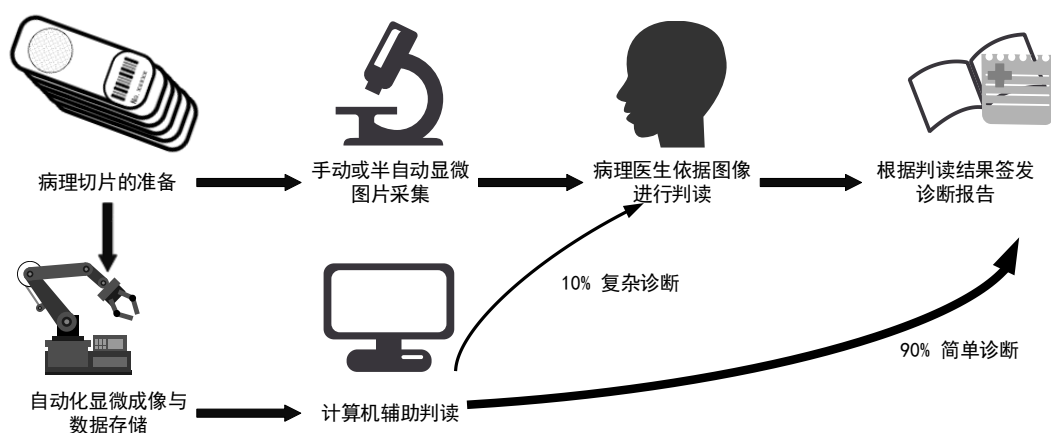


图 1-1 传统病理诊断流程与现代病理诊断流程示意图

Fig. 1-1 Diagram of traditional and modern pathologic diagnosis workflows

## 1.2 宫颈细胞学检查与数字病理应用

宫颈癌是世界范围内女性最常见的癌症之一<sup>[22, 23]</sup>。统计显示，宫颈上皮肉瘤样病变和宫颈癌患者呈现年轻化趋势。因而做好早期筛查，及早发现和干预可有效减少宫颈癌对患者健康侵害。传统的宫颈癌筛查多采用巴氏涂片法，近年来液基细胞学检查（LBC，liquid-based cytology）方法成为了新的宫颈癌筛查的有效方法<sup>[24, 25]</sup>。

20 世纪 40 年代起,巴氏涂片法作为妇科细胞学筛查方法被用于检测或预防宫颈癌,并有效降低了筛查人群的宫颈癌发病率和死亡率。传统巴氏涂片法因其操作简单、成本低而获得应用广泛,但检测结果易受到取材方式、制片方法以及染色水平等因素的影响,进而导致阳性检出率低,不利于后续诊断与早期治疗<sup>[26]</sup>。

区别于巴氏涂片在取样后直接将取样器上的细胞涂抹于玻片上,LBC 方法中会将取样器上的细胞转移至含有特定介质的保存液中,此举可防止因细胞发生风干、细胞自溶而变形影响诊断准确率<sup>[27]</sup>。LBC 是采用液基薄层细胞检测系统检测宫颈细胞并进行细胞学分类诊断的方法。因其取材方式更科学,制片流程标准化程度高,而具有癌变检测率高,误差小的优势<sup>[26]</sup>。因此,LBC 正在取代用于检测宫颈癌和癌前细胞的传统细胞学检查<sup>[28]</sup>。

LBC 方法虽不属于严格的临床病理学范畴,但因其将取样获得的细胞固定于玻片上并通过显微镜镜检的流程与传统病理学诊断较为相似,且应用数量较大,故其与数字病理的图像采集、辅助诊断技术相结合,已发展出了一系列较为成熟的应用。以豪洛捷公司的新柏氏(TCT, ThinPrep Cytologic Test)与碧迪公司的 SurePath 液基细胞学产品为例,与上述产品配套的玻片扫描分析系统(TIS, ThinPrep Imaging System)与 FocalPoint GS 电脑辅助阅片系统均已获得所在国资格认证并进入我国市场<sup>[27]</sup>。上述系统在实现 LBC 样本分析及辅助阅片过程中所采用的模式均为区域引导筛查<sup>[29]</sup>。即计算机根据采集图片进行分析,辨认出最有可能含有异常细胞的细胞的区域视野(FOV, fields of view),推荐给人工,由人工对整张涂片进行筛查。若整张涂片中未发现含有异常形态细胞的 FOV,则无需人工筛查,由计算机给出相关报告。上述流程与图 1-1 中的现代病理诊断流程基本一致。自动化或半自动化筛查系统的引入不仅可以提高工作效率,其对于罕见病变更具有出众的潜在的敏感度,这使得自动化筛查装置与方法受到越来越多的关注。

由此可见,计算机辅助筛查系统离不开计算机辅助图像识别算法。计算机辅助病理诊断上的关键是构建用于辅助诊断的图像识别算法。而用于辅助诊断的图像识别算法的构建依赖大量带有标注信息的图像作为数据集,数据集质量和数量直接影响算法构建的效果<sup>[17]</sup>。数据集的质量越高、数量越充足,越有利于高质量图像识别算法的构建。

本研究及后文中所采用的数字病理图像均为 LBC 图像,以下将介绍用于宫颈或阴道巴氏细胞学诊断的报告系统, Bethesda 系统(TBS, the Bethesda system),以及

LBC 样本图像中常见的具有诊断意义的细胞种类。TBS 从 1988 初次制定，至今已发展至第三版，也称为 TBS-2014<sup>[27]</sup>。在本研究所中所涉及标注数据采集系统中，我们设置的备选类别包含了所有来自的 TBS-2014 的分类。这不仅有有助于系统中分类的标准化，也为后期计算机辅助图像判读、宫颈细胞学报告生成过程的准确性和重现性提供了保障<sup>[30]</sup>。如图 1-2 所示，最常见的四种常见鳞状细胞病变类型分别为高级别鳞状上皮内病变（HSIL，high-grade squamous intraepithelial lesion）、低级别鳞状上皮内病变（LSIL，low-grade squamous intraepithelial lesion）、意义不明的非典型性鳞状细胞（ASC-US，atypical squamous cells of uncertain significance）和非典型性鳞状细胞不能排除 HSIL（ASC-H，atypical squamous cells cannot exclude a HSIL）。

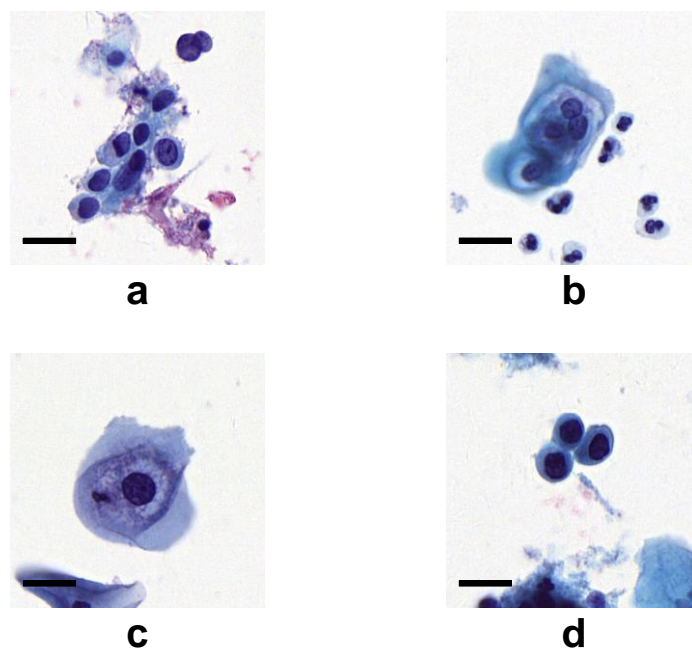


图 1-2 TBS 中四种常见的鳞状上皮细胞病变类型，比例尺：20  $\mu\text{m}$ 。(a) HSIL。(b) LSIL。(c) ASC-US。(d) ASC-H。

Fig. 1-2 Four common types of squamous cell lesions in TBS, scale bar: 20  $\mu\text{m}$ . (a) HSIL. (b) LSIL. (c) ASC-US. (d) ASC-H.

如上所述，本文研究所涉及的图片均基于 LBC 样本的 WSI，系统中标注类别以及图片附加信息内容均参考 TBS-2014。LBC 检查的计算机辅助筛查依赖于相关计算机图像识别算法的应用，而算法的构建则需要大量、高质量图片标注数据集。下一节，将介绍数字病理中标注数据的种类及其应用方式。



## 1.3 数字病理中标注数据种类与应用

正如 1.1 中所述，数字病理的成熟和发展为病理诊断的现代化、数字化、量化提供了宝贵的图像数据基础。病理诊断的现代化发展，计算机辅助诊断都离不开与病理图像相对应的一套完整的图像分析策略机制——图像算法。以下将介绍常见的标注数据种类，以及数字病理标注数据在算法构建中的应用方式。

### 1.3.1 常用标注数据的种类

常见的用于构建图像识别算法的标注数据有四类，分别为分类标注、区域标注、矩形框标注和关键点标注。

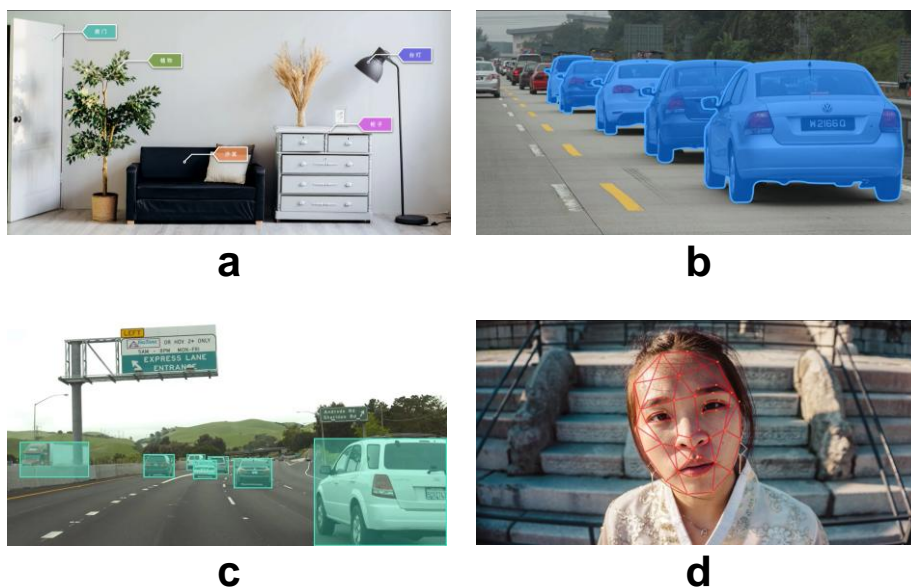


图 1-3 四种常见的图像标注数据类型<sup>[31]</sup>。(a) 分类标注。(b) 区域标注。(c) 矩形框标注。(d) 关键点标注。

Fig. 1-3 Four common data types of image annotation<sup>[31]</sup>. (a) Classification annotation. (b) Region annotation. (c) Rectangle frame annotation. (d) Key point annotation.

其中关键点标注是由一系列具有相关位置关系的点与其之间的连线组成的，常用与人脸识别、骨骼识别、姿态检测算法的构建。矩形框标注的目的是通过框选的方式将目标对象框选出来，进行定位，常用于人脸识别或行人识别。上述两种标注均不常见于病理图像。

另两类常用于病理图像的标注数据分别为分类标注和区域标注。其中分类标注

方式是根据给定图像，在有限的类别中，选择与图像内容相符合的类别标签信息。分类标注数据仅包含与图片内容相符的类别信息，不含对应的区域信息，常用于分类算法的构建。而区域标注是在给定图片中，通过对标注目标轮廓进行精确定位的方式实现的标注。区域标注含有精细的标注目标区域信息，适用于分割算法的构建。上述的分割算法与分类算法是生物医学领域，特别是数字病理图像识别中常用的两种算法。以下将介绍标注数据被应用于临床病理学中，用于构建图像识别算法，协助医生进行辅助筛查或诊断的流程。

## 1.3.2 数字病理中标注数据的应用

无论是基于传统图像处理思想还是通过应用人工智能等新技术，医学、病理学领域的图像算法构建主要路径均可概括为：特征提取、检测与分割、临床分类与分级<sup>[32]</sup>。由图片数据和与之配套的标注数据所构成的标注数据集在数字病理图像算法构建中发挥着重要作用：

在特征提取阶段，开发者根据收集的标注对象区域与类别信息，采用统一的方法对图像进行预处理和优化，并从中进行特征提取。上述提取的特征将用于算法构建。

在检测与分割阶段，开发者将预先构建的图像算法用于目标的检测和精确分割。一般流程为，先使用分类算法进行粗略判断，再使用分割算法进行精确分割。

在完成检测和分割后，将进入临床分类与分级阶段。临床病理学家或医生在完成对病理样本局部的观察后，会综合观察结果，做出临床分类与分级诊断，形成临床诊断报告。

由此可见，标注数据集将通过特征提取阶段，影响整个数字病理算法构建过程。足够数量且高质量的标注数据集是借助图像识别算法对数字病理图像进行准确检测、分割和临床分类分级的基础。

相较于一般标注数据，生物样本图像标注数据获取不同点在于图片尺寸大、分辨率高，而具有专业知识的标注人员少，这也是数字病理标注数据获取过程的难点<sup>[17, 33]</sup>。数字病理图像标注实现基础是可用于图像浏览，并支持用户标注功能的基本软件系统。而提升标注数量和质量则依赖于系统的设计与优化，提升标注人员的标注效率。下一节，将介绍图像标注数据的采集与管理工具的研究和应用现状，分析如何满足现有需求，实现数字病理图像的标注数据采集与管理。

## 1.4 图像标注采集与管理工具的国内外研究现状

为了获取图像标注数据用于后期的图像分析、识别算法构建以及智能医疗、辅助诊断等细分领域，目前主流的图像标注系统大致可分为以下两类。

### 1.4.1 通用图像标注采集和管理工具

用于获取图像标注数据的通用工具有 LabelMe、LabelImg、CrowdFlower、IAT (Image Annotation Tool)、Images Annotation Programme、RectLabel 等<sup>[34-39]</sup>。这些工具可以满足一般性的图像标注需求。借助上述工具，用户可独立获得的自己所需的标注数据，并将获得的标注数据用于传统图像识别算法、机器学习或深度卷积神经网络算法，如人脸识别、车牌识别等算法的构建、测试和优化。

上述工具具有轻量、易操作、实用性强的优点。但用于数字病理或其他生物医学领域的图像标注工具，仍存在一些不足。其一，软件性质方面，上述软件大多为网页应用或单机软件。单机软件需要独立安装，且需要如 OpenCV 等支持性库文件，给用户使用带来了一定不便。部分网页应用需要用户自行部署，不便于独立用户进行操作。而部分网页支持用户上传图片并利用网页工具进行操作，再导出所需的数据，这样增加了标注人员的工作量，也不利于用户数据管理。其二，通用的图像标注工具无法支持大尺寸、高分辨率的图像。数字病理图像的尺寸远大于一般图片，若将图片分割后再进行标注，则大大增加了数据管理的难度。其三，上述工具的图像标注方式大多比较单一、操作效率较低。上述工具大多支持矩形框和椭圆（圆形）区域标注，部分支持多边形标注，但大多操作较为复杂。通常用户在选择区域后，需要手动输入标注类别，导致操作效率不高。

### 1.4.2 生物医学领域专用标注工具

此外，为了适应生物医学领域高分辨率、大尺寸图像的标注需求，二十一世纪以来，世界范围内的科研团队根据实际需要开发了许多有关软件。

其中 Icy 和 CellProfiler 出现时期较早，经过不断发展功能也较为全面<sup>[40, 41]</sup>。他们均为开发者保留了接口，允许用户根据自身需要在原始软件基础上自定义插件。但其存在的主要问题是软件的支持图片大小仍存在限制，且均为单机软件，需要用户自行安装。另外，其功能较为完善，但操作界面也相对复杂。

后续出现的 ASAP 和 QuPath 作为单机软件，延续了对高分辨率图像的支持，并

且操作界面简洁，对用户更为友好<sup>[42, 43]</sup>。对有一定基础的开发者也保留和开放了软件接口，允许用户自定义插件。但他们作为单机软件，仍无法回避软件需要计算机内的部分库文件作为支持的缺点。

Cytomine 作为基于 Web 的病理图像标注软件，回避了传统单机软件的诸多弊端，并且引入了计算机辅助、一般用户与专家用户相区分的思想，以提高标注效率<sup>[44]</sup>。但其系统结构设置相对全面，如对一般用户与专家用户的操作界面进行了独立划分，同时提供了用户上传图片入口，支持不同语言用户等功能。同时，系统设置服务于用户讨论交流，故仅对独立用户和专家进行区分，而不区分和相互屏蔽不同来源用户间的数据，此举不利于保证标注数据批量采集时不同用户间的独立性。所以，由于软件设计出发点的不同，Cytomine 用于数字病理标注数据采集工具时仍存在一些局限。

在此基础上，SlideRunner 的开发强调了对标注数据采集过程中数据质量和采集效率的追求<sup>[17]</sup>。该软件针对多独立用户设计了“盲标注”功能，避免用户间标注结果的干扰。同时也引入了计算机算法进行辅助标注，用于提高标注采集效率。但 SlideRunner 作为单机软件，不仅依赖于多种支持库，同时对计算机运算资源有较高要求，对普通研究者或临床医生等用户使用该软件造成了不便。

针对上述已有工具存在的不足，为满足实际应用需要。本研究主要目标是设计一套基于 Web 的数字病理标注数据采集与管理系统，其具备如下特点：

- 1) 基于 Web 技术的系统实现，用户可通过主流浏览器或工具软件访问并使用本系统，完成基本的标注数据采集。
- 2) 标注数据数量的提升，通过本系统用户可在单位时间内获取更多的标注数据。
- 3) 标注数据的管理，在系统建立标注质量管理方法，保障采集的标注数据质量的稳定性。

## 1.5 主要研究内容与组织架构

本课题将针对目前数字病理图像标注数据获取中存在的单位时间内获取标注数量少、质量难以保证的现象进行分析。并根据实际应用需要设计、实现一套轻量的基于 Web 的数字病理标注数据采集与管理系统，以满足大数量、高质量数字病理标注数据的采集目标。

本研究的主要内容和结构如下：



# 华中科技大学硕士学位论文

---

第一章为绪论，首先介绍数字病理的研究背景与意义，说明数字病理的重要作用以及应用需求。紧接着介绍了宫颈细胞学检查与数字病理应用关系。下一节中主要介绍了数字病理标注数据的应用方式以及常用的标注数据类型，并阐述了国内外已有的标注工具，其中既包含通用的图像标注工具，也包含服务于生物医学领域研究的专用标注工具。但现有标注数据采集软件仍存在问题，如兼容性较差、对计算机硬件配置、计算资源有较高要求等，难以满足实际需求。因此本研究目标是设计并实现一套基于 Web 的数字病理标注数据采集与管理系统和配套的高效获取标注数据的方法。第四小节内容为本系统构建中使用的图片类型及其应用种类的介绍。

第二章为个人电脑端系统分析与设计，主要分为系统总体分析、系统结构设计、系统客户端功能设计、系统辅助策略设计、数据库设计五个部分。本章节明确了系统设计的主要方向是在实现对病理图像的显示和基本标注数据操作的前提下，通过功能和辅助策略设计减少获取单个标注所用时间，并保障标注质量。

第三章内容为个人电脑端系统功能实现与测试，主要包含系统客户端功能实现、系统辅助策略实现、系统测试三个部分。前两节主要介绍了系统方案客户端功能与系统辅助策略的实现方法和具体技术细节。系统测试小节中包含了系统客户端功能测试以及系统综合应用测试。系统综合应用测试结果显示，系统的实现可以一定程度上缩短用户的单位标注时间，提高单位时间内用户采集标注数据的数量。同时，系统中辅助策略的应用对采集的标注数据质量和数量的提升体现了积极作用。

第四章为移动端系统设计与实现。由于第二章与第三章中设计并实现的系统主要立足于个人电脑端用户的使用习惯与需求，而无法在移动端获得良好的用户体验。故本章节对移动端系统方案重新进行了分析与设计，并实现了基于微信小程序的数字病理分类标注数据采集系统。最后，邀请 6 位用户对移动端系统的功能进行了一组分类标注数据采集测试，测试结果表明用户标注水平可通过系统进行区分，也验证了系统内辅助策略应用具有探索和实践意义。

第五章内容为本研究内容的总结与展望。本章首节对本研究内容进行了回顾，在随后一节中对系统不足进行了分析，并讨论了后续工作的目标。

## 2 个人电脑端标注数据采集与管理系统的分析与设计

本章内容包含数字病理标注数据采集系统的方案设计，主要包含系统总体分析、总体结构设计、客户端功能设计、辅助策略设计以及数据库设计。

系统总体设计主要包含需求分析、系统功能分析、系统内辅助策略分析和相关技术分析。其中需求分析与系统功能分析是对系统主要需求和核心功能的归纳。系统内辅助策略是指以提高用户使用效率、标注获取速度与质量为目的，在上述核心功能基础上为辅助和优化系统功能进行的内部设计。相关技术分析介绍了系统中选择和应用的有关技术。

系统总体结构设计包含客户端、网络服务器、数据存储模块与 GPU 服务器在内的四个部分。其中客户端部分直接面向用户，并与后端网络服务器间进行数据交互。客户端外的各部分结构不提供面向用户的操作接口，但彼此协作共同实现系统的总体功能。

