

分类号：

学校代码：

密 级：公开

学 号：



西北大学  
Northwest University

# 博士学位论文

DOCTORAL DISSERTATION

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

作 者：

指导老师：

西北大学学位评定委员会

二〇二 年



# Research on MR Image Processing Technologies via Imitating the Mechanisms of Visual Context

A dissertation submitted to  
Northwest University  
in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Doctor of Philosophy  
in Your major here - Computer Applied Technology

By

Your name

Supervisor: Adviser's name Professor

\* 20\*\*



## 西北大学学位论文知识产权声明书

本人完全了解西北大学关于收集、保存、使用学位论文的规定。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。本人允许论文被查阅和借阅。本人授权西北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。同时授权中国科学技术信息研究所等机构将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》或其它相关数据库。

保密论文待解密后适用本声明。

学位论文作者签名：\_\_\_\_\_指导教师签名：\_\_\_\_\_

年 月 日 年 月 日

---

## 西北大学学位论文独创性声明

本人声明：所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，本论文不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西北大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。学位论文作者签名：

年 月 日



## 摘要

临床诊断决策依赖于推理等复杂的感知和认知活动：医生首先提出有病假设，然后通过观察影像等信息验证假设；经过多轮推理，在充分消除信息非确定性的基础上，形成最终的诊断结论。相较于目前应用于辅助诊断决策的计算机视觉算法，尽管它们能充分挖掘影像特征和诊断结论之间的映射关系，却还无法像医生一样处理影像中的非确定性信息，进而无法“充分”融入到基于推理的诊断工作流程中。

围绕医生如何消除影像信息非确定性的感知和认知规律这一基本问题，本文开展了系统、深入的研究。考虑到诊断任务的复杂性，本文仅聚焦于“初级视觉感知”规律，具体来说，即视觉系统利用整体信息消除局部信息歧义的上下文工作机制。通过模仿该机制，提升了传统计算机视觉算法自适应性。本文五个研究内容概括如下：

**关键词：**上下文计算视觉模型， 超像素





## ABSTRACT

To make a diagnostic decision, doctors rely on a list of perceptual and cognitive behaviors for reasoning. A doctor would first hypothesize a patient with unknown health problems, and then, verify the hypothesis by observing the patient’s magnetic resonance (MR) scans. After rounds of inference, the doctors eventually draw the conclusion only if they have eliminated information ambiguity. By contrast, although existing computer-aided diagnosis algorithms can fully mine the correlation between image features and diagnostic conclusions, these algorithms cannot deal with information ambiguity as doctors do. Therefore, they cannot be effectively embedded in the evidence-based diagnosis workflow.

For unveiling how a doctor’s visual system eliminates information ambiguity, this dissertation presents a systematical and thorough investigation. Considering the complexity of diagnostic activities, this manuscript only focuses on the primary visual functions of a doctor’s individual activities, exploring how visual context eliminates information ambiguity. What follows, the author attempts to imitate such mechanisms to build a ”computational vision model” in guiding to design ”computer vision algorithms” that can adaptively cope with the ambiguity in MR images. The author’s five contributions are summarized as follows:

Keywords: Context-based computational vision model, Superpixel



## 插图索引

|     |                      |   |
|-----|----------------------|---|
| 1.1 | 四种不同层级的视觉歧义性现象 ..... | 2 |
| 1.2 | 论文主要架构 .....         | 3 |



## 表格索引



## 目录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 摘要 .....                     | I   |
| ABSTRACT .....               | III |
| 插图索引 .....                   | V   |
| 表格索引 .....                   | VII |
| 第一章 绪 论.....                 | 1   |
| 1.1 视觉上下文相关概念引入 .....        | 1   |
| 1.2 论文组织结构.....              | 3   |
| 第二章 视觉上下文的感知计算建模 .....       | 5   |
| 2.1 视觉上下文的行为表现—格式塔感知机制 ..... | 5   |
| 第三章 总结与展望 .....              | 7   |
| 3.1 全文总结 .....               | 7   |
| 3.2 工作展望 .....               | 7   |
| 参考文献 .....                   | 9   |
| 攻读博士学位期间取得的科研成果 .....        | 10  |
| 致谢 .....                     | 13  |
| 作者简介 .....                   | 14  |





