

医疗图像处理： 从形成到解读

Anton Patyuchenko
ADI公司

上个世纪在医疗成像领域实现的技术进步为非侵入诊断创造了前所未有的机会，并确立医疗成像作为医疗健康系统的组成部分。代表这些进步的主要创新领域之一是医疗图像处理的跨学科领域。

这一快速发展的领域涉及从原始数据采集到数字图像传输的广泛流程，而这些流程是现代医疗成像系统中完整数据流的基础。如今，这些系统在空间和强度维度方面提供越来越高的分辨率，以及更快的采集时间，从而产生大量优质的原始图像数据，必须正确处理和解读这些数据才能获得准确的诊断结果。

本文重点介绍医疗图像处理的关键领域，考虑特定成像模式的环境，并讨论该领域的主要挑战和趋势。

医疗图像处理的核心领域

有许多概念和方法用于构建医疗图像处理领域，这些概念和方法侧重于其核心区域的不同方面，如图1所示。这些方面形成此领域的三个主要过程——图像形成、图像计算和图像管理。

图像形成过程由数据采集和图像重构步骤组成，用于解答数学反演问题。图像计算的目的是提高重构图像的可解读性并从中提取与临床相关的信息。最后，图像管理处理所获取图像和派生信息的压缩、存档、检索和传输。

Data Acquisition	Detection, Conversion, Preconditioning, and Digitization of Acquired Raw Data	Image Formation
Reconstruction	Analytical and Iterative Algorithms Providing a Solution to Inverse Problems	
Enhancement	Spatial and Frequency Domain Techniques for Improvement of Image Interpretability	Image Computing
Analysis	Segmentation, Registration, and Quantification	
Visualization	Image Data Rendering to Visually Represent Anatomical and Physiological Information	
Management	Storage, Retrieval, and Communication of Imaging Data	

图1. 医疗图像处理中主题类型的结构分类。

图像形成

数据采集

图像形成的第一个必需步骤是采集原始成像数据。该数据包含有关描述身体各内部器官的捕获物理量的原始信息。这些信息成为所有后续图像处理步骤的主要主题。

不同类型的成像模式可以利用不同的物理原理，由此涉及不同物理量的探测。例如，在数字射线照相(DR)或计算机断层扫描(CT)中，它是入射光子的能量；在正电子发射断层扫描(PET)中，它是光子能量及其探测时间；在磁共振成像(MRI)中，它是由激发原子发射的射频信号的参数；而在超声波中，它是回声参数。

但是，无论是哪种类型的成像模式，数据采集过程都可以细分为物理量的探测，还包括将物理量转换为电信号、对采集的信号进行预调理，以及物理量的数字化。表示所有这些步骤均适用于大多数医疗成像模式的一个通用框图如图2所示。

图像重构

图像重构是利用获取的原始数据形成图像的数学过程。对于多维成像，该过程还包括以不同角度或不同时间步骤捕获的多个数据集的组合。这部分医疗图像处理解决的是反演问题，这是该领域的基本主题。用于解决这类问题的算法主要有两种——分析和迭代。

分析法的典型示例包括广泛用于断层扫描的滤波反投影(FBP)；在MRI中尤为重要的傅里叶变换(FT)；以及延时叠加(DAS)波束成型，这是超声检查中一种不可或缺的技术。这些算法在所需的处理能力和计算时间方面精巧而高效。

然而，它们基于理想化模型，因此有一些明显的局限性，包括它们无法处理诸如测量噪声的统计特性和成像系统物理等复杂因素。

迭代算法则克服了这些局限性，极大地提高了对噪声的不敏感性以及利用不完全原始数据重构最优图像的能力。迭代法通常使用系统和统计噪声模型，基于初始目标模型利用假设系数计算投影。计算出的投影与原始数据之间的差异定义用于更新对象模型的新系数。使用多个迭代步骤重复此过程，直到将映射估计值和真值的代价函数最小化，从而将重构过程融入最终图像。

迭代法有很多种，包括最大似然期望最大化(MLEM)、最大后验(MAP)、代数重建(ARC)技术以及许多其他目前广泛应用于医疗成像模式的方法。

图像计算

图像计算涉及对重建成像数据运算的计算和数学方法，用于提取临床相关信息。这些方法用于成像结果的增强、分析和可视化。

增强

图像增强优化图像的变换表示，以提高所包含信息的可解性。其方法可细分为空间域和频域技术。

空间域技术直接作用于图像像素，对于对比度优化特别有用。这些技术通常依赖于对数、直方图和幂律变换。频域方法采用频率变换，最适合于通过应用不同类型的滤波器对图像进行平滑和锐化。