系统的客户端功能设计包含数据显示与浏览功能、修改与标注操作功能、快捷键辅助功能和系统的主要交互操作设计总结。数据显示与浏览功能旨在为用户提供高分辨率图片、标注数据、相关信息的浏览和展示。修改与标注操作功能涉及用户对原有图像信息、标注信息的增加、删除和修改操作。主要交互操作设计总结是对上述所有用户操作与系统响应的逐项总结。

管理策略设计是指基于系统基础结构，服务于系统功能与研究目标，与已有同类系统存在一定区别的特殊设计部分。本系统中所包含的辅助管理策略主要有：一对多样本数据管理、多层级用户管理和计算机辅助数据管理。一对多样本数据管理是指同一样本数据被不同用户浏览和修改时，系统为不同的多位用户匹配独立的并与其对应的数据的策略。多层级用户管理指的是指系统根据用户专业知识的掌握程度、使用系统的期限长短等因素，为用户分配一定的层级的策略。计算机辅助数据管理是指基于人工标注数据和预设的特定算法，利用计算机批量产生标注数据的策略。

数据库与数据存储格式设计部分介绍了系统结构中数据存储部分的数据库组成结构，并描述了系统中核心图像数据与标注数据的存储格式。

## 2.1 个人电脑端系统总体分析

系统总体分析包含系统需求分析、系统功能分析、系统管理策略和相关技术的分析和整理。系统各功能是系统运行和用户使用的基础，系统管理策略是在系统基础功能上的优化和提升，相关技术分析介绍了系统中应用的有关技术。

### 2.1.1 需求分析

本系统的核心目标是实现对数字病理标注数据的高效率高质量采集。因而系统的主要需求是完成基本的数字病理图像标注数据采集工作，并进一步提高获取标注数据的数量和质量。

首先，数字病理标注数据的基础是图像。因而对图像与其附加信息的浏览与观察是用户进行标注工作的基础。在用户完成对图片的充分观察后，将根据图像信息完成对已有标注数据的类别修改、审核确认、删除，或增添新的标注数据。此外，用户也可以根据需要进行修改或完善整幅图片的附加信息。

另外，需要提高获取标注数据的数量和质量。单位时间内，影响标注数据数量的主要因素主要是获取单个标注数据的时间。将获取单个标注数据所需时间记为单位标注时间，并将其定义为一定时间内采集多个标注数据过程中，获取单个标注数据所用的平均时间。单位标注时间可分为两部分：用户操作时间与标注间跳转所用时间。用户操作时间是指用户完成某一区域标注从开始到结束的全部时间，用户在此时间内完成分类信息和区域信息（仅适用于区域标注）的选定与提交。标注间跳转时间指用户在结束上一标注操作后，跳转至下一标注区域，开始下一个标注操作时的间隔时间。影响标注间跳转时间的因素主要有标注搜索方式、类别判断时间。标注搜索方式可理解为用户在待标注图像区域进行浏览、选择特定标注区域的模式标准，如当要求用户以“不遗漏”的方式进行特定类别数据的区域标注时，对比允许用户以“有遗漏”方式进行标注的条件，前者要求用户对所有可能的目标进行筛选预判，并排除非目标类别区域，而后者可能仅关注特征明显的待标注类别图像区域而忽略其他多数区域，因而前者在标注间跳转所花费的时间可能更短。类别判断时间是指操作者对可能的标注区域类别进行判别，将图像与类别标签进行对应的过程。影响类别判断时间的因素包括用户对目标类别的熟悉程度和目标的分类难度。

数字病理中衡量标注数据的质量的主要指标有两个：数据类别准确性和标注轮廓与目标真实轮廓的相似程度。后者一般可通过预先设定的计算机程序进行批量处

理和改善，使之符合标注数据在后期应用的需要。故标注数据中类别信息的准确性是界定其质量的重要指标。虽然标注类别准确性主要取决于用户的分类能力，但系统可以通过对独立用户标注分类准确性的统计分析，实现对不同用户来源标注数据准确性、置信度的控制，以提高整体数据质量。

综合上述分析，在进行系统设计时，可以通过以下途径提高单位时间内获取标注数据的数量和质量：

- 1) 简化用户操作，通过减少用户操作时间降低单位标注时间，扩大数据数量。
- 2) 优化用户的标注搜索方式，减少用户在标注间跳转所花费的时间，缩短单位标注时间，扩大数据数量。
- 3) 控制待标注区域的总体分类难度，避免类别判断时间过长，从而缩短单位标注时间，扩大数据数量。
- 4) 统计分析不同用户来源标注数据的准确性，整体把控标注数据的准确性与置信度，提升标注数据质量。

## 2.1.2 系统功能分析

结合上一节中对系统需求的分析，可以确定系统主要实现的功能有：图像与标注数据的显示与浏览功能、修改与标注功能、快捷键辅助功能。具体的功能分析与细节展示如下图 2-1：

1) 浏览与展示功能：指包含图像数据与标注数据在内的数据展示功能。用户在进行标注工作前，首先需要对图像进行浏览，且用户可浏览的样本图像不唯一，因而用户可在多个样本图像间根据需要进行切换。同时，数字病理图像尺寸大、分辨率高，单图所包含像素数量级可达  $10^{10}$  甚至更高，所以图像显示功能应支持图像的自由缩放与拖拽。同时，系统应支持基于原始图像的标注数据展示，包括标注轮廓或区域信息跟随图像移动和缩放，类别信息以文字等形式无偏差的展示。

2) 修改与标注操作功能：指用户对图片附加信息的修改，以及用户进行的与标注数据相关的操作。用户常见的标注操作包含对已存在标注数据对应类别信息的修改操作、删除操作、删除后恢复操作，以及新增的标注数据。

3) 快捷键辅助功能：指为用户在系统中使用频率较高的功能设计对应的快捷操作方式，以简化用户操作。在用户浏览显示的图像以及标注数据时，控制图像移动和标注间切换是用户使用频率较高的操作。而在用户使用系统进行标注操作时，会

频繁新增标注或修改、删除、确认已有标注数据。

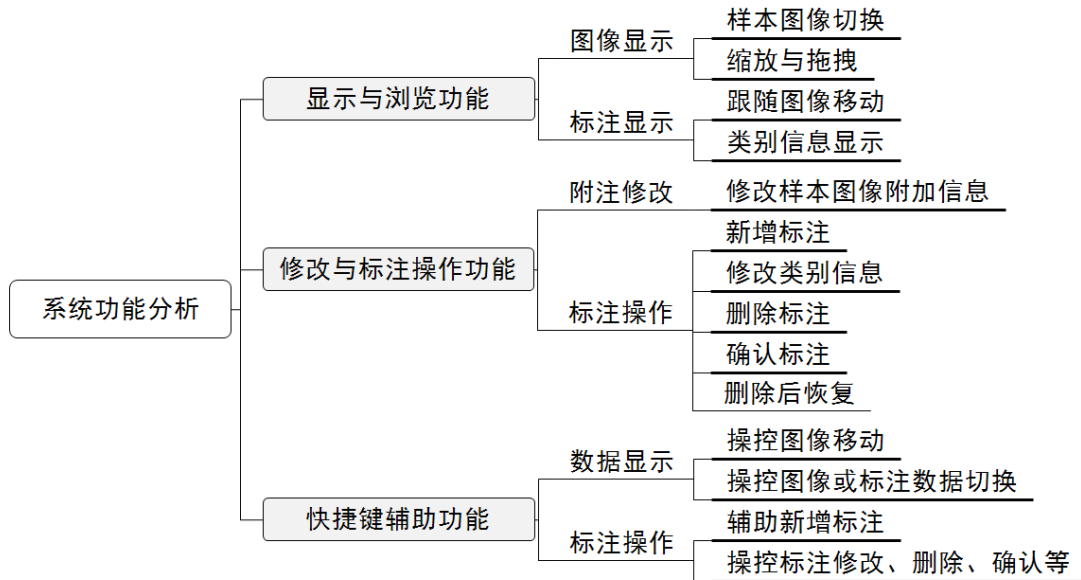


图 2-1 系统功能需求分析示意图

Fig. 2-1 Schematic diagram of system functional requirements analysis

以上主要对系统基本功能进行了分析和展开，浏览与展示功能、修改与标注操作功能是数字病理标注数据采集系统的核心功能。快捷键辅助功能是对上述核心功能的加强和优化，用于简化用户操作、提升获取标注数据的数量和质量。

### 2.1.3 系统内管理策略分析

根据 2.1.1 系统需求分析中的内容，在进行系统结构设计前，应根据系统基本功能，确立系统内的管理策略。管理策略的分析，是以系统功能为依据，以系统总体目标和定位为导向，针对系统内部结构的组织和调整。具体的赋值策略分析如下：

1) 样本数据独立管理：在系统使用中，一个用户可能接触多个待标注的图像数据，并且相同的待标注图像数据也可能同时分配给多位用户进行审核与修改。因而，同一样本图像数据与不同用户的标注数据间存在一对多关系，而用户与样本图像数据间存在多对多的关系。在设计数据管理方式时，就应当考虑对不同用户来源的数据进行有效区分和记录，使不同用户间数据展示与存储相对独立。

2) 用户间区分管理：在完成统一的标注数据采集任务中，因专业知识的掌握与经验的积累程度的差异，不同用户的标注数据质量存在不同，并会直接影响总体数



据质量。故需要根据不同用户的标注数据质量评估结果，对相应的用户进行层级区分和管理，为标注数据质量统筹管理提供有效途径。例如在系统中根据用户层级分配不同标注难度的数据，或将较低层级用户的标注数据交由高层级用户进行审核与修改。

3) 计算机辅助管理：因图像数据与标注数据的信息量大，常规人工管理耗时耗力。利用计算机丰富的计算资源并结合人工预设的程序，可协助管理员进行数据批量管理，节约标注数据应用与管理过程的成本。

## 2.1.4 相关技术介绍

### (1) 浏览器/服务器结构与单页面应用

#### ① 浏览器/服务器结构

为实现系统数据可远程共享、易于使用的系统特性，利用 Web 前后端分离的特点，本系统可将客户端定位为网页应用，并采用浏览器/服务器 (B/S, browser/server) 结构提供完整的后端资源支持。

与 B/S 结构相对应的是客户端/服务器 (C/S, client/server) 结构。C/S 结构具有交互性好，安全性高的优点。但相较于 B/S 结构的系统，C/S 结构应用客户端的开发和维护过程周期长、成本高、可移植性差。而依赖于浏览器运行的 B/S 结构系统因其开发维护成本低、可移植性强、无需安装额外的应用而受到了开发者和用户青睐。

#### ② 单页面应用

因系统中存在大量的功能交互，因而前端研发适宜选用单页面应用 (SPA, single-page application)。SPA 技术的优势在于前端与后端相对分离，在页面首次完成加载后，页面中不同部分内容可以根据用户数据请求单独进行更新和加载。SPA 中大量应用 Ajax (asynchronous JavaScript and XML) 技术请求后端数据，节省了带宽，并且加快页面响应速度。同时，SPA 将传统 Web 应用中放在后端进行的逻辑运算转移到了前端，减轻后端负担的同时降低了前后端的耦合，利于开发、测试以及跨平台应用的建设<sup>[45]</sup>。

### (2) 系统架构

系统构架是指一组支撑网站或服务器运行的软件组合，本系统中使用的是 LAMJ (Linux、Apache、MySQL、JSP/Servlet) 架构。LAMJ 是在主流 LAMP (Linux、Apache、MySQL、PHP) 架构的基础上，使用 JSP/Servlet 替代 PHP 所得的架构。

其中 Linux 是流行的免费开源服务器操作系统，因其内核高效稳定、安全可靠，而成为中小型企业及个人开发的首选服务器操作系统。

使用 Apache 作为 Web 服务器软件，并加入 Tomcat 作为应用服务器软件，前者主要用于处理静态请求，后者用于处理动态请求。虽然 Tomcat 也可以作为独立的 Web 服务器软件，但因 Tomcat 在处理静态页面时速度劣于 Apache，故将两者组合使用有助于减轻应用服务器软件的运行压力，提升系统稳定性。并且 Tomcat 对 Servlet 有全面的支持。

Servlet 技术是对通过编写 Java 类实现 Servlet 接口、应用 Java Servlet 应用程序编程接口（API，application programming interface），并将该 Java 类部署至 Web 服务器，用于 Web 数据的动态生成与网页响应的程序的代称。Servlet 技术继承了 Java 的优势，具有功能强大、高效易用的优势。JSP（Java Server Pages）被称为 Java 页面服务器，是一种简化的 Servlet 设计。使用该技术替代 PHP 作为架构的脚本语言，虽然开发成本有所增加，但其安全性、运行效率更佳，可移植性与可扩展性也更优。

MySQL 是使用 SQL 语言的关系型数据库管理系统，被广泛用于 Web 应用，特别是中小型网站的数据库开发，具有体积小、速度快、成本低的优点。同时 MySQL 可以支持包含 Linux、Windows 和 Mac OS 在内的主流操作系统，利于跨平台数据管理与应用。

### （3）前端技术应用

#### ① jQuery 框架

前端显示和业务功能的实现主要依赖 HTML 文件（Hypertext Markup Language）、CSS（Cascading Style Sheets）文件和 JavaScript 脚本文件。其中 HTML 决定网页的结构与内容，CSS 决定网页的样式即表现形式，而 JS 控制网页的行为与响应。在网页应用中，JavaScript 负责对浏览器事件作出响应、读写 HTML 元素、对提交至服务器的数据进行验证等工作。

采用 jQuery 框架封装了 JavaScript 的常用功能代码，提供了较原生 JavaScript 更为简便的设计模式，极大地简化了开发中常用的 HTML 文档操作、Ajax 请求与响应、浏览器事件处理等功能代码。同时，经过长时间的积累，jQuery 拥有丰富、开源的控件（插件）资源，满足不同开发者的需要。

#### ② Deep Zoom 技术与 OpenSeadragon 图片控件

对于大尺寸、高分辨率图像的网页显示，一般采用 Deep Zoom 技术对原始图像

数据进行处理和分级存储,应用这种技术进行存储所获得的图片格式通常被称为 DZI (Deep Zoom image) 格式。DZI 格式的原理是将原始图片按一定缩放等级依次生成对应比例图片,并将各级别图片按坐标裁剪为一系列小尺寸的图块,按一定次序进行命名并以 PNG 或 JPEG 格式进行存储。当用户定位到特定缩放等级、特定坐标位置时,只需根据索引显示预先处理好的部分图块,以此极大地提高了大尺寸图片的展示效率。此外,使用特定软件或插件,几乎可将所有常见格式的大尺寸图像转换为 DZI 格式,这使得利用 DZI 进行大尺寸图像展示在各领域获得广泛应用<sup>[46]</sup>。

在网页应用中使用开源免费的 OpenSeadragon 图像控件可实现对 DZI 格式的支持,完成图像基础显示功能。该控件为基于 JavaScript 的、开源、适配不同设备的图像浏览引擎。其支持包含 DZI 格式、普通格式以及瓦片地图格式 (tiled web map) 等在内的多种图像格式。此外,该控件具有完善的自定义功能以及丰富的 API,以供开发者进行二次开发。

## 2.2 个人电脑端系统总体结构设计

数字病理标注数据采集系统的构架如图 2-2 所示,虚线框内为系统总体结构。系统的主要组成模块包括客户端、网络服务器、数据存储模块、GPU 服务器。系统各组成部分相互协作,并通过基于网页的客户端与用户进行交互。

客户端以网页形式面向用户提供用户界面与系统的主要功能。客户端的载体为通用 Web 浏览器,无需用户安装特定的软件或支持性组件,使用主流浏览器即可使用该系统进行标注数据采集工作。

网络服务器是系统内部信息的交流和控制中心。它在系统中负责接收来自客户端的请求信息、处理内部业务逻辑、与数据存储模块和 GPU 服务器进行数据交互、向客户端发送响应请求的数据。

数据存储部分负责系统中大量图像数据存储与标注数据备份,依托第三方平台的服务,为网络服务器与 GPU 服务器的运行提供稳定的数据支持。因系统中的图像数据占用存储空间较大,故系统中的数据存储部分实际上由来自亚马逊公司的关系数据库系统 (Amazon RDS, Amazon Relational Database Service) 与简单存储服务 (Amazon S3, Amazon Simple Storage Service) 共同组成。其中 RDS 保存数据的相对路径,该路径指向 S3 中的存储空间。当服务器请求数据时,先通过 RDS 获得相对路径,再利用 S3 的 Web 接口请求目标数据。



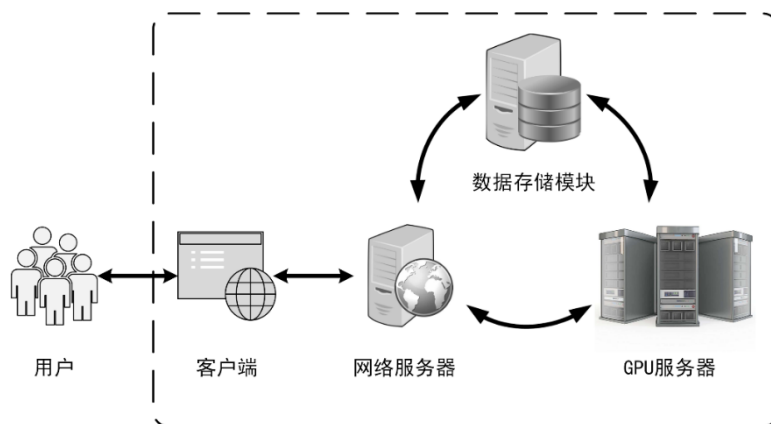


图 2-2 基于 Web 的数字病理标注数据采集与管理系统结构图

Fig. 2-2 Structure diagram of digital pathology annotation data acquisition system based on Web

GPU 服务器为系统提供计算资源保障，这些计算资源将被系统中预设的程序调用，用于管理数据库中的标注数据与图像数据、辅助更新优化标注数据、提升数据质量。

参考 2.1 系统总体分析与本节中的论述，本系统的设计内容可分为前端，即系统客户端的功能设计、后端应用服务器中系统管理策略设计和数据存储模块设计。

## 2.3 个人电脑端系统客户端功能设计

本节内容主要介绍系统客户端的功能设计，其中包含数据显示与浏览功能、修改与标注功能和快捷键辅助功能。在本节最后，将对客户端中的用户交互操作进行总结。

### 2.3.1 数据显示与浏览功能设计

显示与浏览功能是数字病理标注数据采集系统的核心功能，主要包含图像显示功能、标注显示功能与其他辅助应用功能。

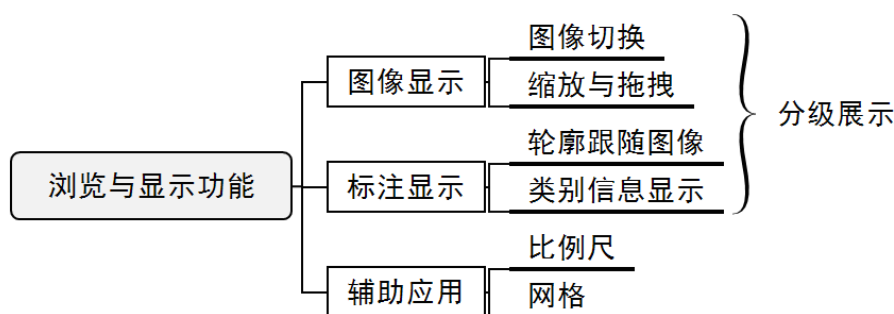


图 2-3 显示与浏览功能示意图

Fig. 2-3 Schematic diagram of the display and browse function

首先，图像显示功能是所有标注数据采集系统的基础。当系统需要存放和显示较多数量的图像样本时，为了便于用户在样本间查找、浏览和切换，通用的做法是对样本进行分级展示，用户根据需要逐级选择图片或在图片中切换。而相比一般图像，数字病理图像具有大尺寸、高分辨率的特点，故图像需根据用户需要自由缩放与移动。

病理图像的存储大小在数百 MB 至若干 GB，若通过网络一次性进行加载，数据量过大、加载时间也过长，用于网页应用显然不合理。为应对这种场景，系统中采用 Deep Zoom 技术对原始图像数据进行处理和分级存储，保存为 DZI 格式。并在网页应用中使用开源免费的 OpenSeadragon 控件实现对 DZI 格式的支持，完成图像基础显示功能。

其二，标注显示功能是标注数据采集系统的核心功能。系统在支持图片显示的基础上，应保证相应标注数据的显示。标注数据所需显示的内容包含标注的区域（轮廓）信息与分类信息。在图片缩放、移动的过程中，标注数据的轮廓信息也应跟随图像移动和缩放，并显示与其对应的分类信息。轮廓信息在网页应用中可抽象为可缩放矢量图形（SVG，Scalable Vector Graphics），而在 OpenSeadragon 控件显示图像的基础上，可通过新建图层，使用数据驱动文档（D3，Data-Driven Documents）控件实现 SVG 的显示。D3 是应用于网页开发的数据可视化 JavaScript 类库，内容丰富且功能强大。而分类信息通常可以文字、SVG 对应的颜色等形式进行展示，其中文字信息的展示形式既包含常见列表形式，也包含在图像上与标注的轮廓信息同步显示的形式。