## 第一章 绪 论

经历了长期的自然选择进程，哺乳动物们演化出近似的大脑生理结构。尽管不同物种的大脑皮层有所差异，但其工作机制都表现出层次性（Hierarchical），双向性（Bidirectional），专门化（Specialization）和综合化（Integration）的特点<sup>[1]</sup>。在缺乏“无创”手段观察人类大脑的技术条件下，通过观察哺乳动物（如猫<sup>[1]</sup>、猕猴<sup>[1]</sup>等）的大脑，研究者们对大脑工作方式有了基本认识<sup>[1]</sup>。随着人们越来越清楚大脑的工作机制<sup>[1]</sup>；这些感知、认知规律发挥着指导性作用，被用来开发人类智能<sup>[1]</sup>，训练年轻医生应对临床信息的非确定性、优化诊断流程<sup>[1]</sup>，甚至还作为基础理论，指导“人工智能”研究者们设计“模仿人类智能”的工具<sup>[1]</sup>。特别是“计算机视觉”技术的发展，就受益于心理学和认知神经科学的规律发现<sup>[1]</sup>，现已被应用到包括了计算机辅助诊断的多个领域<sup>[1]</sup>。

### 1.1 视觉上下文相关概念引入

在探索大脑功能的进程中，人们对复杂感知和认知工作机制的认识，通常都依赖于更基础功能的发现。从发现单个神经元的生理功能开始，到逐渐探明大脑皮层上多个区域的功能，再到现在，了解到多个脑区之间协同的现象，有越来越多的研究者认识到了视觉上下文工作机制的作用<sup>[1]</sup>。由于视觉信息占人类获取信息总体的八成以上<sup>[1]</sup>，而且大脑皮层上负责处理视觉信息的脑区数目相应地比负责其它感官信息的更多<sup>[1]</sup>，视觉上下文工作机制揭示的自适应性规律具有一定的普遍性。为了清楚地阐述视觉上下文工作机制及其作用，避免相关概念在不同语境中的歧义，本节内容首先阐述相关概念。

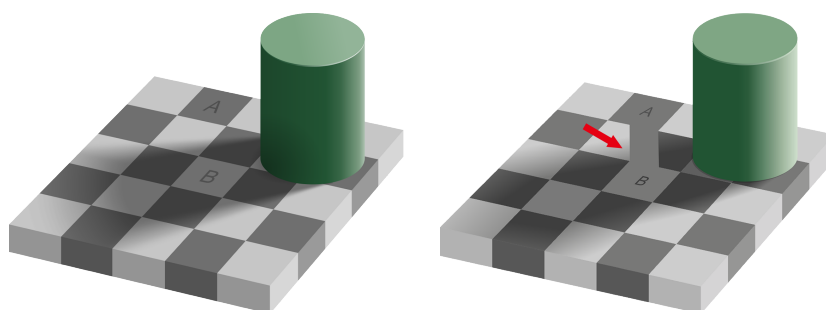
图1.1展示了四种层级上的信息歧义或非确定性，分别是：（a）物理外观（Physical Appearance），A、B块的灰度相同<sup>1</sup>；（b）基本类别（Basic-Level Categories），是“打火机”，也可以是“手枪”<sup>2</sup>；（c）场景关联（Contextual Relations），黑色的目标是“吹风机”，也可以是“手电钻”<sup>3</sup>；（d）语义关联（Semantic Relations），是“A”，是“B”，也是“H”<sup>4</sup>。这些现象带来一个问题——如果相同的刺激只能激活同一个脑区，为什么会引发不同的感知和认知？传统的特征不变性理论无法对此做出合理解释。

<sup>1</sup>图片来源：[https://en.wikipedia.org/wiki/Checker\\_shadow\\_illusion](https://en.wikipedia.org/wiki/Checker_shadow_illusion)

<sup>2</sup>图片来源：<https://www.dhgate.com/product/pkk-all-metal-pistol-double-fire-lighter/398614542.html#seo=WAP>

<sup>3</sup>图片来源：<https://www.nature.com/articles/nrn1476>

<sup>4</sup>图片来源：<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4441769/figure/F2>



(a)



(b)



(c)

HIT THE BALL  
WITH THE BAT

(d)

