

研究报告

(2021 年 第 11 期 总第 109 期)

2021 年 12 月 27 日

深度学习与医学图像分析行业图谱

资本市场与公司金融研究中心

【摘要】 行业图谱研究是本中心科技成果转化研究的一项子课题，目标定位于清晰理解前沿科技成果的技术核心、科创企业的技术竞争力及科研工作者的研究进度，从而助力科技成果转化效率的提升。行业图谱研究将以系列形式展开，选取国家战略重点科技领域的商业应用场景逐一进行，时效性较强。

本报告为行业图谱的第一个系列——生物医药领域：深度学习与医学图像分析行业。利用深度学习技术，分析医学图像，并且将之应用在辅助医疗诊断，已经成为最新研究方向。在传统的医学图像处理技术以及机器学习算法辅助分析过程中，需要人为参与选取特征。深度学习具有多个隐层以及自主学习优良特征的能力，广泛地应用到图像处理领域。卷积神经网络作为深度学习最成功的一个模型，在医学图像处理领域产生了令人惊叹的效果。本文先简述了医学图像分析的

特点。其次，介绍了深度学习的基本原理，以及在医学图像分析中应用的技术流程和难点。然后，概述了卷积神经网络模型以及在医学图像分析中的应用，再探讨了手术导航在国内外的的发展现状、未来趋势，并重点介绍了光学定位手术导航系统的国内外研究现状及领先企业现状。

研究团队

课题负责人	刘碧波
课题组成员	朱雅姝、许喜远（实习生）

目 录

一、深度学习绪论.....	1
(一) 深度学习与医学图像分析.....	1
(二) 主要的医学图像分析任务.....	3
二、深度学习在医学图像分析中的技术发展和方法流程.....	4
(一) 经典方法.....	4
(二) 深度学习.....	5
(三) 训练深度学习模型所需要的条件及关键性技术竞争点.....	9
(四) 深度学习应用于临床试验的流程.....	14
(五) 本章小结.....	15
三、深度学习在手术导航系统中的应用.....	16
(一) 手术导航系统的定义.....	16
(二) 手术导航系统的组成.....	17
(三) 手术导航系统未来趋势.....	18
(四) 手术导航系统的市场情况.....	21
(五) 国际顶级医疗公司在手术导航的最新研究成果.....	23
(六) 本章小结.....	28
四、专业术语解析.....	29
参考文献.....	32

图表目录

图 1-1 2021 年深度学习在各行业的应用.....	1
图 1-2 深度学习于医学成像应用最先进的成果.....	3
图 2-1 用于计算机辅助诊断的典型经典处理流程.....	5
图 2-2 卷积神经网络用于头颈部 CT 扫描中风险器官自动分割的示例	6
图 2-3 (a) 一种用于人脸识别的深度神经网络; (b) 单层感知机结构.....	7
图 2-4 卷积神经网络主要层次.....	9
图 2-5 开发深度学习模型时所需用到的四个关键部分.....	10
图 2-6 卷积神经网络训练测试过程概况.....	11
图 2-7 网络训练技巧.....	12
图 2-8 深度学习的挑战及其解决方案.....	14
图 2-9 深度学习于解决临床问题中的具体流程.....	15
图 3-1 手术导航系统的组成.....	17
图 3-2 深度学习在胶质瘤治疗中自动分割的应用.....	19
图 3-3 BrainLAB 在解决手术导航定位所给出的解决方案.....	26
图 3-4 ClaroNav 在解决手术导航定位所给出的解决方案	26
图 3-5 Medtronic 在解决手术导航定位所给出的解决方案	28
图 3-6 Stryker 在解决手术导航定位所给出的解决方案.....	28
表 3-1 解决脑位移的最新研究成果.....	20
表 3-2 手术导航系统的最新研究成果.....	22
表 3-3 BrainLAB、ClaroNav、Medtronic 以及 Stryker 公司简介	23

一、深度学习绪论

人工智能（Artificial Intelligence, AI）是计算机科学的一个分支。该学科是对人的意识、思维的信息过程的模拟。机器学习(Machine Learning, ML)是人工智能的主要核心部分，属于人工智能的一个分支，主要是设计和分析一些让计算机可以自动“学习”的算法。深度学习(Deep Learning, DL)是机器学习领域中一个新的研究方向，学习样本数据的内在规律和表示层次，让机器能够像人一样具有分析学习能力，并可应用于搜索技术、数据挖掘、机器翻译、自然语言处理等行业（如图 1-1 所示）。