其三，辅助应用是主要功能外，在客户端设计中对总体显示功能的必要补充。参考常规数字病理图像的浏览需求，需根据图像设置对应的比例尺，以使用户了解

图像中展示信息的实际尺寸。基于 OpenSeadragon 对图像显示的支持，在图片显示区域新建对应图层，显示比例尺，并确保比例尺在图像缩放时更新。另一个补充功能是图像中辅助网格线的展示，由于图像尺寸较大，用户在浏览时往往需要借助网格线进行相对定位。与比例尺功能类似，在图片显示的基础上，新建图层放置网格线即可。同时创建对应功能按钮，可控制网格线的隐藏及启用。

在上面三个功能的基础上，由于用户可操作的样本图像数据数量较多，而单个样本图像中的标注数量可能成百上千。故需要对图像数据与标注数据采用“分级展示”的策略，如图 2-4 所示，系统中设计了四个等级。

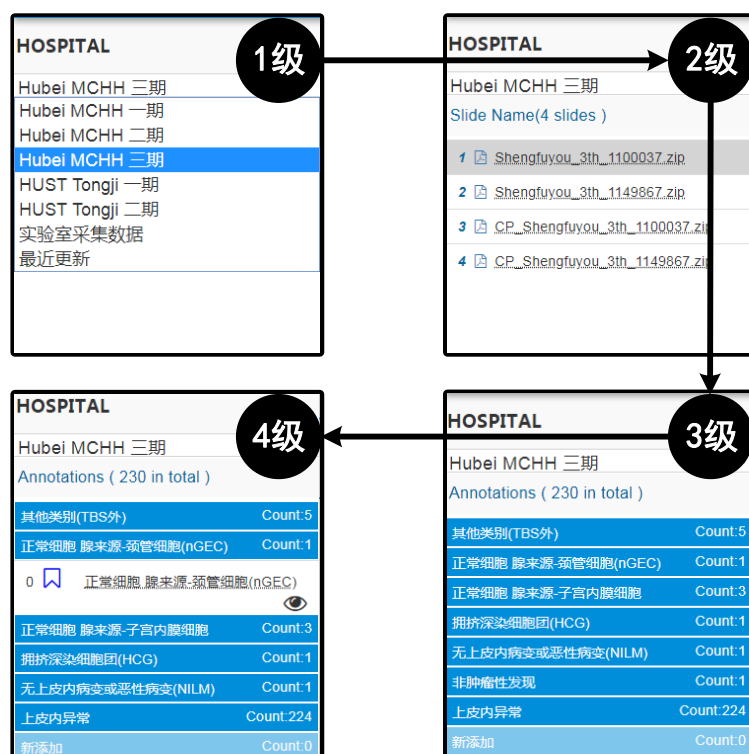


图 2-4 图像与标注数据分级显示图

Fig. 2-4 Diagram of hierarchical display for image and annotation data

第一级和第二级是在样本图像级别的划分。在第一级入口设计下拉框，样本图像根据项目或图像样本来源，例如所属的医疗机构进行归类。用户在选择特定分类后，进入第二级。第二级为单列的样本图像名称，用户可单击选择某一图像。完成图像选择后，图像名称列表自动隐藏，原始位置将显示图像中所包含的所有标注数据类别，此为第三级显示内容。用户单击第三级类别信息后，列表展开，可到达第

四级，即单个标注。当用户再次单击展开的类别列表标题时，列表收起，所包含的单个标注数据隐藏。用户点击单个标注后，图像展示区可定位至标注所在区域图像，完成标注展示。因第一级和第二级使用频率较低，且图像展示所需区域较大，故设计页面左侧栏用于分级显示，既保证标注列表显示与图像同步，也不占用过多空间。

上述分级展示模式不仅利于用户操作、明确图像类别、图像和对应标注的关系，也可用于标志和加载与图像种类相对应的标注分类目录文件。

### 2.3.2 修改与标注操作功能设计

系统中的修改与标注功能可分为“附注修改”和“标注操作”两部分。用户使用上述功能时，其操作内容会被经由应用服务器并最终被数据存储模块记录。

“附注修改”功能是指对样本图像相应的附注数据进行修改的功能。其中“附注”是针对某一用户及单个样本图像独立存在的数据，用于描述和记录与样本图像相关的信息，如对样本图像整体的概括性、结论性或诊断性的描述。系统在此处设计相应接口，保证用户可查看和修改样本图像的“附注”。

“标注操作”是指用户在单个标注层面可进行的各类操作的总称。其中包含用户新增标注数据、删除已有的标注、修改已有标注数据的类别信息以及审核确认已有的标注数据。以上四种操作可简称为对标注数据的“增”、“删”、“改”和“确认”。用户新增标注数据时，需在图像上添加由 SVG 代表的区域轮廓信息和对应的类别信息。删除操作允许用户将不合适的标注从标注数据集中删除，并在显示方式上与其他未删除的标注有所区分。确认操作是指用户对系统中已有标注进行审核并认可的“一键式”操作，用户无需主动提供区域信息或分类信息，只需对已有标注信息做出判断。类别修改操作是指用户只对已有标注的类别信息进行修改，但不改变区域轮廓信息的操作。

### 2.3.3 快捷键辅助功能设计

快捷键辅助功能是通过为系统中用户使用频率较高的功能设计对应的快捷操作方式的途径，节省用户的操作时间或减轻用户操作时的疲劳感，以提升用户的系统使用效率。

在“数据显示”相关的操作中，浏览图片内容时控制图片的平移是用户使用较为频繁的操作。用户通常会优先选定合适的放大倍率，然后使用固定放大倍率快速浏览图像内容。通常使用鼠标需要进行反复拖拽，且很难保持鼠标移动方向完全水

平或竖直，故设计相应的键盘按键操作非常必要。同理，在浏览标注数据时，用户若在图像中手动拖拽查找，或使用鼠标依次点击标注列表进行切换，不仅易产生疲劳感，更容易遗漏个别标注。因而，设计指定的键盘按键作为系统中标注浏览的快捷方式，对于用户遍历标注数据十分实用。

在“标注数据”时，用户还会频繁地进行标注的新增、修改、删除、确认操作。在上述操作中，用户需将鼠标移动到图片中待操作标注区域附近，选中标注后再进行操作，鼠标移动的路径长，易使用户产生疲劳感。虽然新增标注时，鼠标拖拽创建 SVG 的过程无法完全由键盘替代，但为上述操作设计对应的键盘快捷键可以减少用户操作时鼠标移动的路径长，且加入键盘快捷键后可以利用非优势手操作，节约用户操作时间。

#### 2.3.4 系统客户端交互操作设计总结

综合上述客户端功能设计，系统客户端中的用户交互接口设计如下：

- 1) 通过下拉框分类筛选不同类别的图片集合。
- 2) 通过点击图片列表中的图片名称，选择加载的图像和对应的附注信息、标注信息。
- 3) 通过点击标注数据的分类，展开或隐藏对应类别下的所有标注数据。
- 4) 通过鼠标悬停、键盘快捷键点击选中标注数据列表中的单个标注，查看标注的图像展示区域自动定位并显示选中标注处图像和标注。
- 5) 通过在图像区使用鼠标单击、滑动鼠标滚轮或单击界面特定按键，可调节图像展示区的图像缩放比例。
- 6) 通过在图像区使用鼠标拖拽，或特定键盘快捷键，可控制图像展示区域内的图像移动。
- 7) 通过单击界面的特定按键，控制图像显示区内辅助网格的显示或隐藏。
- 8) 通过使用鼠标或键盘快捷键在图片显示区，或在标注列表区选中已有标注，对标注进行类别修改、删除或确认操作。
- 9) 通过鼠标单击界面内特定按键，在图像展示区域内增添新的标注。
- 10) 通过鼠标点击界面内附注信息修改按键，修改图像的附注信息。
- 11) 左侧栏列表显示标注数据时，通过单击下方返回按键，系统将切换显示图像列表信息。

根据 2.2 节中的客户端功能设计内容，系统客户端界面基本设计如图 2-5 所示。

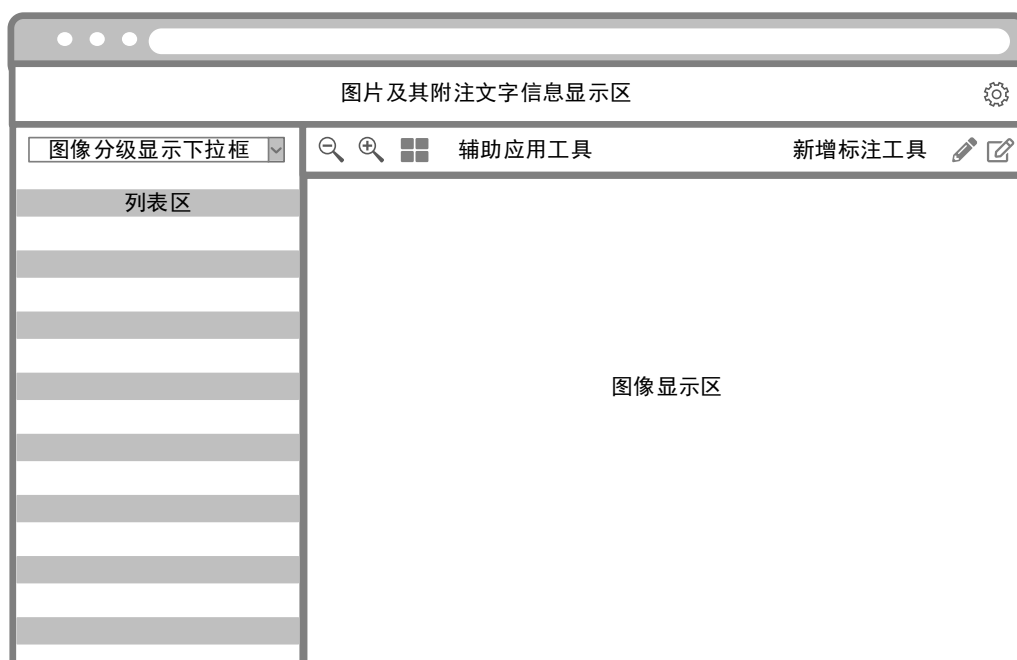


图 2-5 客户端页面线框图

Fig. 2-5 Wireframe of the client page

## 2.4 个人电脑端系统管理策略设计

系统内管理策略设计，是基于系统内管理策略分析，在系统客户端功能的基础上，对系统中非客户端部分的主要内容设计。本节主要介绍系统内的三项管理策略的设计：一对多的样本数据管理、多层次用户管理和计算机辅助数据管理。

### 2.4.1 一对多样本数据管理设计

传统图像浏览类系统中的图像数据与用户间存在着“多对多”的关系，即一张图片也可分配至多位用户，一位用户可浏览多张图片，且系统只涉及对图像数据的读取操作，不涉及对数据的修改。系统中的图像标注功能同时涉及对数据的读和写，使数据管理难度增大。

常见的具有图像标注采集功能的单机软件中，用户可以自定义标注数据文件名称，后期再人工汇总，但这样加大了标注数据管理难度；而有的系统中标注数据与图像保持一对一关系，各用户均对同一标注数据进行操作，难以保证用户操作的独立性，降低了数据的可靠性。因而系统的标注数据管理设计非常重要，既要保证各



用户的标注数据保持独立、不相互混杂，也要支持对同一图像多用户标注数据的横向对比。

系统中标注数据的管理重点在于，对于同一样本，不同的用户标注数据单独存储，系统中的图像数据与标注数据间关系为“一对多”。同时，标注数据文件的命名规范统一，应用服务器中预设的程序可对来自不同用户对同一图像样本的标注数据进行对比分析，批量投入后续应用。

## 2.4.2 多层次用户管理设计

如系统管理策略分析中所述的各种原因，系统中不同用户的标注数据质量存在差异。为了提升系统中的标注数据总体质量，就需要对系统中不同用户标注数据的质量进行评估，并为不同水平用户指定不同的层级，对其进行管理。可认为采集标注数据质量较高的用户为高级别用户，而采集标注数据质量较低的用户为较低级别用户。

用户层级可影响系统内待标注图像、标注数据的分配。在分配待标注图像、标注数据时，系统将标注难度较低、置信度较高的标注数据分配给较低级别用户，而将标注难度较高、置信度较低的标注数据分配给高级别用户。

同时，不同级别用户的标注数据拥有不同的置信度，高级别用户的标注数据的置信度更高。即当不同用户对同一图像区域内标注的类别信息存在分歧，系统程序进行数据分析时，将优先考虑较高级别用户提供的类别信息。可认为，系统对数据进行综合判断时，高级别用户提供数据所占“权重”更大。

另外，高级别用户可审核、批改同组内低级别用户的标注数据。为了提高标注数据的质量，后台管理员可将用户编为不同小组。同小组内，高级别用户可查看低级别用户的标注数据，并对该数据进行审核确认与修改。经过多人标注并审核的标注数据质量会得到提升，同时系统也将记录被修改的“困难”标注，用于计算机图像识别算法的优化与更新。

## 2.4.3 计算机辅助数据管理设计

标注数据采集的主要目标是构建图像识别算法与计算机辅助判读、诊断系统。而标注采集中本身存在较多的重复工作，如画出待标注图像区域轮廓、选择标注数据所述类别等。使用计算机辅助进行数据管理、筛选，不仅能减轻标注人员的工作压力，还可以将上述目标算法应用至标注采集阶段，实现算法构建与标注采集间的

反馈。

计算机辅助数据管理的任务之一是计算机辅助标注数据的生成。根据预设的程序，应用图像识别算法在待标注图像上生成标注数据，并经过算法筛选后，供用户审核确认，或修改、删除。以此可以将用户创建标注的操作转化为审核确认、删除或修改类别操作，减少用户单位操作时间，提高标注效率。

计算机辅助数据管理的任务二是对标注数据的审核管理。标注数据质直接影响后期构建算法的质量。为了控制数据质量，常见的方法是人工进行数据“清洗”。人工进行数据管理耗时耗力，且受到管理者的主观影响程度大，无法保证判断标准完全一致。利用计算机进行数据审核管理，筛选出置信度较高的数据，而无需管理者对数据进行逐一审核。此外，结合多级别用户管理策略，计算机辅助标注数据生成策略，可将计算机无法判断的数据转由人工审核，从而降低人工审核、筛选的数据数量，提高数据采集效率。

## 2.5 个人电脑端数据库与数据存储格式设计

### 2.5.1 数据库设计

根据自底向上的数据库设计方法，数据库的设计首先要确立实体模型，建立相应的实体。本系统中主要含有用户实体、图像实体、标注记录文件实体。

根据 2.4 节中的系统管理策略设计内容，上述实体种类确立实体之间的关系如下所述。每位用户对应一个用户实体，每个图像数据的信息对应系统中的图像实体。系统中每个标注记录文件实体对应的是特定用户对特定图片进行标注操作所产生数据的记录。

依据上述分析，建立全局 E-R 图（Entity Relationship Diagram，实体关系图）如图 2-6 所示。



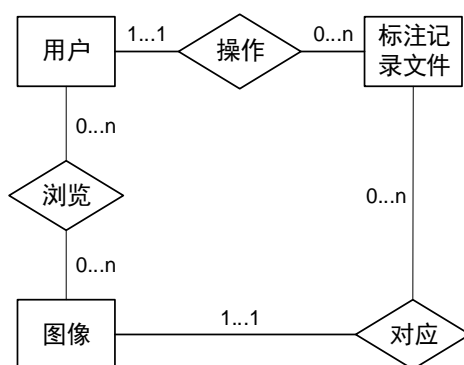


图 2-6 系统数据库全局 E-R 图

Fig. 2-6 E-R diagram of system global database

数据库内对每个实体的属性定义如下所示。

- 1) 用户（用户 ID，用户名，密码，邮箱，权限代码，权限范围，组长信息，水平分）
- 2) 图像（图像 ID，一级入口类别，原始文件路径，图像名称，DZI 文件路径，更新时间，图像处理状态）
- 3) 标注记录文件（标注文件 ID，图像 ID，用户 ID，文件路径，文件名）

依据上述分析，系统数据库中设计了用户表、图像表和标注记录文件表。上述三张表并不直接存储系统的核心图像数据与标注数据，而是为系统获取这些数据提供相应的路径。

## 2.5.2 数据存储格式设计

由 2.3 节客户端功能设计内容可知，系统中用于支持高分辨率图像数据在客户端工具上进行显示的格式为 DZI 格式。故系统中图像数据的目标格式为 DZI 格式。对不同原始格式的图像数据，系统需要先将他们上传至数据存储模块中，并对其进行处理，使之转化为 DZI 格式。在这一过程中，原始图像的存储路径和 DZI 格式文件的路径都将以字符串形式记录于图像表中。图像表中数据在对应图像开始上传时即被创建，其中图像处理状态属性是用于表征该数据在上传、格式转化过程中所处的状态的标识。系统管理者可通过更新时间与图像处理状态两个属性，监测图像上传与格式转化的进度。

另外，参考 2.4 中系统管理策略设计，系统中用户标注记录文件的存储格式为可扩展标记语言（XML，Extensible Markup Language）格式。XML 格式不仅适用于开发者进行标记数据、定义数据类型，还非常适合万维网传输，因而可作为独立于应

用程序的结构化数据存储形式<sup>[47]</sup>。系统中，特定用户对某一图片的标注数据均将单个 XML 文件的形式进行读写。该文件路径、名称、对应用户与图像信息将被对立存储于数据库的标注记录文件表内。

## 2.6 本章小结

本章系统方案设计，从系统总体分析、系统总体结构设计、系统客户端功能设计、系统管理策略设计和数据库与数据存储格式设计五个方面进行了阐述。首先，系统总体分析中，包含了系统的需求分析、功能分析、管理策略分析与相关技术分析。随后，系统结构设计部分明确了系统的主要组成部分有：客户端、应用服务器、数据存储模块与 GPU 服务器。下一部分，系统客户端设计围绕着系统客户端的两个主要功能：数据显示与浏览功能和修改与标注功能展开讨论，再在两者基础上设计了快捷键辅助功能，并对客户端中的交互操作设计进行了总结。紧接着，本节介绍了系统的管理策略设计，包含一对多样本数据管理、多层级用户管理以及计算机辅助管理三个主要策略。最后，本节介绍了系统中的数据库设计。

## 3 个人电脑端标注数据采集与管理系统实现和测试

本章将在系统方案设计的基础上，展示系统各部分的实现方式，并对系统客户端功能和综合性能进行测试。

### 3.1 个人电脑端系统客户端功能实现

#### 3.1.1 数据显示与浏览功能实现

##### (1) 标注显示功能的实现

用户在登录系统后的用户操作与图像加载的时序如下图 3-1 所示，其中客户端请求均为 Ajax 形式。用户在登录系统后，客户端主页面进行加载，默认选中并向服务器请求图像类别列表（即 2.3.1 中所述一级菜单）中的第一项，客户端接收服务器返回的对应分类下的图像信息，并更新图像名称列表区域（2.3.1 中所述二级菜单）的显示内容。此时客户端默认向服务器请求图像名称列表区域的第一项样本图像信息和对应的标注数据，在接收到返回的数据后，图像展示区将显示对应的图像信息和标注轮廓。同时，标注数据也将以列表的形式，按照分类在左侧栏显示。若用户在浏览及操作时主动更改图像类别列表或图像名称列表中的选中项，客户端也将重新根据用户操作，向服务器请求相应的数据。

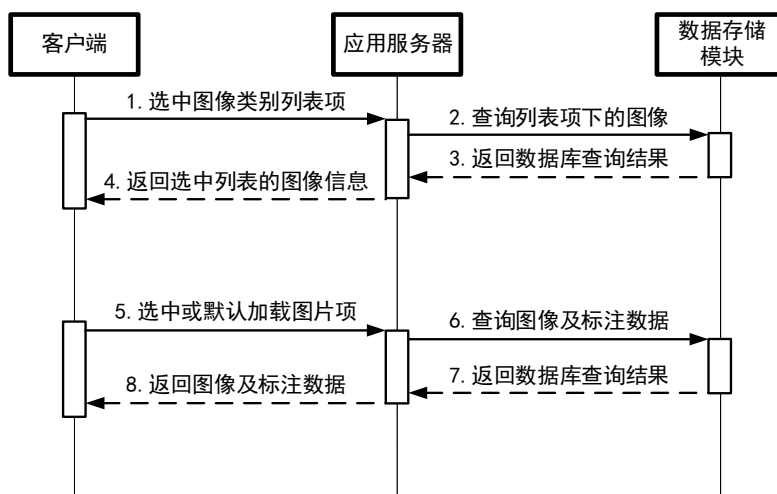


图 3-1 图像和标注数据加载更新时序图

Fig. 3-1 Sequence diagram of image and annotation data loading or updating

在客户端获得从应用服务器获得图像及标注数据后，客户端内部将获得的图像信息转达至 OpenSeadragon 控件，通过对该控件进行初始化和配置，实现目标图像在客户端图像展示区的显示。创建 OpenSeadragon 控件的第一步是在页面内使用构造函数创建并初始化图像浏览控件的实例 (Viewer)。该控件的初始化选项中含有 157 个一级参数，用户可根据需要配置出理想的图像浏览控件。控件常用的配置参数包含指定控件所属的页面元素，控制图像区域缩略图、自带工具按钮的显示或隐藏，控制工具栏的相对位置，设定图像显示倍率的区间，以及图片单次缩放的比例等。其中最重要的参数是 tileSources，该参数向控件提供已生成的 DZI 文件路径，为待加载图像指定来源。OpenSeadragon 控件支持 XML 或 JSON 格式的以.dzi 为扩展名的文件，文件中包含的信息有图像格式、图片基本宽度、重叠宽度、完整图片高度及宽度(均以像素为单位)。系统中所应用的基于 XML 格式的 DZI 文件内容实例如下。

```
<Image xmlns="http://schemas.microsoft.com/deepzoom/2008" Format="jpeg" Overlap="0"
TileSize="1024">
<Size Height="113396" Width="93743"/>
</Image>
```