图 1.1 四种不同层级的视觉歧义性现象

## 1.2 论文组织结构

本文总共包含七章内容，除去第一章“绪论”和第三章“总结与展望”以外，论文的主体部分主要有五章内容。它们分别介绍了构建上下文计算视觉模型的思路（第二章），以及提升了超像素聚类算法（第??章）、图像滤波算法（第??章）和神经纤维分类算法（第??章）自适应性。值得说明的是，本文提出的滤波算法在弥散加权影像的相位校正技术中也得到了成功的应用（第??章）。论文内容的主要框架如图1.2所示。

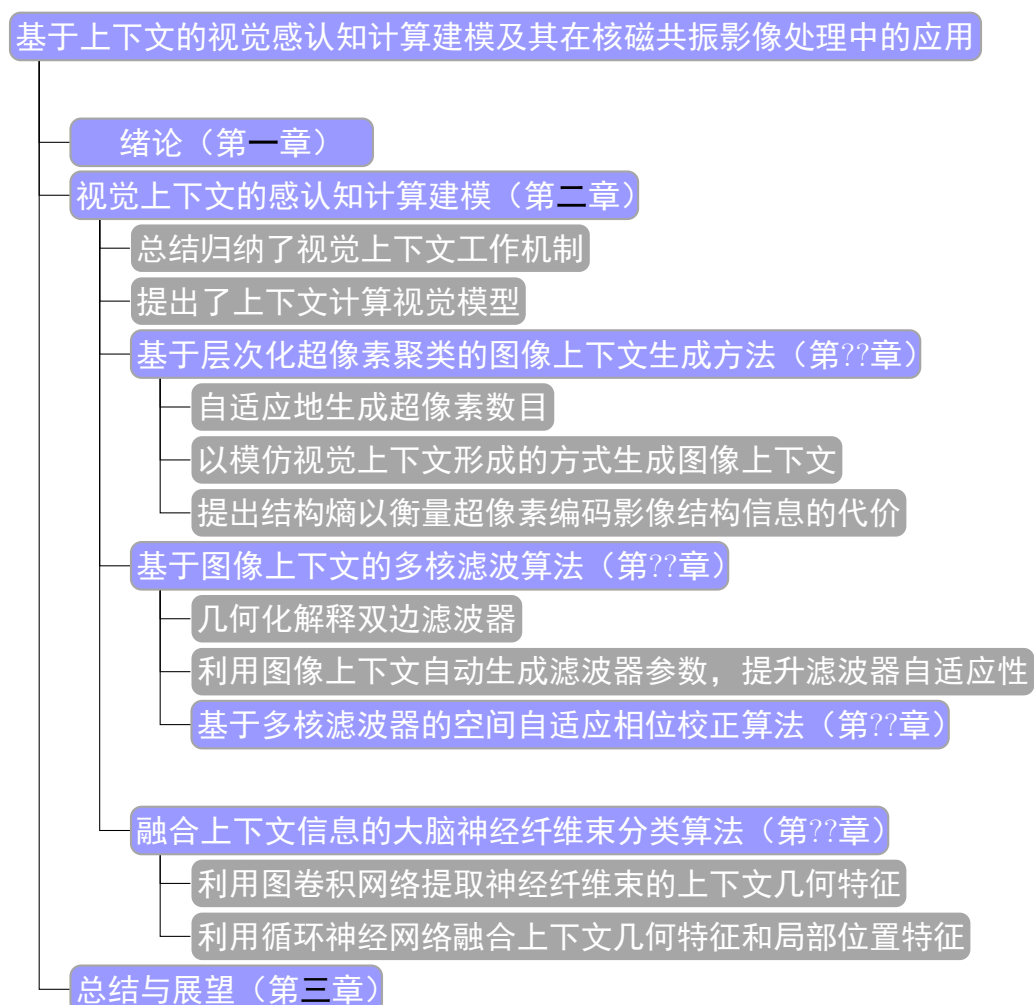


图 1.2 论文主要架构



## 第二章 视觉上下文的感知计算建模

视觉上下文工作机制描述着整体感知和局部交互作用的视觉现象，揭示了人类视觉系统表现出自适应性的原因。为模仿视觉上下文的工作机制，就需要全面认识上下文，在把握其内在规律的基础上，建立起生理活动和计算过程之间的联系。受到 Marr 三层计算视觉框架的设计原则的启发，本章分别将从“人类视觉行为表现”（第2.1节）、“神经信号处理机制”（第??节）和“计算算法流程”（第??节）三个不同角度总结和归纳视觉上下文的工作机制，提炼具有普遍意义的规律，寻求计算建模的途径。在第??节，构建了上下文计算模型，为扩展计算机视觉算法自适应性提供理论依据。