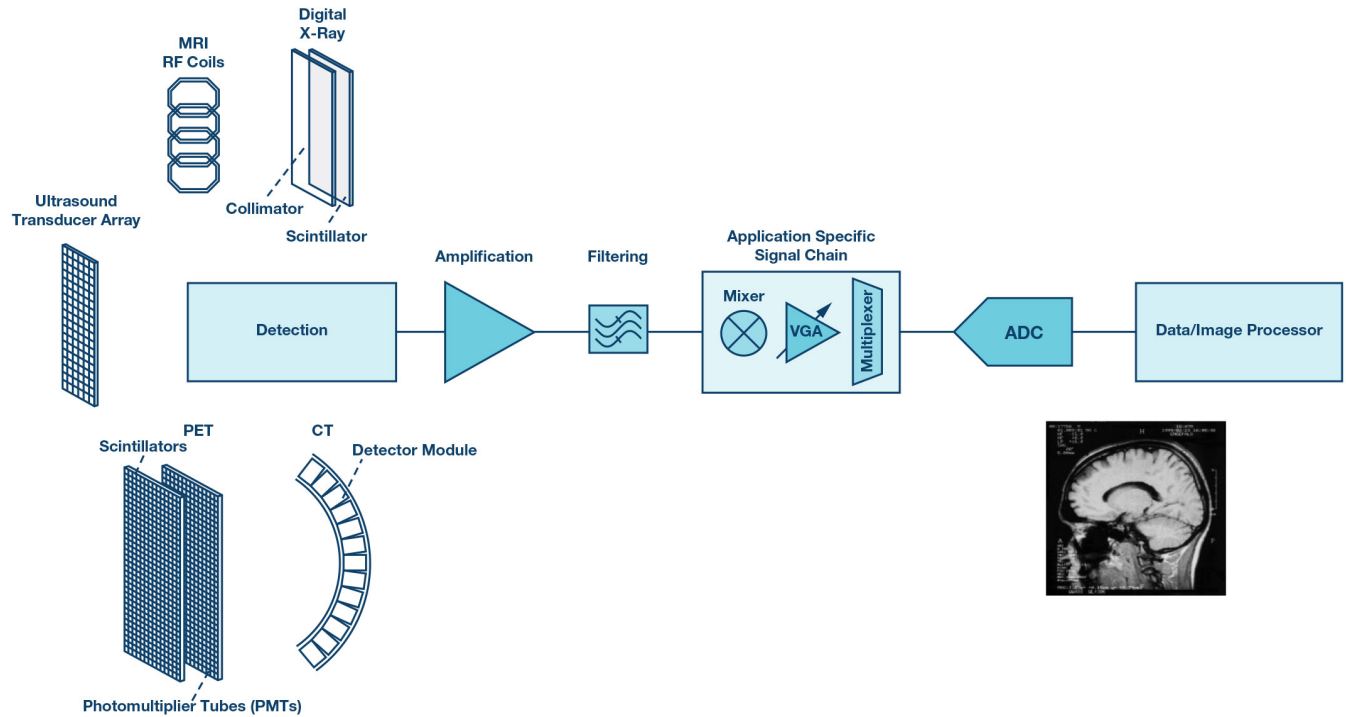


图2. 数据采集过程的通用框图。

利用所有这些技术可以减少噪声和不均匀性, 优化对比度, 增强边缘, 消除伪像, 以及改善对后续图像分析及其精确解读至关重要的其他相关特性。

分析

图像分析是图像计算中的核心过程, 它使用的各种方法可分为三大类: 图像分割、图像配准和图像量化。

图像分割过程将图像分割为不同解剖结构的有意义轮廓。图像配准可确保多个图像正确对齐, 这对于分析时间变化或组合使用不同模式获取的图像特别重要。量化的过程决定了所识别结构的性质, 如体积、直径、成分和其他相关的解剖或生理信息。所有这些过程都直接影响到成像数据的检查质量和医学结果的准确性。

可视化

可视化过程将图像数据呈现为在定义的维度上以特定形式直观地表示解剖和生理成像信息。通过与数据直接交互, 可以在成像分析的初始阶段和中间阶段进行可视化(例如, 协助分割和配准过程), 并在最后阶段显示优化的结果。

图像管理

医疗图像处理的最后一部分涉及对所获取信息的管理, 包括用于图像数据存储、检索和传输的各种技术。制定了若干标准和技术, 用于处理图像管理的各个方面。例如, 医疗成像技术图像存档与传输系统(PACS)提供对来自多种模式的图像的经济存储和访问, 而医学数字成像和通信(DICOM)标准用于存储和传输医疗图像。图像压缩和流传输的特殊技术高效地实现了这些任务。

挑战和趋势

医疗成像是个相对保守的领域, 从研究过渡到临床应用通常可能需要十多年的时间。然而, 它的性质复杂, 在其构成科学学科的各个方面都面临着多方面的挑战, 这稳步推动了新方法的不断发展。这些发展代表了在当今医疗图像处理核心领域可以确定的主要趋势。