## (2) 标注显示及辅助功能的实现

在完成控件实例的初始化以后，图像即可显示在控件内，且控件默认的设置支持用户通过鼠标拖拽控制图像移动，通过已有按键、鼠标滚轮和单击控制图像显示倍率变化。而在图像上显示 SVG 格式标注数据、显示比例尺、设置辅助网格线等功能的实现，则需要在图像控件的基础上，利用其 API 进行程序设计。在本系统实现中所用到的基于上述图像控件的 API 汇总如下表 3-1，其中 v 代表初始化的控件实例名称。

SVG 形式标注数据在图像上显示的实现方式是，根据标注数据中标注轮廓形状信息转化为 SVG，再参考该标注数据中的坐标位置信息和轮廓尺寸，在图像显示控件上的对应位置新建与标注对应的最小外接矩形覆盖层，保证覆盖层尺寸恰好可以覆盖 SVG 区域，即可完成标注的基本定位。同时，加载 SVG 的颜色取决于标注数据中的类别信息和系统中与其类别对应的颜色。系统中颜色与类别相对应为用户快速浏览图像中的标注提供了参考。

表 3-1 系统实现中常用的 OpenSeadragon 控件 API 说明表

Table 3-1 Description table of commonly used OpenSeadragon control API in system implementation

API 名称	说明
v.addOverlay(element, location)	将用户设计的 HTML 元素 (element) 作为覆盖层, 添加到相对于显示区域的指定位置 (location)
v.removeOverlay(element)	移除控件上指定的元素 (element)
v.addHandler(eventName, handler)	添加对控件指定事件 (eventName) 的监听, 并在事件发生时调用用户指定的回调函数 (handler)

在此基础上, 如图 3-2 (a) 所示, 借助 Tooltipster 插件系统可实现标注图像上方的文字在鼠标悬停时显示的功能, 从而完成了图像中标注数据对应类别信息的文字形式的展示。

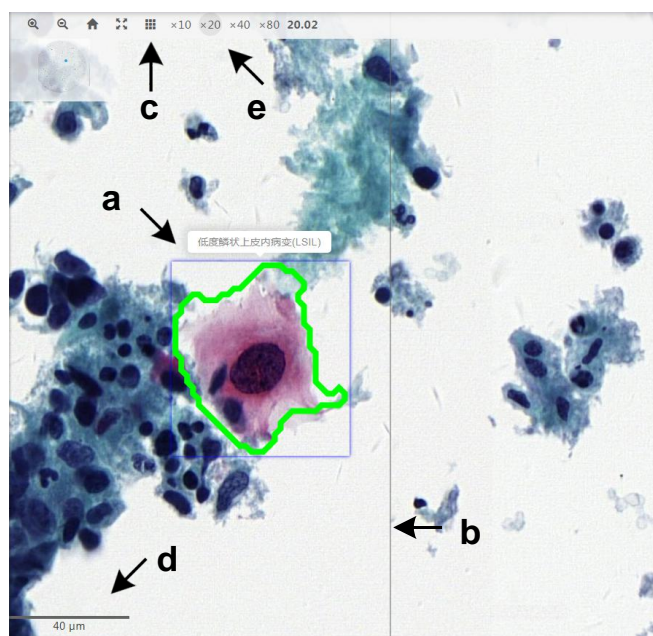


图 3-2 图像显示与辅助功能界面。(a) 鼠标悬停时标注信息显示。(b) 辅助网格线。(c) 辅助网格线控制按键。(d) 比例尺动态显示。(e) “一键式”图像缩放比例调节按键。

Fig. 3-2 Interface of image display and auxiliary functions. (a) Hovering over the annotation with mouse to display classification information. (b) Auxiliary grid lines. (c) Auxiliary grid line control buttons. (d) Dynamic display of the scale bar. (e) "One-touch" image scaling adjustment button.

图 3-2 (b) 所示的辅助网格线的显示与隐藏的实现也是借助添加覆盖层完成的。图像中辅助网格线的纵横分布可视为多个大小形状一致、紧密排布的矩形的外框线。

则系统根据显示图像的尺寸，确定合适的网格密度及对应的矩形长宽，再添加矩形覆盖层并将其依次批量平铺于图像上，即可实现辅助网格线效果。而系统提供的隐藏网格线功能，则是通过批量移除上述矩形覆盖层的方法实现的。用户可通过图 3-2 (c) 所示的网格线控制按键，控制网格线的隐藏和显示。

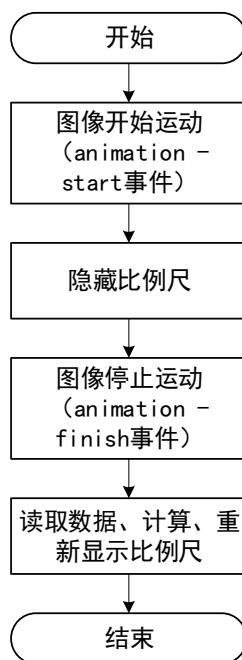


图 3-3 比例尺更新显示流程图

Fig. 3-3 Flow chart of scale bar updating and displaying

图像比例尺的显示功能是通过图像控件 API 监听图像缩放事件，并在图像缩放运动结束后采集图像缩放倍率信息进行计算，获得并更新对应比例尺的方法实现的。比例尺通过独立的覆盖层定位并显示于图像控件区域的左下角。比例尺的加载更新流程如图 3-3 所示。当图像发生运动后，比例尺所在覆盖层隐藏，直至图像停止运动。预设程序通过图像控件 API 读取当前的静止图像的相对原始图像的缩放比例，结合图像信息中原始图像采集时的像素与实际距离的比例，计算获得新的比例尺数据。比例尺显示效果如图 3-2 (d) 所示。

显示区域工具栏内的图像放大倍率控制按键可模拟传统显微镜下阅片时的物镜间转换操作，实现对图像显示放大倍率的“一键式”调节。其原理与比例尺的更新显示原理相似，通过获取控件内图像显示部分与原始图像的比例关系，参照图像采集时显微镜物镜的放大倍率（如 20 $\times$ ，40 $\times$ ）进行模拟。例如，当原始图像采集默认



的物镜方法倍率为  $20\times$ ，且系统内设置的图像控件像素最大放大倍率参数（maxZoomPixelRatio）为 4 时，控件支持的最大模拟放大倍率为“ $80\times$ ”。若用户单击“ $20\times$ ”按键，则系统自动调整图像的放大倍率为 1，即浏览器图像显示比例与原图一致。如图 3-2（e），“一键式”图像缩放比例调节按键位于图像上方辅助工具栏内。

### 3.1.2 修改与标注操作功能实现

修改与标注操作功能是系统的主要功能，也是系统内标注数据采集的基础。其中系统内信息修改是指对样本图像总体附加信息的修改。而标注操作功能主要包含用户操作功能有：增添标注、修改标注信息类型、审核确认已有标注以及删除原有标注。

本节将先介绍图像样本附注数据的修改方法。然后以标注操作功能为核心，先描述标注数据的组成与结构，再讲解系统内标注操作功能的实现。

#### （1）图像附注修改功能的实现

客户端界面的上方为图像相关信息提供了显示区域。图像相关信息包含不可修改信息和可修改信息两类。其中图像的不可修改信息包含图像在当前类别目录下的顺序编号以及图像名称。可修改信息即为图像的附注信息。

系统中，附注信息是特定样本图像、特定用户独立存在的数据，其用于描述和记录与样本图像相关的信息，如对样本图像整体的概括性、结论性或诊断性的描述。系统在附注信息显示区域旁设置了修改按键。用户单击按键后，系统将弹出修改框，用户可修改已有的附注信息，并在完成后单击确认键保存。客户端收集图像的唯一编号（图像 ID）和修改后的附注信息，使用 HTTP 方法中的 POST 操作对系统后台发送请求，对用户修改的附注信息进行更新。

#### （2）标注数据的组成与结构

标注数据主要包含其轮廓信息、类别信息和标注数据标识信息。

标注数据的编码信息包含其对应图像 ID 和标注的唯一编号（标注 ID）。

类别信息包含标注数据对应类别的内部编码。

标注的轮廓信息与其形状类型密切相关。系统中标注数据轮廓以 SVG 形式加载和存储。图 3-4 是系统中标注数据轮廓的三种基本形式，分别为圆形（图 a）、矩形（图 b）和多边形（图 c）。示意图中 A 点为标注起始点，E 点为标注终点。a 中圆形

标注轮廓的核心参数包含起始点（圆心）坐标，及系统根据 A、E 两点计算所得圆形半径。b 中矩形标注轮廓的核心参数系统根据 A、E 两点位置，计算所得的左上角顶点坐标及矩形长宽。c 中多边形标注轮廓的核心参数包含从 A 点至 E 点间，组成多边形的所有顶点的坐标。且因图像像素尺寸较大，为方便标注显示与台提取标注数据，上述标注轮廓信息的点坐标均以像素为单位，对应其在图像中的绝对位置。以上描述标注数据轮廓的坐标信息统称为标注的几何坐标信息。

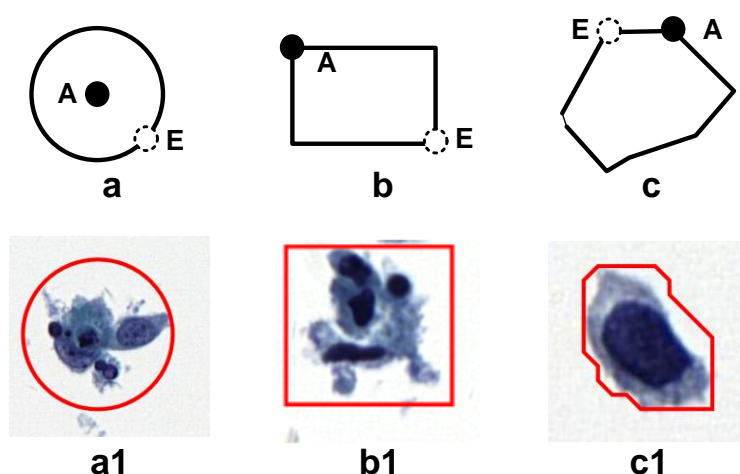


图 3-4 标注数据轮廓和与其对应的 SVG 基本形式。(a) 圆形标注轮廓。(b) 矩形标注轮廓。(c) 多边形标注轮廓。(a1-c1) 是 (a-c) 数据轮廓在客户端中的显示效果。

Fig. 3-4 Diagram of basic SVG forms and the corresponding data outline. (a) Circular annotation outline. (b) Rectangular annotation outline. (c) Polygon annotation outline. (a1-c1) are the display effects in the client interface corresponding to annotation outlines in (a-c).

此外，标注数据在储存的传输还包含轮廓的几何类型信息，即圆形、矩形或多边形，以便数据存储、传输和客户端解析加载。综合以上信息，将系统中标注数据的组成结构总结如下图 3-5。

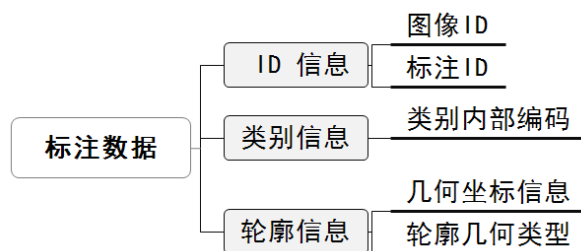


图 3-5 标注数据结构示意图

Fig. 3-5 Schematic diagram of the annotation data structure



### （3）标注操作功能的实现

系统中的标注操作功能包含新增标注、修改标注类别信息、删除标注、确认标注、删除后恢复标注五种。

其中新增标注功能相对复杂，需要用户在系统内提供标注轮廓信息和类别信息。其他四种功能相对简便，为“一键式”操作。故以下内容将五种操作功能的实现分为两部分，第一部分介绍新增标注功能的实现，第二部分为其余功能实现的描述。

#### ① 新增标注功能的实现

用户在图像上增添新的标注信息时，系统需要采集新标注的轮廓信息以及分类信息，将标注显示在图像上，并将信息传回后台。

如图 3-6 所示，根据用户操作顺序和功能设计，以用户绘制标注轮廓为分界，可将用户新增标注的过程可概括为绘图前期、绘图期和绘图后期。

用户点击页面内创建新标注按键后，进入新增标注流程。客户端系统首先会“冻结”图像的显示区域，暂时禁止显示区域内图像的平移、缩放功能，并创建与图像显示区域大小一致的透明绘图区域。然后，系统也会禁止图像显示区的右键菜单功能，以及与 SVG 绑定的相关功能。此时，系统完成绘图前的基本准备功能。紧接着，系统将为即将创建的 SVG 分配唯一标识码（ID），并调取系统中存储的相应参数，如默认标注类别、对应线条颜色等。随后，系统为创建的 SVG 绑定一系列鼠标事件（mousedown, mousemove, mouseup），等待鼠标事件的发生。此时绘图区光标由箭头变为十字星，示意用户系统准备就绪，可进行绘图。

在用户按下鼠标左键，流程进入绘图期。此时，鼠标按下事件（mousedown）触发绘图前期绑定的响应函数。根据鼠标左键按下时光标位置以及前期预设的相关参数，系统利用 D3 控件在图像区域上创建 SVG。当鼠标保持按下并发生移动时，触发响应事件（mousemove）函数，系统读取鼠标所在位置，更新 SVG 显示并存储绘图数据。当用户鼠标左键抬起（mouseup）时，系统默认此时光标所在位置为此次绘制标注的结束点，依据此数据生成完整 SVG。此时，绘图期结束，系统获得标注数据的轮廓信息。

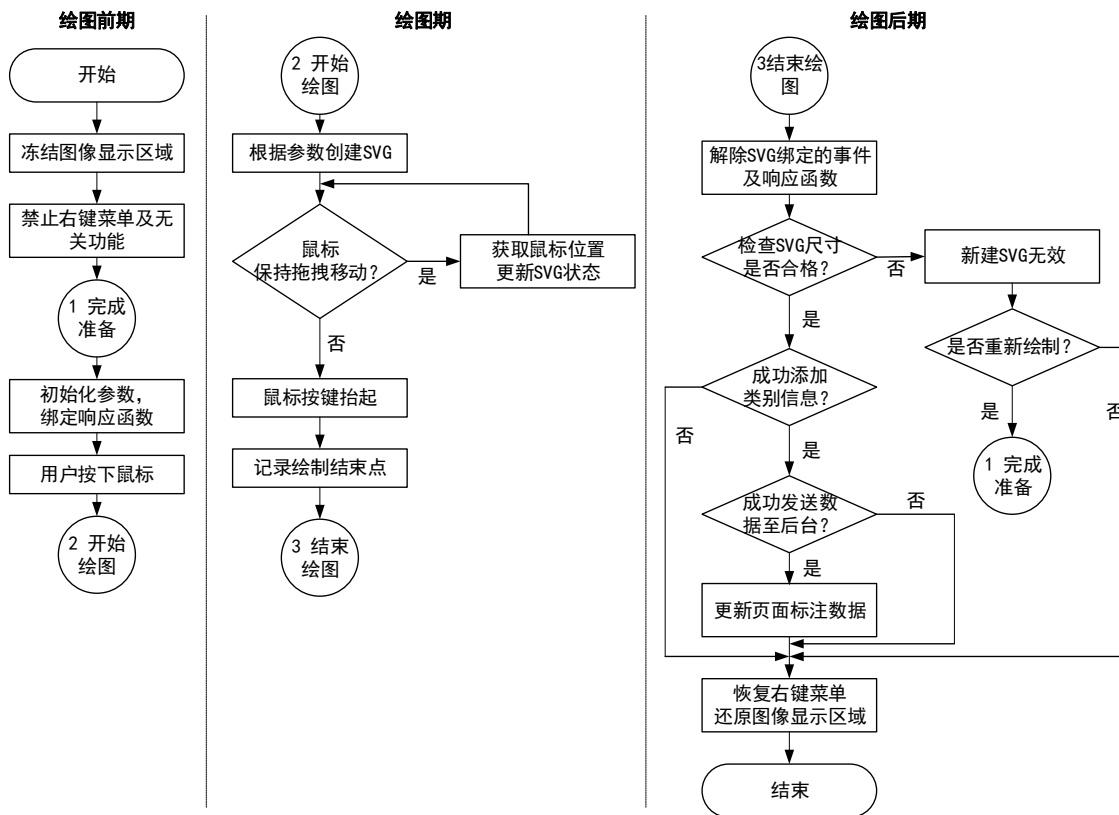


图 3-6 新增标注流程图

Fig. 3-6 Flow chart of creating new annotations process

随后，标注操作流程进入绘图后期。系统将立即解除 SVG 绑定的事件与响应函数，避免误操作。紧接着，系统读取 SVG 坐标数据，判断其尺寸是否小于预设的最小阈值，若其尺寸过小，则系统判断该轮廓无效，并提示用户重新绘制或放弃绘制。若用户选择重新绘制，则系统返回完成绘图前准备状态，重新初始化 SVG，等待用户操作。若用户放弃重新绘制标注，则本次绘制结束。当系统检查 SVG 尺寸合格后，将自动弹出类别选择弹窗，等待用户选择新标注的类别信息，并将包含轮廓信息与分类信息的标注数据打包发至后台。待后台接收标注数据成功，新标注将添加至客户端页面，系统解除对图像显示区域的“冻结”，并还原右键菜单及其他正常功能。若用户在添加标注类别信息时放弃，或系统向后台传输数据失败，系统均无法保存新增的标注信息，并将告知用户。

创建新的标注时，客户端使用 HTTP 请求中的 POST 方法向后台发送标注数据。其数据包含 3.1.2 (2) 中所阐述的用于描述标注的全部信息。

## ② 标注修改、删除、审核与删除后恢复功能的实现

相较于在系统中增添新标注的功能，用户在系统中实现对标注的类型修改、删除、审核确认与删除后恢复操作相对简单。以下从用户操作与系统实现两方面进行介绍。

系统中对标注进行上述操作的界面如图 3-7 所示。系统借助基于 jQuery 的 ContextMenu 控件实现右键菜单的显示与响应。在列表区，右键菜单被绑定于代表单个标注数据的列表项上。在图像显示区，单个标注的右键菜单被绑定于 3.1.2 节中描述的辅助标注类别信息文字显示的覆盖层。当用户鼠标悬停于目标标注上时，类别信息会以文字形式显示于标注上方，此时可呼出对应的右键菜单。

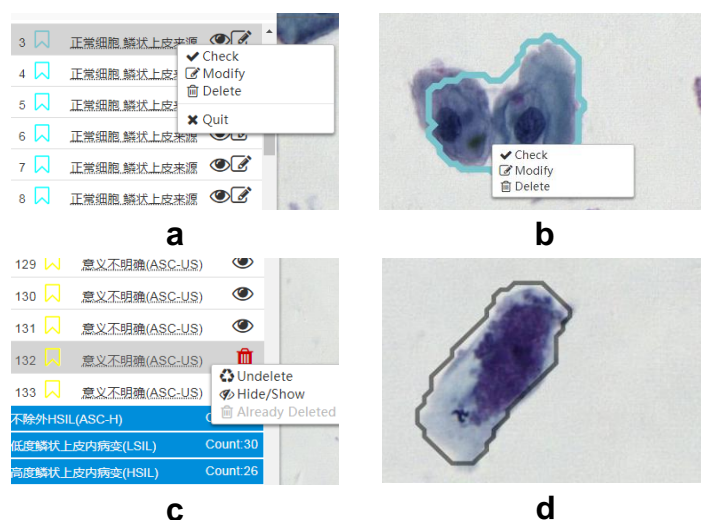


图 3-7 用户标注操作界面示意图。(a) 列表区一般标注的操作界面图。(b) 图像显示区一般标注的操作界面图。(c) 标注列表区已删除标注的操作界面。(d) 图像显示区已删除标注的显示界面。

Fig. 3-7 Schematic diagram of the user's annotation operation interface. (a) The operation interface diagram of normal annotations in the list area. (b) The operation interface diagram of normal annotations in the image display area. (c) The operation interface of annotations has been deleted in the list area. (d) The operation interface diagram of annotations has been deleted in the image display area.