### 2.1 视觉上下文的行为表现—格式塔感知机制

格式塔（Gestalt）心理学是现代心理学主要的思想流派之一，主要研究的是人类感知行为背后的规律。



## 第三章 总结与展望

由于一个大脑皮层区域可能涉及编码多个外部对象，视觉感知系统就不可避免地引入信息歧义或非确定性。基于该理论假设，视觉上下文工作机制阐明了人类视觉系统利用整体信息消除局部信息歧义的感知规律，还揭示了视觉系统产生自适应能力的原因。本文通过模仿上下文工作机制，提升了三种计算机视觉算法的自适应性。然而，受限于时间和精力，本文的工作只涉及“物理外观”的低层上下文工作机制，在未来的工作中我们再继续讨论对其它三个层面的上下文工作机制建模的思路。

### 3.1 全文总结

本文首次将视觉上下文工作机制引入到计算机视觉领域，构建了上下文计算视觉模型。这为解决计算机视觉中解不唯一的病态问题提供了一个全新的思路——即从数据中采集上下文信息，以约束局部信息的非确定性。本文主要工作概括如下：

### 3.2 工作展望

受限于时间和精力，本文的局限性也值得注意。它们分别是：





## 参考文献

- [1] 刘飞鸿. 基于视觉上下文感知模型的 MRI 影像处理关键技术研究 [D]. [S.l.]: 西北大学, 2020.



## 攻读博士学位期间取得的科研成果

### 1. 发表期刊论文

- [1] Liu Feihong; Zhang Xiao; Wang Hongyu; Feng Jun; Context-Aware Superpixel and Bilateral Entropy-Image Coherence Induces Less Entropy, Entropy, 2020, 22(1): 1-18. (SCI, IF 2.494)
- [2] \*\*\*

### 2. 发表会议论文

- [1] Liu Feihong; Feng Jun; Chen Geng; Yap Pew-Thian; Shen Dinggang; Gaussianization of Diffusion MRI Data Using Spatially Adaptive Phase Correction, 27th annual meeting of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM 2019), Montreal, Canada, 2019-5-11 至 2019-5-16. (Abstract)
- [2] \*\*\*

### 3. 发表预印本论文

- [1] Liu Feihong; Feng Jun; Yap Pew-Thian; Shen Dinggang; Multi-Kernel Filtering for Nonstationary Noise: An Extension of Bilateral Filtering Using Image Context. arXiv preprint arXiv:1908.06307 (2019).
- [2] \*\*\*

### 4. 申请（授权）专利

- [1] 发明专利：一种基于非局部先验和稀疏表示的磁共振图像去噪方法及装置 (202010097250.7, 已受理)
- [2] 发明专利：一种动态感知平滑滤波算法 (2018100759373.3, 已授权)
- [3] \*\*\*

#### 4. 参与科研项目

- [1] 国家自然科学基金：基于初级视觉特征感知计算的无参考图像质量评价（61701404，参与，算法设计）
- [2] 国家重大科研仪器研制项目：ERCP 联合高压脉冲电场微创肝胆胰肿瘤精准治疗工作站的研制（81727802，参与，算法设计）
- [3] \*\*\*

## 致谢

当论文就要完稿的时候，我想，终于可以名正言顺地写致谢了！



## 作者简介

### 1. 基本情况

\*\*\*，男，西北大学 \*\*\* 学院，\*\* 专业，20\*\* 级博士研究生。

### 2. 教育背景

2014-09 至今，西北大学，信息科学与技术学院，工学博士；专业：计算机应用技术；导师：\*\*

2017-12 至 2019-06，北卡罗莱纳大学教堂山分校，生物医学影像中心，联合培养博士；专业：生物医学工程技术；导师：\*\*

\*\*\*

### 3. 攻读博士学位期间获奖

[1] 西北大学 2020 届优秀学生“紫藤奖”

[2] 西北大学 2020 届优秀毕业生

[3] \*\*\*