图像采集领域受益于为提高原始数据质量和丰富其信息内容而开发的创新硬件技术。集成的前端解决方案可实现更快的扫描时间、更精细的分辨率和先进的架构, 如超声波/乳房X线照相术、CT/PET或PET/MRI组合系统。

快速高效的迭代算法取代了分析法, 越来越多地用于图像重构。它们能显著改善PET的图像质量, 减少CT中的X射线剂量, 并在MRI中进行压缩检测。数据驱动的信号模型正在取代人工定义的模型, 基于有限或噪声数据为反演问题提供更好的解决方案。代表图像重构趋势和挑战的主要研究领域包括系统物理建模和信号模型的开发、优化算法以及图像质量评估方法。

随着成像硬件捕获越来越多的数据, 算法变得越来越复杂, 人们迫切需要更高效的计算技术。这个巨大的挑战可通过更强大的图形处理器和多处理技术解决, 为从研究过渡到应用提供全新的机会。

与图像计算和图像管理这一转变相关的主要趋势和挑战涵盖许多主题, 其中一些主题如图3所示。

与所有这些主题相关的新技术不断发展, 缩小了研究与临床应用之间的差距, 促进了医疗图像处理领域与医师工作流程的整合, 确保实现更准确、更可靠的成像结果。

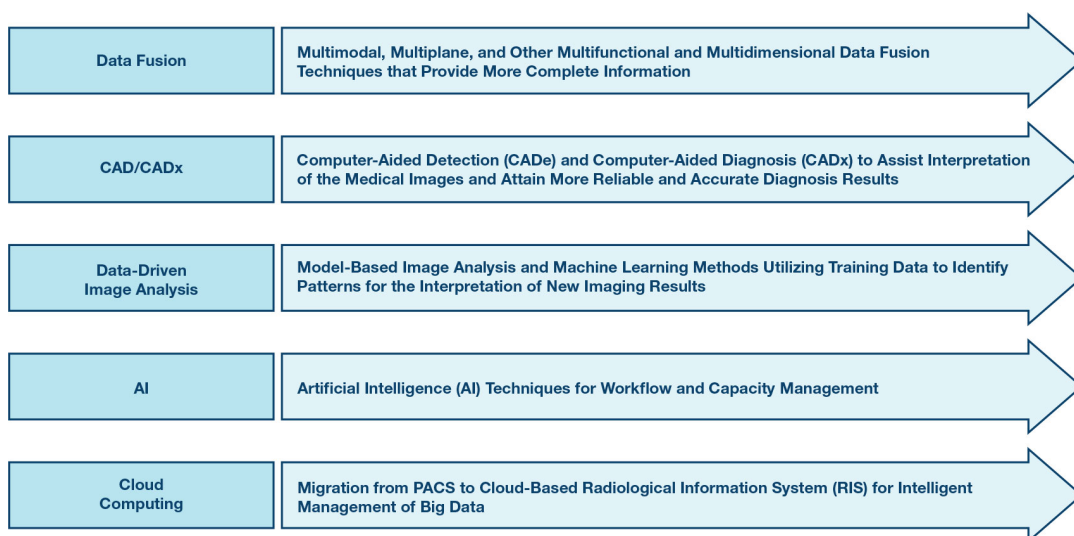


图3. 当今医疗图像计算中的主要趋势主题示例。

ADI公司提供多种解决方案，用以满足对数据采集电子设计提出的最苛刻的医疗成像要求，包括动态范围、分辨率、准确性、线性度和噪声。下面是为确保原始成像数据最高初始质量而开发的此类解决方案的几个例子。

专为DR应用设计了带256通道的高度集成的模拟前端**ADAS1256**。具有出色线性度的多通道数据采集系统**ADAS1135**和**ADAS1134**可最大限度地提高CT应用的图像质量。多通道ADC **AD9228**、**AD9637**、**AD9219**和**AD9212**经过优化后具有出色的动态性能和低功耗，可满足PET要求。流水线ADC **AD9656**为MRI提供出色的动态性能和低功耗特性。集成式接收器前端**AD9671**专为要求小尺寸封装的低成本、低功耗的医疗超声应用而设计。

结论

医疗图像处理是一个非常复杂的跨学科领域，涵盖从数学、计算机科学到物理学和医学的众多科学学科。本文试图提出一个简化但结构良好的核心领域框架，此框架代表该领域及其主要主题、趋势和挑战。其中，数据采集过程是第一个也是最重要的领域之一，它定义医疗图像处理框架所有后续阶段中使用的原始数据的初始质量水平。

作者简介

Anton Patyuchenko于2007年获得慕尼黑技术大学微波工程硕士学位。毕业之后，Anton曾在德国航空航天中心(DLR)担任科学家。他于2015年加入ADI公司担任现场应用工程师，目前为ADI公司战略与重点客户提供现场应用支持，主要负责医疗健康、能源和微波应用。联系方式：anton.patyuchenko@analog.com。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问ezchina.analog.com



全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA2110Gsc-0-3/19

analog.com/cn