对于一般状态的标注，用户通过鼠标右键可以在客户端左侧的列表区（图 a）对选中标注进行操作，或在右侧图像显示区（图 b）对标注进行操作。上述操作所包含的种类有审核确认（Check）、修改类别（Modify）和删除（Delete）。对于已删除状态的标注，用户仅可通过列表区对标注进行标注隐藏或恢复操作（图 c）。为避免已删除状态标注的类别信息覆盖层阻碍用户在相同位置新建标注数据，标注数据在被删除时其对应的标注类别信息覆盖层也会被系统移除，故系统不支持用户在图像区选中或操作已删除的标注（图 d）。

表 3-2 系统中对非新建标注操作 API 说明表

Table 3-2 Description table of API called by annotation operation (excluding creating new annotation operation)

操作名称	URI	参数
修改类别信息	/shape/modifyShapeGroup	图片 ID、标注 ID、新类别编码
审核确认	/shape/check	图片 ID 和标注 ID
删除	/shape/delete	图片 ID 和标注 ID
恢复删除标注	/shape/recover	图片 ID 和标注 ID

当用户在上述操作界面对标注进行不同类别的操作时，客户端将对用户操作进行记录，并调用对应的 API 向系统后台传输相应的操作数据，如表 3-2 所示。

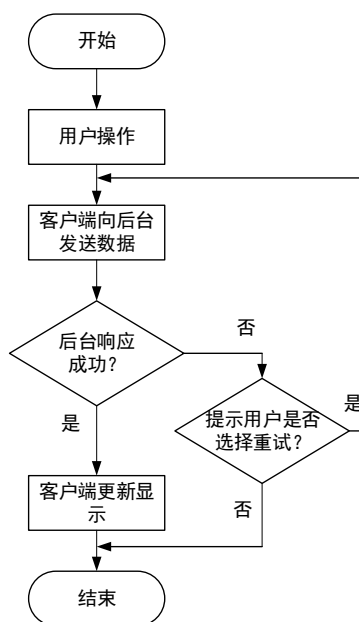


图 3-8 非新建标注操作的系统响应流程图

Fig. 3-8 Flowchart of the system response of annotation operations (excluding creating new annotation operation)

如图 3-8 所示，系统内用户对非新建标注操作的流程如下。在用户进行操作后，客户端根据操作类别调用响应 API 向后台发送数据，等待系统后台响应。若后台成功接收并记录数据，则向客户端传回成功响应信息，客户端更新页面显示。若后台响应不成功，客户端将提示用户操作失败，由用户选择是否重试，当用户选择重试，则客户端重新向后台发送相应数据。

根据以上用户操作种类的不同，客户端内更新显示的内容也有所不同。用户修

改标注类别信息成功后，该标注在图像显示区域与列表区域的标注类别文字与颜色将发生对应地变化。用户删除某一标注后，图像显示区内标注颜色将变为灰色，且辅助标注类别信息显示的覆盖层也将被移除。对于已移除的标注，用户进行恢复标注操作后，标注状态会还原。用户进行标注信息审核操作后，图像显示区域内标注无变化，但在列表区，对应标注后方会出现代表“已审核”状态的图标。审核操作外的其他操作成功后，对应标注在列表区内的图标也会更新。图 3-9 中列举了在列表区内表示标注数据状态图标的种类，依次为新增标注、类别修改的标注、已删除标注、已审核标注和恢复的已删除标注。以下状态标记可记录用户作用于对标注的操作，并在列表中不重复地依次追加显示。

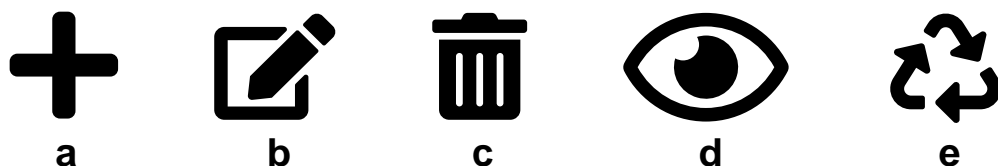


图 3-9 表征标注操作状态的图标。(a) 新增状态。(b) 类别修改后状态。(c) 已删除状态。(d) 已审核确认状态。(e) 删除后已恢复状态。

Fig. 3-9 Diagram of icons that characterizes the operation status of annotations. (a) New status. (b) Classification modified status. (c) Deleted status. (d) Confirmed status. (e) Restored status after deletion.

### 3.1.3 快捷键辅助功能实现

为提高用户的操作效率，系统中为部分用户使用频率较高的按键和功能设计了键盘快捷键。键盘快捷键的实现原理是通过预设程序监听键盘的按键事件并执行相应功能。当键盘上有按键按下，即“keydown”事件发生时，JavaScript 脚本通过识别键码（keycode）调用与其对应功能的代码，实现系统预设的功能。

系统中快捷键与其功能对应关系如表 3-3，其中“W”、“S”、“A”、“D”四个按键作为快捷键是图像控件内部已定义的，可以直接使用。其他按键作为快捷键与其功能间的对应关系是系统开发时自定义的。其中，“Up”和“Down”可控制客户端中当前列表选中项的切换，此处的列表包含客户端左侧显示图像（标注数据）的列表区、右键菜单的列表、标注类别选择面板以及图像附注选择面板。

表 3-3 系统快捷键功能实现说明表

Table 3-3 Description table of shortcut function implementation in the system

按键（键码）	对应功能
W (87)	控制图像显示区图像向上平移
S (83)	控制图像显示区图像向下平移
A (65)	控制图像显示区图像向左平移
D (68)	控制图像显示区图像向右平移
Up (38)	控制当前列表选中项切换至上一项
Down (40)	控制当前列表选中项切换至下一项
Right (39)	打开列表区当前标注数据的右键菜单； 在标注类别选择面板中的“确认”或“取消”按键中切换
Left (37)	收起列表区当前标注数据的右键菜单； 在标注类别选择面板中的“确认”或“取消”按键中切换
P (80)	单击创建新多边形标注按键
O (79)	单击创建新圆形标注按键
L (76)	单击创建新矩形标注按键
Enter (13)	标注列表区选中项右键菜单展开时，单击当前选中项； 标注类别选择面板展开时，单击“确认”或“取消”按键中的选中项

3.1.4 客户端页面设计实现

客户端界面如图 3-10 所示，其整体上可分为上下两部分，其中上部分包含图像及附注的文字信息栏（图 d）和用户设置工具箱（图 f）。下部分可分为左侧和右侧两个子部分，其中右侧为图像显示区（图 c）以及其上方的用户操作工具栏（图 e）。图像显示区主要支持用户查看图像及图形化标注数据信息。而用户操作工具栏包含新增标注、放大倍率的“一键式控制”以及辅助网格线控制按键等功能按键。下部分左侧为图像分级显示下拉框（图 a）和列表区（图 b），其中列表区为图像信息与标注数据信息复用，系统支持用户通过下方按键在两种数据间进行切换。



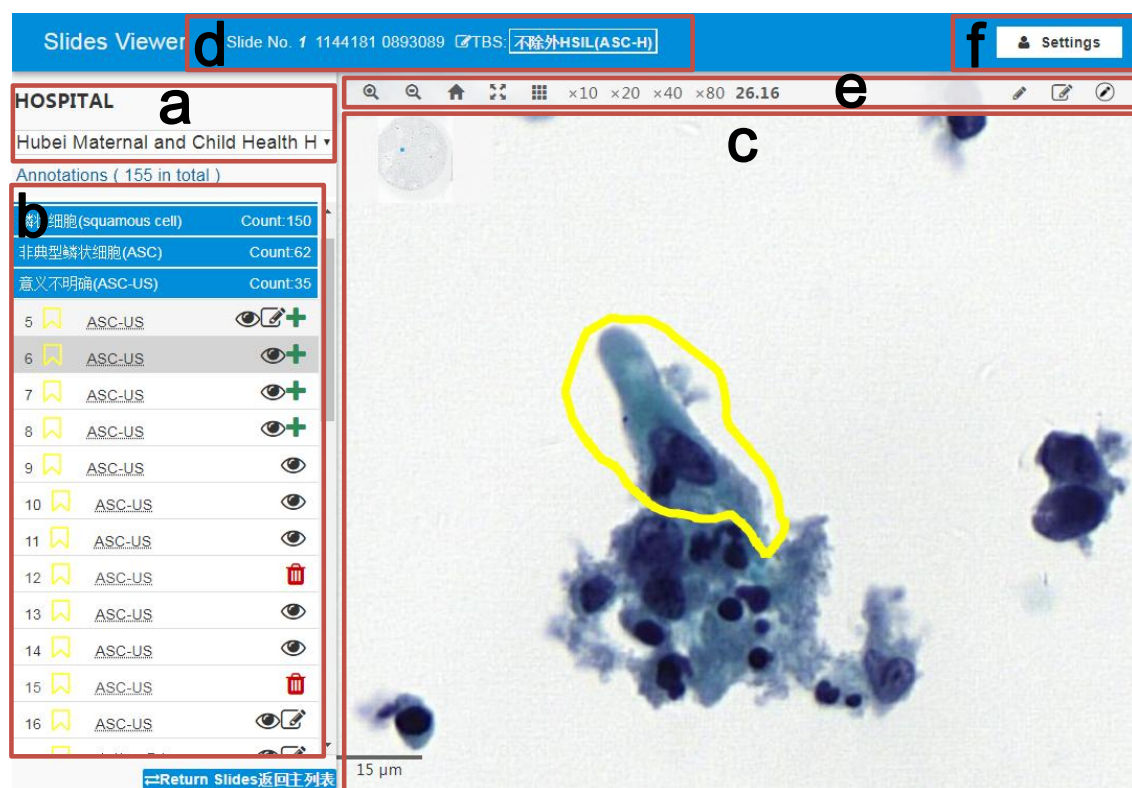


图 3-10 用户操作界面。(a) 图像样本分类下拉框。(b) 图像或标注列表区。(c) 图像及标注显示区。(d) 图像及附注文字信息栏。(e) 用户操作工具栏。(f) 用户设置工具箱。

Fig. 3-10 Graphical user interface. (a) Slides filter. (b) List area for annotations or slides. (c) Annotation and the image are shown on the viewport. (d) Slide information bar. (e) Toolbar for operations of image and annotations. (f) User settings toolbox.

## 3.2 个人电脑端系统管理策略实现

### 3.2.1 一对多样本数据管理策略实现

一对多样本管理是指针对同一样本，除原始图像数据外，不同用户可拥有独立成套标注数据、图像附注信息。同一样本所对应的多套数据在存储、命名上遵循一定的规律，以便数据的存储、调取和后期应用。

参考 2.5 节中的介绍，系统中记录用户标注数据的文件名称、路径以及对应的图像数据 ID 和用户 ID 信息。其中图像数据 ID 与用户 ID 作为外键存在于数据库的用户标注记录文件表中，保证了用户标注数据文件的独立性。

用户标注数据文件在命名时，会按照系统定义的格式在文件名中同时包含图像

名称与用户名，以便管理员根据需要进行快速查找。

## 3.2.2 多层次用户管理策略实现

系统为用户添加了层级属性，对不同用户进行区分。系统根据已知的用户信息、用户标注数据的质量高低对用户进行级别评定。其中已知的用户信息包含用户的专业知识掌握程度、临床经验丰富程度以及对数字病理图像的适应程度等。

用户层级的高低表征了用户标注数据质量的好坏。而系统中用户层级的控制是通过数据库用户表中的四个字段实现的。数据库的用户表中权限代码字段、权限范围字段、组长信息字段和水平分字段共同组成了对某个用户层级的定义和管理。

表 3-4 用户权限管理说明表

Table 3-4 Description table of user rights management

权限代码	数据浏览权限	修改与标注操作权限	权限范围	组长信息	水平分数
1	全部	全部	无（全部样本）	其他用户 ID	有
2	部分	无	指定部分样本	无	无
3	部分	部分	指定部分样本	其他用户 ID	有

用户权限代码字段在数据表中数据类型为正整型，不同的数字代表不同的用户权限，如“1”代表管理员权限，可查看系统内所有的样本，并进行标注操作；“2”代表访客权限，访客可浏览系统内的部分数据，但不能进行修改与标注操作；“3”代表受限的用户权限，用户仅拥有系统内部分标注的查阅与修改权限。当用户权限代码为“2”或“3”时，用户权限范围将由用户表中的权限范围字段定义，该字段为字符串类型。用户间分组，高层级用户对低层级用户数据的审阅功能由组长信息字段定义。当用户信息中该字段指定了其他用户的用户名时，被指定用户将在客户端中获取当前用户标注数据的查阅和修改权限，实现组间用户标注数据修改。最后，水平分数字段定义了用户的相对层级与水平，该字段为非负整数，数值越高，用户的相对水平越高。仅访客权限用户不具有对应的水平分数。

## 3.2.3 计算机辅助数据管理策略实现

计算机辅助数据管理的任务主要包含标注数据辅助生成和标注数据辅助筛选。如 2.4.3 节中的分析，标注数据辅助生成可以降低用户单位操作时间，从而提升标注数量。而标注辅助筛选可以通过计算机标注筛选提升标注总体质量。

标注数据辅助生成功能是通过 GPU 服务器内预设的程序实现的。GPU 服务器按

照预设的程序获取数据存储模块中的图像数据，结合已有的图像识别算法，对图像信息进行提取和分析，获取其中可能的图像识别目标。对可疑的识别目标，算法通过计算获取其区域信息、识别类别信息以及置信度，转化标注数据格式，并生成对应的文件存储于数据存储模块中。

标注数据辅助筛选功能是通过计算机提取用户标注信息，并结合图像识别算法的判断结果综合对比实现的。当用户标注区域内的类别信息与图像识别算法给出结果一致，且用户与算法给出的标注数据置信度均较高时，该标注数据通过筛选。如用户与算法给出标注类别信息不一致，且其中一方置信度较高时，则系统判断该标注无法通过筛选，需人工进行判断。同期多位用户对相同标注数据进行审核修改后的结果，也将由计算机先行比对筛选出差异较大的标注数据，交由人工核对。对于通过筛选的数据，系统可将其直接应用于后期图像识别算法的构建。

### 3.3 个人电脑端系统测试

在系统投入使用前，应根据系统设计对系统功能的实现进行测试，以保证系统功能的正常使用。以下测试将分为系统客户端功能以及系统管理策略两个部分，参考系统方案设计中的结构展开。

#### 3.3.1 系统客户端功能测试

系统客户端功能在设计和实现时，主要被分为数据显示与浏览功能、修改与标注操作功能以及快捷键辅助功能三部分。本节也按照上述功能划分阐述如何进行测试，以及对应的测试结果。

##### （1）数据显示与浏览功能

该功能的实现主要支持图像及标注数据的显示。主要测试内容为图像数据、标注数据的加载和分级显示，以及作为辅助应用功能的比例尺和网格线的显示。表 3-5 展示了数据显示与浏览功能详细的测试项目及测试结果。

# 华中科技大学硕士学位论文

表 3-5 客户端数据显示与浏览功能测试表

Table 3-5 Description table of data display and browsing function test results on the client

编号	测试方法	预期结果	测试结果
1-1	点击样本图像分类下拉框中某一类别	指定类别的图像信息显示于列表区，系统自动加载列表第一项所对应数据	符合预期，通过
1-2	点击选中列表区的某一图像项	系统加载并显示选中项的图像、附注和标注数据；标注数据按类别顺序加载于列表区	符合预期，通过
1-3	点击列表区标注数据的类别信息标题项	所属类别下的标注数据列表展开或收起，单个标注数据随之显示或隐藏	符合预期，通过
1-4	点击列表区标注数据中某一标注信息项	图像显示区自动移动，使对应标注图像显示于视图区域中心	符合预期，通过
1-5	图像展示区拖拽鼠标移动，滚动鼠标滚轮	图像和标注数据以随鼠标拖拽而移动，跟随滚轮滚动而缩放；比例尺在缩放结束后更新	符合预期，通过
1-6	鼠标进入标注轮廓上方并悬停	标注轮廓上方以文字形式显示标注对应的类别信息	符合预期，通过
1-7	鼠标单击图像显示区内某一标注	系统自动选中该标注在列表区对应的标注信息项，并滑动列表使该项显示于列表区最上方	符合预期，通过
1-8	单击辅助网格线控制按键	系统切换辅助网格线的“显示”或“隐藏”状态	符合预期，通过

## （2）修改与标注操作功能

该功能主要包含图像附注修改以及标注操作。主要测试内容为图像附注的修改，标注数据的新增、删除、类别修改、审核确认以及删除后恢复功能。表 3-5 展示了修改与标注操作功能详细的测试项目及测试结果。

# 华中科技大学硕士学位论文

表 3-6 客户端修改与标注操作功能测试表

Table 3-6 The description table of modifying and annotation related operations function test results on the client

编号	测试方法	预期结果	测试结果
2-1	点击修改图像附注信息键	弹出图像附注信息修改窗口，显示已有附注信息	符合预期，通过
2-2	在 2-2 基础上，修改附注信息并提交或放弃修改	附注信息修改窗口关闭，附注信息显示内容依据用户操作更新	符合预期，通过
2-3	点击新增特定形状标注按钮	图像显示区光标变为十字形状，图像暂时无法平移或缩放	符合预期，通过
2-4	在 2-3 基础上，长按鼠标左键并拖拽绘制标注轮廓	图像上出现待完成标注轮廓，并跟随用户操作移动变化	符合预期，通过
2-5	在 2-4 基础上松开鼠标左键完成轮廓绘制	系统弹出类别信息添加窗口	符合预期，通过
2-6	在 2-5 基础提交类别信息或放弃	添加类别信息窗口关闭，系统更新标注信息列表并显示用户已提交的新增标注	符合预期，通过
2-7	选中标注，打开右键菜单，选择删除	图像显示区标注轮廓变为灰色，无文字形式类别信息提示，列表区标注信息状态更新为已删除	符合预期，通过
2-8	选中标注，打开右键菜单选择审核确认	列表区标注信息状态更新为已审核确认	符合预期，通过
2-9	选中标注，打开右键菜单选择类别修改	系统弹出类别信息修改窗口	符合预期，通过
2-10	在 2-9 基础上提交新的类别信息或放弃修改	类别信息修改窗口关闭，类别信息提交成功后，系统更新标注信息	符合预期，通过
2-11	选中已删除状态标注，打开右键菜单选择恢复	图像显示区标注状态恢复为删除前状态，列表区标注信息更新为删除后恢复	符合预期，通过

## （3）快捷键辅助功能

该功能是对上述两功能的补充，通过设置键盘快捷键替代鼠标操作，提升用户操作效率。主要测试内容为键盘快捷键的使用与系统响应。表 3-7 展示了快捷键辅助功能详细的测试项目及测试结果。



表 3-7 客户端快捷键辅助功能测试表

Table 3-7 Description table of shortcut function test results on the client

编号	测试方法	预期结果	测试结果
3-1	使用 W、S、A、D 键控制图像移动	上述按键可分别控制图像展示区内图片向上、向下、向左、向右平移	符合预期，通过
3-2	使用 Up 和 Down 键	上述方向键可控制当前活跃的列表选中项，时选中项切换至上一项或下一项	符合预期，通过
3-3	在标注类别窗口弹出时使用 Right 和 Left 键	在标注类别窗口中，上述方向键可控制预选中“确认”或“取消”按键	符合预期，通过
3-4	在浏览图像时使用 P、O、L 键	进入新增标注流程，鼠标在图像显示区变为十字形状（同测试表 3-5 中 2-3 状态）	符合预期，通过
3-5	在标注类别窗口弹出时使用 Enter 键	相当于在单击窗口的决策按键（“确认”或“取消”）中的预选中项	符合预期，通过

3.3.2 系统综合应用测试

管理策略在系统中的应用和效果难以通过单项独立的测试进行验证。但系统总体目标为提高标注数据获取的质量与数量，故以下将通过一组测试验证系统对标注数量的提升，即单位标注时间的缩短，以及管理策略综合应用下的标注样本质量。

系统测试中共有 4 位标注者参与，他们对标注类别专业知识的掌握程度、对系统的熟悉程度均存在差异。参与者在系统内分别使用常规手动工作流程和半自动工作流程进行标注，由系统采集标注数据。

常规手动工作流程即用户在系统内自主创建标注轮廓并选择合适的类别信息。半自动工作流程是用户在系统自动生成标注的基础上，通过对已有标注的审核确认、类别修改以及删除后重新绘制的方法，获得有效标注数据的过程。半自动工作流程中，用户操作的规范是：对于类别信息和轮廓信息均满意的标注，用户进行审核确认操作；对于轮廓满意而标注类别不满意的标注，用户进行标注类别信息修改操作；对于轮廓不满意的标注，用户删除原始样本后再重新添加新的标注；若用户认为原始标注轮廓附近图像内容无标注意义，则可将原始标注删除。用户使用两种标注流程时的单位标注时间对比如图 3-11 所示。

测试用户在两种不同工作流程下共新建及操作已有标注数据共 3453 个。四位用户创建及操作的标注总数量分别为 791、1076、757 和 829 个。由四位用户的操作过程统计数据可见，相比传统手工标注流程，半自动标注流程下用户的单位标注时间得到了不同程度的缩短。四位用户在两种流程下的单位标注时间分别从 7.8 秒、25.9



秒、43.8 秒、33.4 秒缩短至 5.0 秒、5.1 秒、14.1 秒和 14.3 秒。

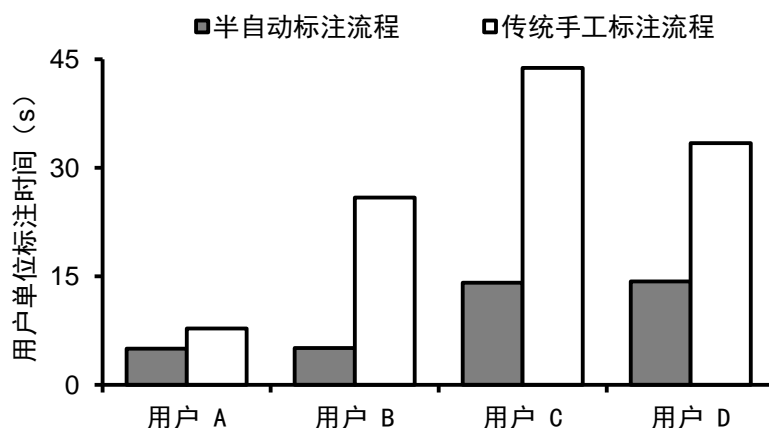


图 3-11 不同标注流程下多用户单位标注时间对比图

Fig. 3-11 The time consuming of creating annotations with different users in two workflows.

上述测试可见，系统基本功能与管理策略相结合，可一定程度上缩短用户的单位标注时间，提高一定时间内用户采集标注数据的数量。

在以上测试中，四位用户在半自动标注流程中，共操作 1781 个由系统统一生成并分配的标注。每个样本图像中所含的标注数量为 100 至 200 个，每位用户操作的标注数据分属 2-4 个不同的样本图像。如表 3-7 所示，用户认同并审核确认的标注数量占系统自动生成的标注数量一半以上（54.5%），用户对占总数 28.4% 的标注类别进行了修改，8.1% 的标注因为轮廓不准确而被用户删除并在原始区域绘制了新的标注，生物 9.0% 的标注因所在区域无标注意义而被直接删除。

由统计可知，系统生成的标注数据中，半数以上标注数据的类别信息与轮廓信息是准确的。而超过八成的标注数据轮廓是无歧义的，用户可直接进行审核确认操作，或类别修改操作。此外，在统一的规范下，不同用户的对标注的判断标准与操作习惯间仍存在一定差异。

表 3-8 半自动标注流程用户操作统计表

Table 3-8 Statistical table of users' operation on annotations in the semi-automated workflow

	审核确认	修改类别	删除后新增	仅删除
用户 A	213	132	16	62
用户 B	352	148	37	21
用户 C	127	171	69	33
用户 D	279	54	23	44

综上所述，计算机辅助生成的标注数据质量是可接受的。系统中管理策略的设计与应用对标注数据采集质量和数量的提升有积极作用。

## 3.4 本章小结

本章介绍了基于 Web 的数字病理标注数据采集与管理系统的实现过程。其主要内容分为系统客户端功能的实现与系统管理策略的实现，并对系统客户端的基本功能与系统的综合使用进行了测试。

系统客户端设计主要借助 OpenSeadragon 控件、D3 控件和 jQuery 中的 ContextMenu 与 Tooltipster 控件实现了高分辨率大尺寸数理化病理图像数据、附注数据与标注数据的显示与浏览功能、修改与标注功能以及快捷键附注功能。系统内部管理策略的实现，帮助系统在客户端功能基础上，进一步提升标注数据采集的数量和质量。其包含一对多样本数据管理、多层级用户管理以及计算机辅助数据管理三个部分。最后，系统测试包含系统客户端功能测试以及系统综合应用测试两个部分。系统客户端功能测试验证了客户端各功能的完整可用。系统综合测试结果表明，使用本系统中的半自动流程获取标注数据可提升单位时间内的标注数量，且该流程中由系统辅助生成的标注数据质量是可接受的。

本章及上一章所涉及的系统已用于标注数据的采集与展示，使用期超过 1 年。且系统运行稳定，用户体验良好，系统内功能仍在进行有序的优化与改进。

## 4 移动端标注数据采集与管理系统设计与实现

如第二章与第三章所述，基于 Web 的数字病理标注数据采集与管理系统可以有效实现加快标注数据获取速度，提高标注效率的目的。但该系统仍存在一定的局限：

- 1) 系统页面设计兼容主流电脑浏览器，移动端使用页面显示效果不佳，且其页面组成、功能较为复杂，全部移植至移动端难度大；
- 2) 高分辨率图片即使借助 OpenSeadragon 图像控件实现分区域加载，系统客户端图片数据加载量仍远大于一般网页，加载速度易受到网络状态制约；
- 3) 标注和修改操作在移动工具上进行时，难以使用原有电脑端的快捷键，可能会削弱原本良好的用户体验。

针对上述原始系统与移动端之间难以完全兼容与移植的问题，移动端系统的补充设计思路如下：

- 1) 在原版系统基础上简化页面布局，使显示效果优化；
- 2) 减少页面内图像数据的加载量，避免大规模图像数据的加载；
- 3) 根据移动端操作特性，简化并设计用户操作。

基于以上问题及设计思路，本章将在前述标注采集系统的基础上，补充设计开发移动端系统。

本章主要内容分为三个部分，分别为移动端系统方案设计、移动端系统实现、系统测试。

移动端系统方案设计中，包含对系统的总体分析，比较了移动端与 PC 端系统的不同之处，并明确移动端系统服务于分类标注数据的采集。随后按照系统结构设计、系统功能模块设计、系统应用策略设计和数据库设计的顺序分别展开，介绍了移动端系统设计细节。

在移动端系统客户端实现部分，首先介绍了系统客户端实现中所选择的技术概念。区别于 PC 端客户端使用的单页面应用理念，移动设备上系统客户端应用的是多页面应用的设计思路，并展开进行了解释。随后的章节中，有限状态机原理被用于阐述小程序客户端页面的实现过程，多页面间的跳转关系。

在系统测试部分，6 位用户对 800 张样本图像进行了分类标注。该过程系统功能流畅，用户体验良好。随后作者将系统收集用户的标注数据，与系统中图像分类算

法给出的标注数据进行对比。综合比对结果显示，用户标注数据与分类算法给出的类别信息具有较好的相似性。

## 4.1 移动端系统方案设计

### 4.1.1 总体分析

#### (1) 需求分析

移动端系统设计、实现与应用的主要目的仍是数字病理图像标注数据的采集。但普通计算机具有鼠标、键盘等丰富的外部输入设备，具有多资源、适合复杂操作的特点。而现行移动设备的外部输入功能大多集中于触摸输入屏上，用户使用手指进行操控时，其控制的灵敏度、精确度都无法达到个人电脑(PC, Personal Computer)端的相应水平。除输入设备的限制，用户使用场景的相对不稳定，以及区域标注采集功能的复杂性，也使用户操作效率也难以得到保证。

如 1.2.2 节中所阐述内容，相比于要求用户同时给出区域轮廓以及分类标签的区域标注任务，分类标注任务相对更简洁，只需用户根据给定的图像区域，选择与图片内容相符合的标注类别即可。故移动端不适合区域标注任务，而更适合辅助用户完成对图像的分类标注任务。

移动端标注数据采集系统除了在其面向的标注任务类别与 PC 端系统有一定差异外，其可实现的功能也相对更加灵活多样。因为移动端应用相比 PC 端应用具有使用频次高、场景灵活、时间碎片化的特点。移动端应用不仅可提供标注数据采集的功能，还可以根据需要引入测试功能以及历史记录与图片收藏功能。其中测试模式可以对不同用户的判读水平进行评估和分析。而历史记录与图片收藏功能让用户可以在系统内查阅自己的历史记录和已收藏的图片与判读结果，与他人交流。

#### (2) 功能模块分析

结合以上对系统总体需求的分析，系统主要功能模块如图 4-1 所示。系统内围绕着标注数据采集的主要目标，结合用户学习、回看的需要，共设计了三个主要功能模块。移动端系统功能模块包含：标注数据采集模块、用户测试模块和历史记录与图片收藏模块。

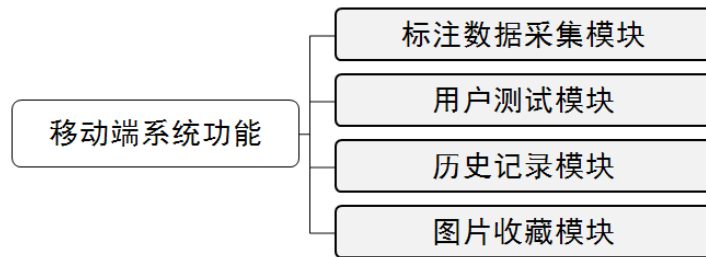


图 4-1 移动端系统功能需求分析示意图

Fig. 4-1 Schematic diagram of functional requirements analysis of mobile systems

1) 标注数据采集模块：该模块的主要功能为分类标注数据的采集提供完整的流程。该模块内，系统界面内应提供待标注图片的显示与查看功能、分类选项对应按键和提交按键，供用户进行相关操作。

2) 用户测试模块：该模块为用户提供标注水平检测功能。用户进入测试模块后，系统从有确定判读分类的典型图片库中抽取一定量图片作为测试题，用户从备选项中选择其认为最合适的选项作为答案。用户提交答案后，系统将根据用户答案的正误给出对应的评分。

3) 历史记录模块：为方便用户查看以往记录，回看测试题答案与判读结果，移动端系统中设计了历史记录模块。用户可通过历史记录入口访问自己的操作记录，查看图片信息、自己的答案与参考判读结果。

4) 图片收藏模块：该模块帮助用户记录并保存感兴趣的图片。当用户在标注采集模块或测试模块中查看到自己感兴趣的图片，可在界面点击相应按钮选择收藏，在退出标注采集状态或测试状态后，通过进入系统的已收藏图片入口进行查看。

标注采集模块与用户测试模块的主要形式较为类似，均是用户根据图片内容选择合适的分类信息，但两者间仍存在不同之处。首先，两个模块的设计目的不同，标注采集模块服务于分类标注数据采集，而用户测试模块的目标是通过用户提交的测试结果了解用户对病理图像的判读水平。其次，系统标注采集模块中的所提供的图像的参考分类结果准确性相对较低，或系统不提供相应的分类结果；而用户测试模块中的图像均含有相应的准确的分类信息，供用户参考和对比。另外，两种模块中的类别选项的设置也存在差异。标注采集模块中除提供预设的 2 至 3 个备选项外，允许用户从病理图像的所有可能类别中进行选择。而用户测试模块中仅允许用户从固定的备选项中选择类别信息，而不允许用户选择其他类别。

### (3) 相关技术介绍

移动端系统设计的主要内容在于客户端的重新设计与构建，系统内其他部分计划沿用原有的技术方案。故以下仅针对客户端的技术选择进行分析<sup>[48]</sup>。

移动设备上客户端的载体形式主要有三类：遵循 HTML5 标准规范的手机网页（国内简称 H5）、第三方应用程序（APP，application software）和小程序——基于主流的 APP 的开放应用。

H5 网页相较普通网页，它对多种媒体形式、动画效果和交互行为都有良好的支持，被广泛用于各类新闻报道、广告传播以及问卷收集的场景。APP 是指安装在智能手机上的软件，其依托于特定的手机系统进行设计、开发和运行。小程序是指依托于部分主流 APP 运行，无需用户下载安装即可使用的应用程序。目前“微信”、“支付宝”、“百度”、“字节跳动”旗下 APP 均提供相应接口，并支持其框架下小程序的开发和运行。三中不同载体的主要特性的对比分析如下表所示。

表 4-1 移动设备客户端载体特性对比表

Table 4-1 Description table of mobile device client carrier feature comparison and analysis

特性	H5	APP	小程序（微信）
开发成本与难度	中等	最高	最低
迭代速度	最快	最慢	中等
产品体验和流畅程度	最差	最好	中等
产品体积	中等	最大	最小（代码限制 2MB）
用户留存	最差	最好	中等
本地用户数据存储	最少	最多	中等（最多 10MB）

H5 的主要优点在于媒体展示效果佳，迭代速度快，适合实效性强的展示功能为主的页面，但劣势在于无法在本地保存用户数据，用户留存度低。而 APP 的优点是用户体验好、可以在本地保存较多的用户数据，维持良好的用户粘性，缺点是开发难度大，开发成本高，一般需要同时进行基于苹果公司 iOS 系统以及谷歌公司安卓（Android）系统的软件开发，软件迭代周期长。而小程序综合了前两者的部分优点，其开发难度较低，而产品体验、迭代速度与用户均适中。自小程序功能开放注册以来，获得了众多企业、政府机构以及媒体的青睐<sup>[49-51]</sup>。所以在代码体积可满足客户端开发需求的情境下，小程序是非常合适的移动设备客户端开发形式。同时，使用小程序作为移动设备客户端开发的载体，其在形式上更贴近个人电脑端上所采



用的 B/S 系统结构。而小程序所借助的载体（平台）类似于个人电脑端上的浏览器，因而采用小程序的形式进行移动端系统开发可以发挥原有 B/S 结构系统的优势。

在平台的选择上，各主流应用的应用场景与目标存在差异。微信应用侧重社交场景，支付宝应用侧重交易与服务场景，百度系应用更贴近搜索需求，而字节跳动旗下应用的优势在于流量转化<sup>[52]</sup>。本系统的主要需求是数字病理标注数据采集，从应用场景上分析更适合选择微信或百度旗下的应用作为小程序开发。此外，相比百度旗下应用，微信应用的用户日均使用量更高，且其平台上小程序应用开发量也远高于百度旗下应用<sup>[53]</sup>。故选择使用微信应用作为本系统移动客户端的开发平台。

## 4.1.2 系统结构设计

移动端系统结构沿用 2.2 中的设计，除前端网页工具进行重新设计外，其他部分根据需要做补充调整即可。系统的主要模块组成为：客户端、网络服务器、数据存储模块和 GPU 服务器。以下主要介绍客户端开发形式的选择。

其中前端网页工具的主要功能是满足系统与用户间的交互，其主要界面功能包含图像的显示、收集用户的分类标注数据、提供其他功能模块接口等。参考 4.1.1 中相关技术分析，使用小程序形式进行客户端开发可以兼顾产品体验、用户粘性与开发成本。

网络服务器、数据存储模块与 GPU 服务器组成系统的后台部分。网络服务器为客户端请求提供支持响应。数据存储模块提供图像数据与有关标注类别信息的存储。GPU 服务器提供系统内相关图像运算的支持。

## 4.1.3 系统功能模块设计

### （1）标注数据采集模块：

用户进入客户端后，在主界面选择标注数据采集模式，客户端向后台请求一组待标注数据，其中包含 8 张从数据存储模块中随机抽取待标注图像和与之对应的备选项。数据请求成功后，页面更新为标注选择页面。该页面显示的信息有：当前的图片序号、图片、备选项、收藏按键以及页面最下方的一系列跳转按键。跳转按键由“上一题”、“下一题”和“提交”组成。用户通过单击在备选项中选择合适的类别信息，通过使用跳转按键在本组标注数据间进行切换。系统支持用户单击图像进入查看模式，并控制其缩放比例。图 4-2 为标注数据采集模块的设计操作流程。

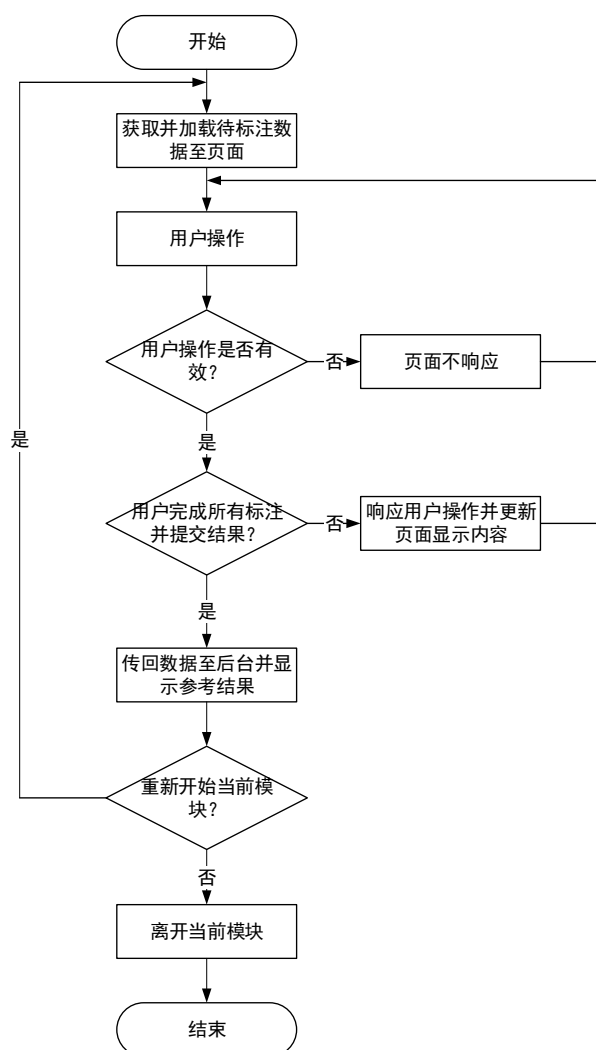


图 4-2 标注数据采集模块与用户测试模块程序使用流程图

Fig. 4-2 Flowchart of annotation data acquisition module and user test module program

系统为用户的各类操作在该流程中设计了对应的响应，若用户的操作无意义或未在系统中定义其响应，那么系统将认为该操作为无效操作而不响应。当用户提交该组图像的所有标注类别信息后，系统将用户提交内容与数据库中的参考结果进行比对，并将比对结果返回客户端供用户参考。用户在查看结果后，可选择继续下一组标注，或进入其他模块，如返回主界面、查看历史操作记录等。

## (2) 用户测试模块：

用户测试模块的设计与标注数据采集模块基本一致，模块使用流程图可参考上图 4-2。

该模块与标注数据采集模块在设计和实现上的主要差别在于：

1) 两种模块内数据“难度”不一样。用户测试模块中的图像更为典型，并具有经由专业人士审核的类别信息“标准答案”。而标注采集模块中所存储图像的类别信息主要由计算机程序生成并根据用户提交结果更新，准确性不及前者。

2) 两种模块内为用户提供的参考选项不一样。标注采集模块内的类别信息备选项中除了包含系统内预设的选项外，还允许用户从所有适用的分类中自定义，选择其认为最合适的分类项。用户测试模块中的选项为相对固定的，系统不允许用户自定义选项，而只允许其从系统提供的类别中进行选择。且从备选项数量上看，前者备选项数量更多。

3) 两种模块内的预设的每组图片（题目）数量不同。因两模块的设计、使用目的存在差异，标注采集模块立足于通过移动客户端收集用户的标注数据，而测试模块的主要目的是了解用户的标注水平。故标注采集模块中设计的每组图片数量相对较少，以使用户利用碎片时间进行标注并及时提交标注结果。而测试模块期望通过测试反映用户长期、稳定、有参考意义的标注水平，故该模式下每组题目数量设计得更多。

### （3）历史记录模块：

历史记录模块为用户提供查看标注数据采集模块与用户测试模块内往次标注数据提交历史记录的功能。该模块以分级展示策略，由大至小逐级展示用户操作记录。历史记录模块内的用户操作流程如图 4-3 所示。

用户从历史记录模块入口至单张图片及操作信息的详细显示共经过三级页面。一级页面为所有历史操作信息的列表显示页面。该页面中每行信息代表一次用户操作，没行内有三列，分别显示每次历史操作的操作时间、正确题数和错误题数。用户单击某一行信息可进入查看历史记录二级页面。二级页面内将以图形化方式显示该历史操作内每副图片序号及其对应的操作结果信息。其中每幅图片序号以阿拉伯数字形式显示，操作结果通过颜色进行区分。单击二级页面内某一序号，即可进入三级页面，查看序号对应的图片、用户标注类别、以及系统内参考判读类别。该页面也包含该图片的收藏状态信息，若图像处于未收藏状态，用户可选择收藏该图片。

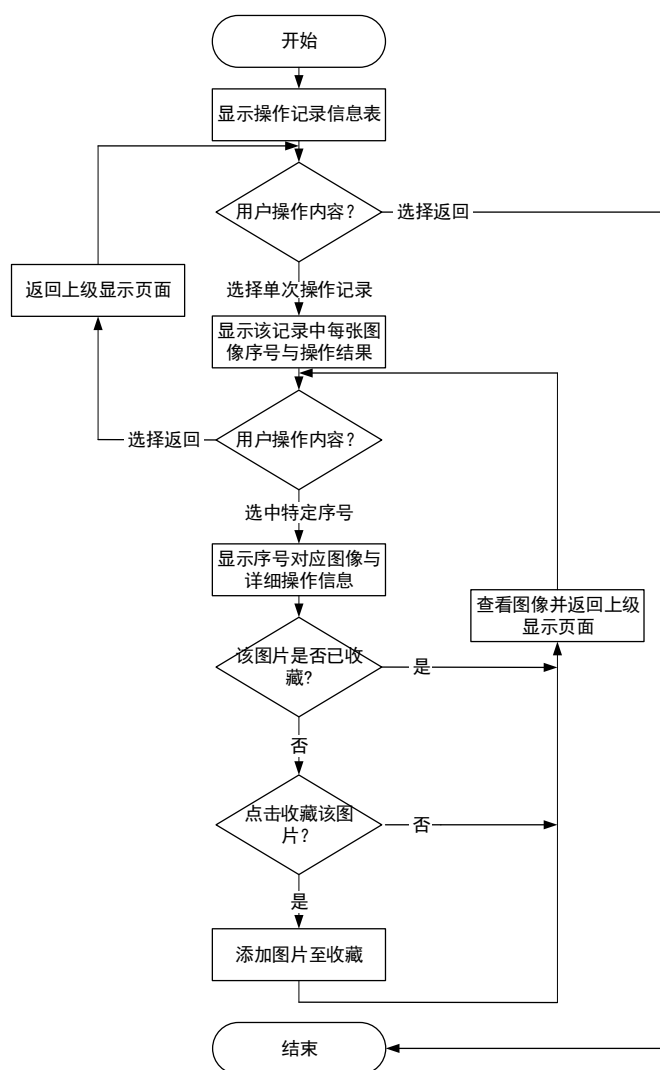


图 4-3 历史记录模块程序使用流程图

Fig. 4-3 Flowchart of history module program

#### (4) 图片收藏模块

图片收藏模块用于集中展示用户在标注数据采集模块、测试模块及历史记录模块中收藏的图片。用户在查看图片内容的同时，可以查阅用户的所选择的类别信息以及系统中的参考类别信息。另外，在收藏模块中，用户可以取消对该图片的收藏。

图片收藏模块采用两级页面设计。用户进入图像收藏模块后，可看到所有已收藏图像的缩略图在一级页面上排布为两列。用户可一级页面内可单击返回键，退出图片收藏模式，或单击选择某一张图片后，进入二级页面。二级页面内包含图像、用户标注类别、参考类别、取消收藏按键以及返回按键。

## 4.1.4 系统管理策略设计

### (1) 交互式标注数据管理

交互式标注数据管理策略是指，标注数据采集模块对应数据库中所包含的图像与其标注类别信息并非一成不变，而是受到系统采集到的用户添加标注类别信息影响的。

初始状态下，标注数据采集模块中的图片类别信息来源于 GPU 服务器中算法应用于图片数据后所得到的可能性较高的分类结果。这些分类结果中，置信度最高的结果将被系统设置为“参考结果”，其余分类结果将被记录为备选项。故初始分类结果主要取决于算法对图片信息的提取和解析。而系统引入交互式标注数据管理的策略后，当用户就某一图像给出类别标注结果后，该结果将存储于数据存储模块中。GPU 服务器会根据预设程序，按一定周期读取用户产生的标注数据，结合系统原始分类标注数据进行置信度分析，若存在另一类别选项的综合置信度高于原始“参考答案”，则系统会使用该类别选项替代原始“参考答案”。

交互式标注数据管理策略的应用，使系统在完成标注数据收集的同时，也可以更有效地运用数据对系统 GPU 服务器中图像分类算法的评估与迭代，帮助找出已有算法的不足之处，以提升算法性能。

### (2) 用户标注水平评估与反馈

用户标注水平的评估与反馈策略是指，系统通过用户测试模块中用户的测试结果对用户的标注水平进行分析评估，从而影响系统中用户标注数据的置信度。

用户的标注水平一般受到多种因素影响，包含用户对相关病理知识的掌握程度、数字病理图像阅片经验的丰富程度、图像所包含的信息等，且这些变量难以定量进行分析。因测试模块中图像内容较为典型且有经过审核的“标准答案”，故用户通过系统的测试模块进行测试所获得的结果，可以有效反映用户标注水平。系统中 GPU 服务器利用用户测试模式下获取的数据，可以对用户标注水平进行有效分析，计算得到反映用户标注水平的“置信度”。同时，用户的“置信度”也可在为系统分析标注数据采集模块中的数据提供参考。

## 4.1.5 数据库设计

以下按照自底向上的数据库构建方法，介绍移动端数字病理标注数据采集系统数据库的构建过程。

数据库的设计首先需要确立实体模型，建立实体。移动端数据主要含有用户实体、图像实体、标注操作记录实体和收藏记录实体。

随后应确立实体之间的关系。根据系统功能设计中的内容，用户在测试模块或标注数据采集模块中提交标注数据时，会生成一条操作记录实体，每条操作记录仅对应一位用户。而一条标注操作记录中可包含有多个图片实体的信息。同时某一张图片的信息可能被多条操作记录所保存。故标注操作记录实体与图片信息实体间存在多对多关系。当而用户对一张图片进行收藏操作时，对应一条图片收藏记录。每条独立的图片收藏记录仅属于一位特定用户，而一位用户可多次收藏不同的图片。而一条图片收藏记录实体包含唯一的图片信息实体。

由上述分析，可建立全局 E-R 图，如图 4-4 所示。

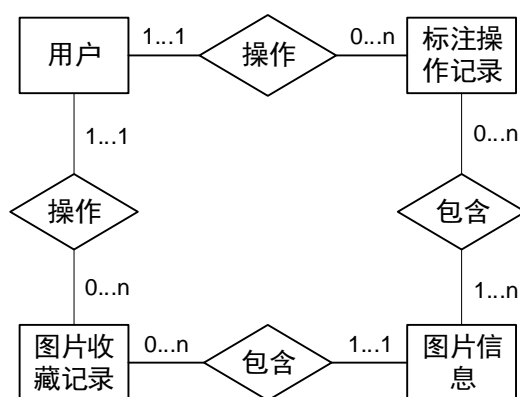


图 4-4 移动端数据库全局 E-R 图

Fig. 4-4 E-R diagram of global database for mobile system

根据所得到的 E-R 图，进一步将实体关系图转化为如下的关系模型。

- 1) 用户 (用户 ID，微信小程序用户唯一标识符，用户昵称，性别，语言，城市，省份，国家，注册时间)
- 2) 标注操作记录 (操作记录 ID，用户 ID，操作结果记录，图片信息详情，提交标注类别信息详情，提交时间)
- 3) 图片信息 (图片 ID，图片序号，图片存储路径，图片名，参考标注类别，备选标注类别 1，备选标注类别 2，备选标注类别 3，上传者注释信息)
- 4) 图片收藏记录 (收藏记录 ID，用户 ID，图片 ID，提交标注类别信息，收藏时间)

需要额外说明的是，用户表中主键（用户 ID）以外的属性信息均来源于小程序



所提供的用户信息，且上述信息仅在用户登录时检查更新。系统内部操作记录表与图片收藏记录表中均有外键指向用户表中的用户 ID。

另外，图片表中属性较多，数据存在一定冗余，但数据库中仍保留了这部分信息。以图像信息表中的存储路径信息为例，虽然不同的图像可能存在于相同的路径下，进而导致数据冗余。但实际操作中不同批次数据的存储路径难以保证完全一致，若新建数据表用于查询图片存储路径则会增加数据库的查询量。故采取“以空间换取时间”的思路，保留该字段以提升查询效率。同时在查询语句设计时，可以根据需要精确地选择数据列，减少不必要的查询内容。

以上为系统需建立以用户为中心，以图像信息、用户标注操作信息、用户收藏图片信息为内容支持的数据库的介绍。

## 4.2 移动端系统客户端实现

### 4.2.1 多页面应用技术与有限状态机原理应用

#### (1) 基于多页面应用技术的小程序页面框架实现

相比于 2.1.4 节中所述且应用于个人计算机上客户端的单页 Web 应用技术，小程序形式的移动设备开发中更适合参考多页面应用（Multi-Page Application, MPA）技术。其原因在于以下两点。其一，常规多页面应用的劣势之一是页面间跳转时，需要重新加载页面文件及资源，进而影响页面加载速度，用户体验下降。而小程序为开发者预留了相关接口，允许开发者配置和使用作用域为全局的文件及资源，且其支持用户通过模板实现代码复用，这些举措在很大程度上解决了多页面应用中资源文件重复加载的弊端。同时小程序本身具有轻量、快捷的特点，用户体验好于一般网页。其二，由于移动设备屏幕尺寸小及用户操作精细程度低的劣势，在移动设备客户端在运行过程中，其界面布局、内容变化较大。若使用单页面应用技术，内部逻辑更加复杂，且开发难度增大。使用多页面应用技术时，开发者可独立设计不同页面内容，减轻开发负担的同时，也使得系统开发更加灵活。

微信小程序开发主要基于 WXML（WeiXin Mark Language，微信标记语言）、WXSS（WeiXin Style Sheet，微信样式表）和 JavaScript 语言。其中 JavaScript 语言的使用与一般网页开发过程无明显区别，且 WXML 和 WXSS 相较于 HTML 和 CSS 在使用方法上仅存在少许差异。此外，小程序中提供了丰富友好的 API 供开发者使用。故在本节剩余部分中，将沿用网页应用的相关概念和介绍方式，不强调小程序

与一般网页的区别。

参考微信小程序官方文档<sup>[54]</sup>，结合系统客户端需求分析与设计，可知小程序将由一系列页面组成。为满足设计功能的需要，客户端小程序中共包含以下八种基础页面，如表 4-2 所示。

表 4-2 客户端功能模块与小程序页面设计对照表

Table 4-2 Description table of parallel analysis between client function module and Mini Program page design

小程序页面	标注数据采集模块	用户测试模块	历史记录模块	图片收藏模块
首页（功能入口）	△	△	△	△
分类标注页	△	△		
结果提交与反馈页	△	△		
历史操作列表页			△	
历史操作详情页			△	
已标注图片查看页			△	
收藏图片列表页				△
收藏图片查看页				△

## （2）基于有限状态机原理的小程序实现

有限状态机（FSM，Finite State Machine）是一种用于表现有限个状态以及状态间转移和动作的数学模型<sup>[55]</sup>。有限状态机所处的状态组成的集合是有限的，各状态间是离散的，故可用于计算机领域描述某一对象在生命周期内经过的状态序列，以及该对象对外界事件的响应<sup>[56]</sup>。用户使用客户端小程序时，程序会依据当前页面状态与用户操作决定其响应与页面间跳转。这种设计及实现策略符合有限状态机的特征。可将客户端界面视为观察的对象，不同种类、结构的页面即是不同的状态，在小程序正常运行时，客户端界面即在不同状态之间转换。

本节的后续内容将参考有限状态机原理，介绍微信小程序形式的移动设备上数字病理标注数据采集系统客户端的实现。

### 4.2.2 基于微信小程序的系统客户端实现

#### （1）客户端实现主要技术点

##### ① 用户登录与用户信息获取的实现

微信小程序允许开发者进行本地开发、测试，并上传审核通过后，通过微信平

台进行发布,实现其预设的功能。小程序实际运行并部署于微信的小程序服务器上,且为了维护用户数据安全,小程序服务器不直接向系统中的服务器提供用户登录信息。当用户进入小程序后,小程序服务器会为用户会话生成字符串形式的一次性的临时登录凭证,并通过客户端传回应用服务器。应用服务器使用该凭证和与小程序绑定的 `appid` 及 `appsecret` 向微信服务接口换取小程序用户唯一标识符 (`OpenID`) 等数据。此时系统应用服务器与数据存储模块可通过 `OpenID` 区分不同用户,并使用自定义用户状态 (用户 `ID`) 返回给客户端<sup>[54]</sup>。

## ② 页面生命周期与页面间跳转

小程序为开发者设计了大量的 `API` 以帮助开发者实现所需的功能。表 4-3 中介绍了本客户端开发中使用的主要 `API`。

表 4-3 客户端实现中常用的微信小程序 `API` 说明表

Table 4-3 Description table of the WeChat Mini Program `API` commonly used in client implementation

API 名称	类别	说明
<code>onLoad(options)</code>	页面生命周期函数	监听页面加载, <code>options</code> 可由用户自定义并用于参数传递
<code>onShow()</code>	页面生命周期函数	监听页面显示
<code>onUnload()</code>	页面生命周期函数	监听页面卸载
<code>wx.redirectTo(object)</code>	页面路由函数	关闭当前页面并跳转其他页面, <code>object</code> 必须含有 <code>url</code> 属性指定跳转目标
<code>wx.navigateTo(object)</code>	页面路由函数	保留当前页面并跳转指定页面, <code>object</code> 必须含有 <code>url</code> 属性指定跳转目标
<code>wx.navigateBack(object)</code>	页面路由函数	关闭当前页面并返回前期页面, <code>object</code> 必须含有 <code>delta</code> 属性指定返回页面的层级

除表中所述页面生命周期函数外,系统还提供了 `onHide` 和 `onReady` 函数分别对应页面隐藏事件与页面初次渲染事件。但在本客户端实现中不常用,故不在此讨论。`onLoad` 函数与 `onUnload` 函数监听页面的载入和卸载,当使用 `redirectTo` 函数进行页面间跳转时,现有页面将会卸载并运行 `onUnload` 中定义的内容。与 `redirectTo` 函数相对的是 `navigateTo` 函数,使用上述该函数进行页面跳转时,原始页面不被卸载,而是被隐藏并保存在页面栈中。开发者可利用 `navigateBack` 函数退回并显示页面栈中已有的页面,触发页面显示事件,运行返回目标页面对应的 `onShow` 函数内容。微信小程序中支持的最大页面栈数目为 10,如果页面栈中页面数量过多,将影响程序的正常使用。故在开发中根据页面需要使用不同的页面间跳转函数,实现页面与显

示内容间的正常有序切换，同时有效控制页面栈中页面数量不超过 10。

在使用页面路由函数时，其参数对应的 url 可指定小程序的跳转目标页面的路径，且该路径后面可携带多个参数。通过跳转时在 url 属性后添加自定义键值对形式的参数，当前页面可以向目标页面传递所需的参数，这些参数转变为目标页面 onLoad 函数中的参数并在新页面中直接使用。

## (2) 客户端功能模块实现

如图 4-5 所示，将小程序内八种基本页面视为客户端的八种状态，页面间的变化等同于观察对象的状态在用户操作驱动下不断转换。

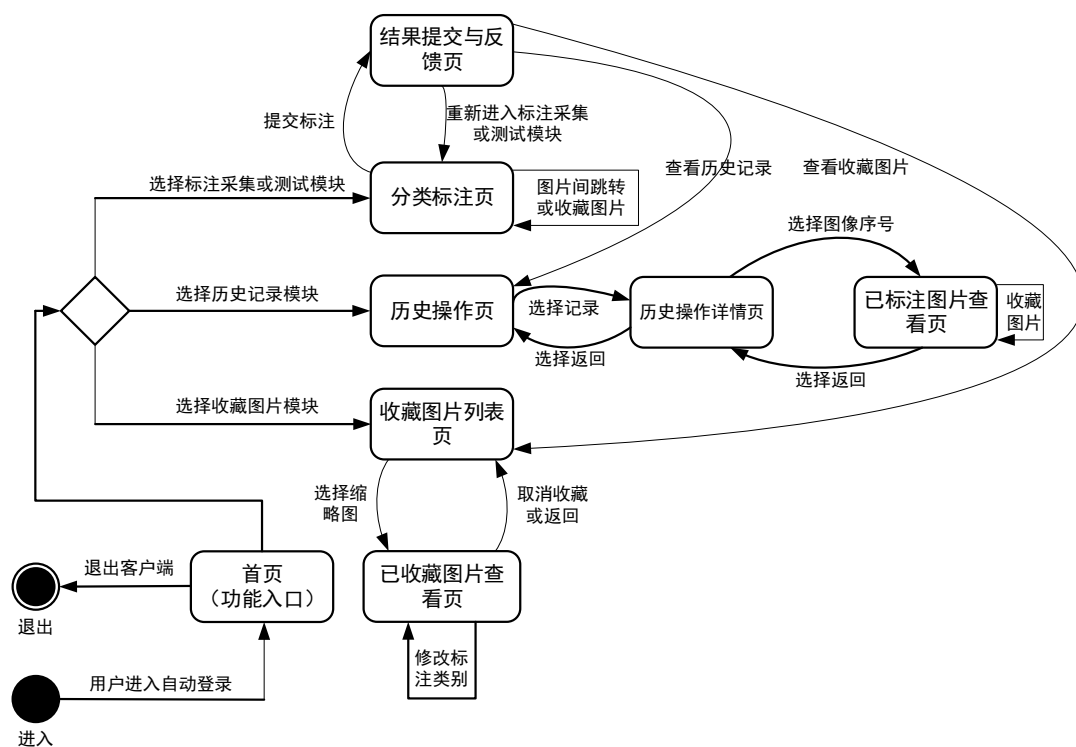


图 4-5 小程序页面跳转状态图

Fig. 4-5 State diagram of Mini Program pages' redirection

用户在通过搜索或链接进入微信小程序界面后，系统会申请用户授权并读取其基本账号信息，获取小程序中 OpenID 等数据。若用户为初次登录，应用服务器将在数据库用户表中创建新的条目，赋予其系统内通用的用户 ID。若用户曾授权并登录，则可直接进入客户端首页，即系统功能入口，如图 4-6 (a) 所示。



图 4-6 小程序基础页面图。(a) 客户端首页。(b) 分类标注页。(c) 结果提交页。(d) 历史操作列表页。(e) 历史操作详情页。(f) 已标注图片查看页。(g) 收藏图片列表页。(h) 收藏图片查看页。

Fig. 4-6 Diagram of basic pages in Mini Program. (a) Client home page. (b) Classification annotation page. (c) Result submission page. (d) History annotation operation list page. (e) History annotation details page. (f) History annotation detail page. (g) Picture collection list page. (h) Picture collection detail page.

在首页，用户可以通过四个功能按键选择进入对应模块的相关页面。若用户选择标注数据采集模块或测试模块按键，客户端将会向后台请求待标注图像及备选项数据，并将数据显示于分类标注页中，如图 4-6 (b)。用户在分类标注页中可通过跳转按键、收藏按键和选项键在同组所有图片间进行跳转、收藏和标注类别信息选择。当用户完成改组所有标注或测试后，可在分类标注页内提交结果。系统应用服务器将比对用户提交标注结果与数据库中参考标注结果进行比对，并将比对结果返回至



客户端。客户端接收比对结果后，将其显示于结果提交与反馈页内，如图 4-6 (c)。至此，用户完成整个标注采集模块或测试模块中的流程。在结果提交与反馈页内，用户可以选择重新开启标注采集或测试模块，进行一组新的标注。用户也可以选择进入图片收藏模块或历史操作模块。

当用户点击进入历史记录模块，客户端将跳转至历史操作记录页，即 4.1.3 节中提及的一级页面，如图 4-6 (d)。用户在历史操作页中，可单击选择某条记录，页面将跳转至历史操作详情页，并显示图像序号并用颜色区分用户标注数据与数据库中参考标注类别的比对结果，如图 4-6 (e)。当用户点击某一序号，则可在已标注图像查看页中查看图片与标注信息详情，如图 4-6 (f)。若用户未收藏该图片，则可在页面内收藏此图片。

当用户希望查看已收藏图片，则可通过点击按钮进入图片收藏模块。进入该模块后，用户可查看图片列表收藏页，用户已收藏的图像缩略图在该页面内以两列形式展示，如图 4-6 (g)。用户单击某一缩略图后，可通过已收藏图像查看页获取详细信息，并可在页面内修改用户对该图片标注类别，或取消对该图片的收藏，如图 4-6 (h)。

如上所述，八个页面对应有限状态机原型中的八个状态。其中已收藏图像查看页图 4-6 (h) 与已标注图像查看页图 4-6 (f) 所对应的状态不同，但在页面内容、页面布局存在较多相似点。因而，在系统页面的实现中，两种状态所对应的页面框架文件 (WXML 文件、WXSS 文件与 JavaScript 文件) 一致，以实现页面显示的相似性，同时也减轻了程序设计的工作量。而两不同状态下页面的差异性，则是通过页面加载时传入不同参数的方法实现的。

以上描述了系统客户端四个功能模块的基本实现。根据 4.1.3 中的系统设计，以上功能实现中页面间跳转与数据加载依赖于系统整体配合，并由用户操作驱动的。

## 4.3 移动端系统测试

完成系统的整体构建后，需要对系统进行测试，以验证系统功能。以下邀请了 6 位标注用户参与本次测试。测试内容设计为用户使用系统对 800 张尺寸为 1024×1024 pixel (0.486 μm/pixel) 图像进行分类标注数据采集，并与系统中 GPU 服务器生成的标注类别“参考结果”进行比对。

系统为该测试设计并预留了独立入口，并将 800 张图片平均分为四组，用户每



次可完成一组图片的标注。每组图片在提供给用户进行标注前，系统会将其顺序打乱。为适应 GPU 中图像算法功能、简化用户操作，测试中将图像类别由正常至严重病变共分为三级，依次为：正常、无明确诊断意义的鳞状上皮细胞病变（ASC-US）和鳞状上皮内病变（HSIL 和/或 LSIL）。图像分类的依据是参考给出图像中所含细胞在病理分级中最严重的级别，作为整个图像的级别。其中计算机给出类别为正常的图像 400 张，其余两种类别图像均为 200 张。6 位用户给出的分类结果与 GPU 服务器上运行算法给出结果的混淆矩阵如下表 4-4 所示。

表 4-4 用户测试分类与计算机算法分类结果混淆矩阵表

Table 4-4 Table of confusion matrix for classification results between six users and computer algorithm

用户	用户判断类别	ASC-US	HSIL 和/或 LSIL	正常
A	ASC-US	<b>63</b>	35	19
A	HSIL 及 LSIL	61	<b>112</b>	15
A	正常	76	53	<b>366</b>
B	ASC-US	<b>46</b>	57	7
B	HSIL 及 LSIL	55	<b>90</b>	5
B	正常	99	53	<b>388</b>
C	ASC-US	<b>59</b>	53	22
C	HSIL 及 LSIL	54	<b>94</b>	12
C	正常	87	53	<b>366</b>
D	ASC-US	<b>65</b>	52	16
D	HSIL 及 LSIL	57	<b>94</b>	5
D	正常	78	54	<b>379</b>
E	ASC-US	<b>134</b>	123	48
E	HSIL 及 LSIL	36	<b>61</b>	7
E	正常	30	16	<b>345</b>
F	ASC-US	<b>30</b>	47	4
F	HSIL 及 LSIL	29	<b>57</b>	1
F	正常	141	96	<b>395</b>

表中行标题代表图像识别算法给出的图像类别标注结果，列标题表示用户给出的判断类别。其中字体加粗的数据表示两者给出标注数据一致。观察分析表中内容可知，用户与计算机标注类别的主要差别产生在计算机给出 ASC-US 以及 HSIL 或(和) LSIL 类别时，用户给出的分类标注与其不一致。计算机与六位用户的标注类别结果混淆矩阵的卡帕系数（Cohen's  $\kappa$ ）分别为 0.46，0.41，0.41，0.45，0.48 和 0.28，前

五组数据可认为具有较好的一致性<sup>[57]</sup>。

造成计算机辅助标注类别与用户标注类别不一致的原因可能有以下三种来源。其一，病理图像的分类、分级仅有文字性的指南，没有完全一致的可比对的标准，因其自身经验积累与知识掌握程度的不同，不同用户的对图像标注类别的理解的判断存在差异。其二，病理图像间细胞与组织的形态存在变化，不同阶段间存在过渡，没有明确的界限。如 ASC-US 类别特征存在非典型性，实际阅片中，用户难以进行完全准确的分类。其三，GPU 服务器用通过运行图像算法为图片添加的标注类别受限于算法在目标图像上的准确率。其分类准确性尚未得到检测和认定。

由上述测试结果及分析可知，移动端系统在测试中运行稳定、表现良好，可满足设计的分类标注数据采集功能。同时，系统内 GPU 服务器所提供的分类标注结果与用户标注结果之间存在较好的相似性，既说明用户标注水平可通过系统进行一定区分，也验证了系统内管理策略应用具有探索和实践意义。

## 4.4 本章小结

本章围绕着移动端系统的设计与实现，按照方案设计、系统实现和测试的结构进行了介绍。

区别于应用于拥有丰富外部设备的 PC 端，移动端设备的输入设备、用户操作精度均有一定限制。基于上述事实，通过分析确定了移动端的标注任务类别为分类标注，并为客户端设计了四个功能模块，分别为：标注数据采集模块、用户测试模块、历史记录模块与图片收藏模块。系统通过交互式标注数据管理和用户标注水平评估与反馈策略可以实现对标注数据的充分利用，辅助目标分类算法的建立与优化。最后，在系统测试环节中，6 位用户进入系统预留的独立功能入口，对 800 张图像进行了分类标注，并与图像分类算法给出的标注数据进行对比。测试与对比结果显示，6 位用户中的 5 位给出的标注数据与计算机标注间的一致性达到中等水平。

## 5 总结与展望

### 5.1 论文工作总结

本文主要内容是基于 Web 的数字病理标注数据采集与管理系统设计与实现，主要分为两个部分。第一部分由第二章与第三章组成，介绍的是应用于 PC 端的系统设计与实现，满足了区域标注数据的采集需求。第二部分对应文中第四章的内容，是适用于移动设备的系统设计与实现，实现了在移动端进行分类标注数据采集的功能。

对于 PC 端采集系统的设计与实现，主要包含系统结构、客户端功能与管理策略三个部分。其中，系统结构包含客户端、应用服务器、在线客户端和 GPU 服务器四个部分。用户通过客户端与系统进行交互，实现系统对标注数据的采集。其他部分均由开发者进行维护管理，与客户端协同实现系统的完整功能。客户端功能包含了数据显示与浏览功能、修改与标注功能和快捷键辅助功能。通过客户端基本功能，用户实现了对数字病理图像的流畅浏览、对标注数据的快速操作。系统管理策略包含一对多样本数据管理策略、多层级用户管理策略和计算机辅助数据管理策略。一对多样本数据管理策略的应用，保障了系统内用户数据的独立性，提升了标注数据的可靠性。多层级用户管理策略可以协助开发者及系统工程师对用户数据质量进行有效区分，提升系统对不同用户来源数据质量的统筹管理。计算机辅助数据管理策略可协助系统开发和算法工程师进行标注数据的生成与比对，进而将用户新增标注操作转化为对系统生成标注的修改，在提升标注数据的同时实现了对图像识别算法的检验和加速迭代。系统综合应用测试结果表明，该系统的使用可缩短用户的单位标注时间，提高单位时间内用户采集标注数据的数量。同时，通过系统中管理策略所获得的标注数据质量是可接受的，并有进一步提升的空间。

通过分析移动设备与 PC 间的特性差异，作者设计实现了以采集分类标注数据为主要功能的移动端系统。区别于 PC 端采集的含有轮廓信息的区域标注数据，分类标注数据仅需要用户根据图像提供类别信息，而无需指定轮廓。此外，移动端的系统结构与 PC 端系统基本一致，技术应用上的区别在于移动端系统的客户界面的实现是基于微信小程序技术，而非传统网页。微信小程序在满足基本功能实现的前提下，具有开发成本低、产品体验良好的优点，可被用户广泛接受的优点。移动端系统的

客户端主要包含四个功能模块，分别为标注数据采集模块、用户测试模块、图片收藏模块与历史记录模块。结合系统内的交互式标注数据管理策略与用户标注水平评估与反馈策略，系统在满足标注数据采集需要的同时，还可为用户提供水平测试与图片回顾功能，满足了实际应用中用户间讨论学习的需求。对移动端系统进行的测试表明，系统运行流畅、用户体验良好，各功能模块可正常运转。用户标注数据与系统生成标注数据的对比表明，系统可对用户标注水平在一定程度上进行区分，并验证了系统内管理策略应用具有探索和实践意义。

目前，上述 PC 端系统已投入使用超过 1 年的时间，移动端系统也已投入使用超过半年。用户可通过上述系统完成在线标注数据采集，对相关图像算法构建、辅助诊断研究推进有重要意义。

## 5.2 未来工作展望

本研究根据实际需要，设计实现了基于 Web 的标注数据采集系统，并投入使用，完成了部分标注数据采集任务。在本文研究工作的基础上，上述系统仍有一定的改进空间，下面将分点描述可能的改进方案。

### 5.2.1 可视化后台管理界面开发

相较于本文中所提到的客户端部分，系统的其他部分，即应用服务器、数据存储模块和 GPU 服务器都被认为是系统的后台。现有后台功能的维护均依赖于系统工程师对上述模块的直接操作，如上传和更新数据库中数据、为用户设置分组、更新 GPU 服务器中预设的程序等。以上操作大多通过命令行实现，这要求使用者对系统内各模块内容及工作原理都有较好的理解，并掌握基本的操作规范。后台管理对专人的依赖一方面提高了系统的维护成本、降低了系统运行效率；同时操作者的失误可能对系统产生较大的负面影响，降低了系统的稳定性。

解决后台管理中的常见问题，降低后台维护门槛的常见方法是开发适用于该系统的可视化管理界面。常见的可视化后台管理页面有，云服务器管理平台、等。可视化管理界面的实施对系统维护人员可起到杠杆作用，多数的日常的维护工作都可以通过管理界面实施，降低维护成本的同时，也减少了人工操作出现错误的机会。另一方面，系统配套后台管理界面的实现也更利于系统的推广和应用。

## 5.2.2 移动端区域标注功能开发

如 4.1 节中的分析，移动端输入设备与 PC 端输入设备不同，使得移动端系统操作功能上存在一定局限。故系统设计时，为移动端分配了分类标注数据采集任务，不同于 PC 端的区域标注任务。该任务分配与系统设计是基于现阶段需求与开发成本的综合考虑。

但在移动端实现区域标注功能并非不可实现，如 LabelMe 应用即支持用户通过手机应用对用户图像进行区域标注<sup>[34]</sup>。在已有的手机应用市场和微信小程序应用库中，也存在如“你画我猜”等应用，支持用户在绘图区绘制相应的图形<sup>[58]</sup>。在未来系统应用中，可根据需要在移动端系统开发相应的功能，帮助用户实现在移动端进行图像区域标注数据采集。

## 5.2.3 系统间的耦合与应用展望

本研究中设计的系统具有较高的独立性与实用性。在实际应用中，数字病理图像标注数据的采集与管理与其他系统应用密不可分，如数字病理图像的采集系统，数字病理图像的辅助判读与诊断系统等。

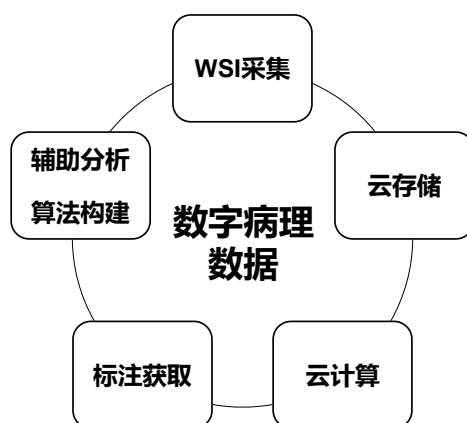


图 5-1 数字病理相关应用技术示意图

Fig. 5-1 Schematic diagram of digital pathology related applied technology

如图 5-1 所示，以数字病理数据为中心，涉及多种技术的应用，如 WSI 数据采集、标注数据获取、云存储、云计算等。上述技术是构建数字病理领域的研究与应用系统的基础，并具有规范而清晰的应用和实践流程。数字化病理图像需先由硬件进行采集，再应用图像识别算法应用进行分析判读，后续相关数据可由科研人员收集后进行精细标注与算法开发。此外，上述图像采集系统、辅助诊断系统与本系统

在功能上具有一定的相似和重叠，且在应用技术上也有共通之处。例如，上述系统均需要具备高分辨率图像的显示功能，图像截取功能与用户区域标注功能等。

所以，在本系统设计的完整结构基础上，可与数字病理图像采集系统、数字病理图像辅助判读系统等有关系统进行耦合，共享数据存储、数据计算的等技术 with 功能模块，优化整体工作流程，提升数字病理图像分析与数据应用效率。



## 致 谢

感谢指导老师曾绍群教授对我的指导和培养。从本科期间所在班级的班主任，到研究生期间的指导老师，感谢曾老师在学习科研上提供的形式丰富的教育和指导，以及在课外生活所给予的理解和关心。所学的知识也许会被更新替代，但习得的思维方法将会受益终身。

感谢刘秀丽老师在项目选题、课题完成中的具体教导和帮助，特别是在图像判读的研习、系统测试以及论文写作等环节的参与。与刘老师在科研和生活上顺畅的沟通 and 交流，也是我难忘的回忆。

感谢白柯师兄和韩威师弟在本课题中系统网络服务器、数据存储模块的实施和完善中所做的工作。感谢程胜华师兄、马嘉波、李旭和俞静雅所完成的系统 GPU 服务器搭建、计算机辅助标注数据生成工作，以及刘秀丽老师、饶龚、方雅萍、付青柳和肖雨薇在系统测试、标注样本采集上的参与。

感谢研究生期间吕晓华老师、全廷伟老师在科研上的指导和参与。

感谢 G101 办公室小伙伴在我刚来时帮我从实验室另一头搬来办公桌，以及与各位的朝夕相处。感谢组内同年级小伙伴刘越、黄飞、熊雨苗、陈瑞希和熊丰一直以来的相互支持。感谢系统组的师兄师姐胡庆磊、张其、杨雄、李宁、刘灵、尹芳芳、白柯、李培在科研工作上的指导和帮助。也感谢系统组内一同轮班的师弟师妹刘晓翔、李云、王雨。感谢生物组、图像组师兄师姐程胜华、王小俊、刘钰蓉、张慧敏、郭文炎等在科研工作中帮助，以及 zsqqgroup 组内其他的同学们。

感谢李浩洪老师以及 Li Lab 组的同学们的帮助。

感谢光电国家研究中心提供的德育助理岗位的实践机会，以及研究生办公室的辅导员、老师们的教导。

最后，感谢研究生期间一直支持我、鼓励我克服困难的家人、好友和男朋友，你们是我生活中美好事物与形容词的集合。谢谢你们与我一起分享的时光。

田靓

2019 年 5 月于华中科技大学

## 参考文献

- [1] A. Esteva, B. Kuprel, R. A. Novoa, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017, 542(7639) : 115-118.
- [2] Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton. Deep learning. *Nature*. 2015, 521(7553) : 436-444.
- [3] <http://www.gov.cn/zhuanti/2019qglh/2019lhzfzbg/index.htm>.
- [4] S. M. Anwar, M. Majid, A. Qayyum, et al. Medical image analysis using convolutional neural networks: a review. *J Med Syst*. 2018, 42(11) : 226.
- [5] A. Bagbaba, B. Sen, D. Delen, et al. An automated grading and diagnosis system for evaluation of dry eye syndrome. *J Med Syst*. 2018, 42(11) : 227.
- [6] J. De Fauw, J. R. Ledsam, B. Romera-Paredes, et al. Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. *Nat. Med*. 2018, 24(9) : 1342-1350.
- [7] V. Gulshan, L. Peng, M. Coram, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*. 2016, 316(22) : 2402-2410.
- [8] K. Zhang, X. Liu, F. Liu, et al. An interpretable and expandable deep learning diagnostic system for multiple ocular diseases: qualitative study. *J. Med. Internet Res*. 2018, 20(11) : e11144.
- [9] M. Nikravan, E. Ebrahimzadeh, M. R. Izadi, et al. Toward a computer aided diagnosis system for lumbar disc herniation disease based on MR images analysis. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*. 2016, 28(06) : .
- [10] G. Litjens, C. I. Sanchez, N. Timofeeva, et al. Deep learning as a tool for increased accuracy and efficiency of histopathological diagnosis. *Sci Rep*. 2016, 6 : 26286.
- [11] 陈柳青. 数字病理切片简介及其在皮肤科的运用. *中国中西医结合皮肤性病学杂志*, 2014, 13(1) : 46-48.
- [12] 曹萍, 曲本祥. 病理技术 HE 染色在病理诊断中的应用价值. *影像研究与医学应用*, 2018, 2(19) : 206-207.
- [13] 孙家栋. 简明护理病理学. (第一版). 北京: 科学技术文献出版社, 2000, 5-6.
- [14] 郑众喜. 拥抱数字病理时代. *实用医院临床杂志*, 2017, 14(5) : 6-9.
- [15] R. S. Weinstein, A. R. Graham, L. C. Richter, et al. Overview of telepathology, virtual microscopy, and whole slide imaging: prospects for the future. *Hum. Pathol*.

- 2009, 40(8) : 1057-1069.
- [16] M. N. Gurcan, L. E. Boucheron, A. Can, et al. Histopathological image analysis: a review. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* 2009, 2 : 147-171.
- [17] M. Aubreville, C. Bertram, R. Klopffleisch, et al. SlideRunner - A tool for massive cell annotations in whole slide images. *Bildverarbeitung für die Medizin* 2018. 2018 : 309-314.
- [18] S. Park, A. V. Parwani, R. D. Aller, et al. The history of pathology informatics: a global perspective. *J. Pathol. Inform.* 2013, 4 : 7.
- [19] C. S. Kruse, P. Karem, K. Shifflett, et al. Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review. *J. Telemed. Telecare.* 2018, 24(1) : 4-12.
- [20] C. Higgins. Applications and challenges of digital pathology and whole slide imaging. *Biotech Histochem.* 2015, 90(5) : 341-347.
- [21] C. L. Cheng, P. H. Tan. Digital pathology in the diagnostic setting: beyond technology into best practice and service management. *J Clin Pathol.* 2017, 70(5) : 454-457.
- [22] J. Cuzick, C. Clavel, K. U. Petry, et al. Overview of the European and North American studies on HPV testing in primary cervical cancer screening. *Int J Cancer.* 2006, 119(5) : 1095-1101.
- [23] M. Arbyn, X. Castellsague, S. de Sanjose, et al. Worldwide burden of cervical cancer in 2008. *Ann Oncol.* 2011, 22(12) : 2675-2686.
- [24] 覃丽蓉. 宫颈液基薄层细胞学检测在筛查宫颈癌前病变中的价值. *中国现代药物应用*, 2019, 13(5) : 35-37.
- [25] E. Davey, J. d'Assuncao, L. Irwig, et al. Accuracy of reading liquid based cytology slides using the ThinPrep Imager compared with conventional cytology: prospective study. *BMJ-British Medical Journal.* 2007, 335(7609) : 31.
- [26] 张露丹, 张建华, 张瑾等. 对比传统巴氏涂片法与液基细胞学法在宫颈癌筛查中的作用. *中国性科学*, 2018, 27(12) : 34-36.
- [27] 赵澄泉, 周先荣, 隋龙等. 宫颈癌筛查及临床处理: 细胞学、组织学和阴道镜学. (第一版). 北京: 北京科学技术出版社, 2017, 1-18.
- [28] 潘秦镜, 李凌, 张询等. 液基细胞学筛查宫颈癌的研究. *中华肿瘤杂志*, 2001, 23(4) : 309-312.
- [29] R. Nayar, D. C. Wilbur. The Bethesda System for reporting cervical cytology:

- definitions, criteria, and explanatory notes. Third Edition. 陈小槐主译. 北京: 科学出版社, 2018, 272-276.
- [30] M. E. Sherman, A. Dasgupta, M. Schiffman, et al. The Bethesda Interobserver Reproducibility Study (BIRST): a web-based assessment of the Bethesda 2001 System for classifying cervical cytology. *Cancer*. 2007, 111(1) : 15-25.
- [31] <https://stardust.ai/#>.
- [32] 许燕, 汤烨, 闫雯等. 病理人工智能的现状和展望. *中华病理学杂志*, 2017, 46(9) : 593-595.
- [33] 闫雯, 汤烨, 张益肇等. 深度学习在数字病理中的应用. *中国生物医学工程学报*, 2018, 37(1) : 95-105.
- [34] B. C. Russell, A. Torralba, K. P. Murphy, et al. LabelMe: a database and web-based tool for image annotation. *Int J Comput Vision*. 2008, 77(1-3) : 157-173.
- [35] <https://github.com/tzutalin/labelImg>.
- [36] C. Gianluigi, N. Paolo, S. Raimondo. IAT - Image Annotation Tool: manual. CoRR. 2015.
- [37] [https://github.com/frederictost/images\\_annotation\\_programme](https://github.com/frederictost/images_annotation_programme).
- [38] J. C. F. de Winter, M. Kyriakidis, D. Dodou, et al. Using CrowdFlower to study the relationship between self-reported violations and traffic accidents. *Procedia Manuf*. 2015, 3 : 2518-2525.
- [39] <http://rectlabel.com/>.
- [40] F. de Chaumont, S. Dallongeville, N. Chenouard, et al. Icy: an open bioimage informatics platform for extended reproducible research. *Nat Methods*. 2012, 9(7) : 690-696.
- [41] A. E. Carpenter, T. R. Jones, M. R. Lamprecht, et al. CellProfiler: image analysis software for identifying and quantifying cell phenotypes. *Genome Biol*. 2006, 7(10) : R100.
- [42] <https://www.computationalpathologygroup.eu/software/asap/>.
- [43] P. Bankhead, M. B. Loughrey, J. A. Fernandez, et al. QuPath: open source software for digital pathology image analysis. *Sci Rep*. 2017, 7(1) : 16878.
- [44] R. Maree, L. Rollus, B. Stevens, et al. Collaborative analysis of multi-gigapixel imaging data using Cytomine. *Bioinformatics*. 2016, 32(9) : 1395-1401.
- [45] M. S. Mikowski, J. C. Powell. Single Page Web Applications:JavaScript end-to-end. 包永明主译. 北京: 人民邮电出版社, 2014, 3-20.

- [46] [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/silverlight/dotnet-windows-silverlight/cc645050\(v=vs.95\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/silverlight/dotnet-windows-silverlight/cc645050(v=vs.95)).
- [47] [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/dotnet/articles/ms950721\(v=msdn.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/dotnet/articles/ms950721(v=msdn.10)).
- [48] <https://www.jianshu.com/p/2effb367aaf0>.
- [49] 宫承波, 孙宇. 依托小程序的媒体融合路径探索. 当代传播, 2019, 2 : 44-47.
- [50] 廖伟国, 谢杰新, 胡婉玲等. 基于微信小程序的校园资讯平台的页面设计与实现. 科技创新与应用, 2019, 9 : 21-23.
- [51] 杨乃, 李洋. 微信小程序与公众号在野外地质实习中的应用. 实验技术与管理, 2019, 36(2) : 246-251.
- [52] <https://36kr.com/p/5189820>.
- [53] <http://tech.hexun.com/2019-04-04/196715780.html>.
- [54] <https://developers.weixin.qq.com/miniprogram/dev/index.html>.
- [55] 李骞, 胡扬帆, 刘培等. 基于有限状态机与 WebSocket 投票系统. 计算机系统应用, 2018, 27(2) : 64-70.
- [56] [www.ibm.com/developerworks/cn/linux/l-fsmachine](http://www.ibm.com/developerworks/cn/linux/l-fsmachine).
- [57] W. Tang, J. Hu, H. Zhang, et al. Kappa coefficient: a popular measure of rater agreement. Shanghai Arch Psychiatry. 2015, 27(1) : 62-66.
- [58] 佚名. 达人推荐用有道词典玩转 Draw Something. 软件天地, 2012, 38(6) : 20.

## 附录 攻读学位期间申请或授权的专利

- [1] 吕晓华, 曾敬思, 曾绍群, 刘越, 田靓, 程胜华, 李宁, 尹芳芳, 毛叶红. 一种真菌样本显微成像及智能识别系统及方法, 专利号: 201810863813.1
- [2] 曾绍群, 吕晓华, 刘越, 田靓, 程胜华. 一种真菌显微图像中致病相的自动识别方法及系统, 专利号: 201810866461.5
- [3] 刘越, 吕晓华, 曾绍群, 田靓, 程胜华, 陈知行. 基于深度语义分割的真菌显微图像分割检测方法及系统, 专利号: 201810866455.X
- [4] 程胜华, 吕晓华, 曾绍群, 刘越, 田靓. 基于卷积神经网络的真菌显微图像分割检测方法及系统, 专利号: 201810866451.1