图 1-1 2021 年深度学习在各行业的应用

（一）深度学习与医学图像分析

在临床检查、诊断、治疗和评估时，医生会通过医学成像技术获得具有特定内部组织和器官的某些精确信息的医学图像以辅助决策。

常用的医学图像包括：① 磁共振成像（Magnetic Resonance Imaging, MRI）是测量人体组织、器官和病变中氢原子核在外部强磁场作用下产生的磁共振信号的大小，通过计算机对体外核磁共振信号检测仪接收到的数据进行三维图像重建；② 计算机断层扫描（Computer Tomography, CT）使用精确准直的 X 射线束照射和扫描人体某一部分特定厚度的部分，穿过该部分的 X 射线由与射线束一起旋转的探测器接收。最后，利用探测器采集的 X 射线信号数据，计算机重建匹配人体区域的三维图像；③ X 射线图像广泛用于检测和辅助诊断骨科、肺、乳腺和心血管疾病等临床疾病。然而，2D X 射线照片不能提供人体组织、器官和病变的三维信息；④ 超声成像使用超声波束扫描人体，通过接收和分析反射数据获得人体器官的图像；⑤ 正电子发射型计算机断层显像（Positron Emission Computed Tomography, PET）利用标记有放射性物质的示踪剂衰变时发出的正电子信息来创建图像。因此，PET 图像是对相应示踪剂放射性的测量，可提供有关肿瘤生物学特性的信息，其标准摄取值可用于临床辅助肿瘤鉴别；⑥ 病理图像通过切割一定大小的病理组织，用苏木精伊红染色病理切片，利用病理图像来研究病变的原因、病理生理学和发展过程，以便作出病理诊断。

医学图像分析的一个重大科学问题是如何充分利用人工智能的深度学习方法对这些海量医学图像大数据进行正确分析和处理，为筛查、诊断、疗效评估等提供科学的方法。深度学习方法主要用于分类

与识别、定位与检测、组织器官分割和病变分割，如图 1-2 所示：① 乳房 X 光片肿块分类^[1]；② 大脑病变的分割^[2]；③ 气道树分割中的泄漏检测^[3]；④ 糖尿病视网膜病变分类^[4]；⑤ 前列腺分割；⑥ 结节分类；⑦ 淋巴结乳腺癌转移检测^[5]；⑧ 皮肤癌的分类以及 ⑨ 最先进的 X 射线骨抑制技术^[6]。近年来，由于计算机能力的不断提高、可用数据的不断扩大以及深度学习模型和算法的不断改进，深度学习取得了显著进展。其目标是创建一个多隐层机器学习模型，用大量数据对其进行训练，学习更精确的特征，然后提高分类或预测精度^[7]。

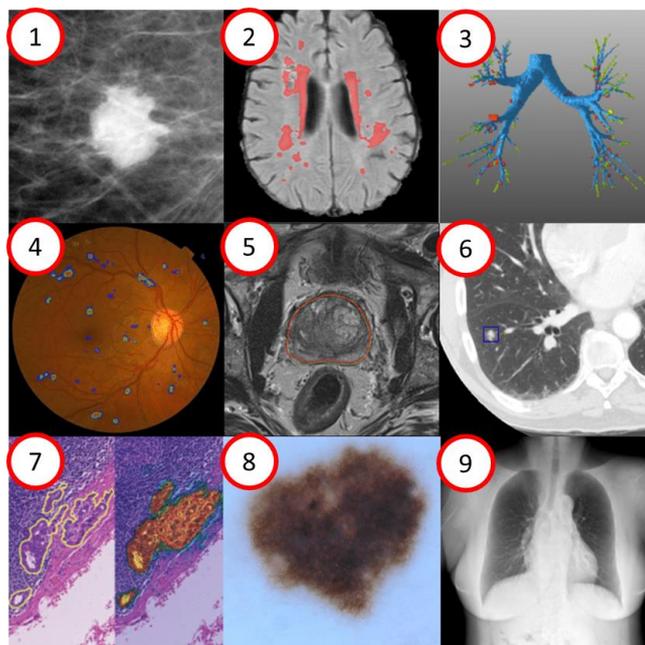


图 1-2 深度学习于医学成像应用最先进的成果

（二）主要的医学图像分析任务

快速医学图像处理算法的发展以及病变组织和介入对象精细定量信息的提取对于在微创介入手术中实现正确的手术指导至关重要。根据医学图像信息处理方法和处理目标的不同，医学图像分析方法主

要包括图像配准、图像定位与检测和图像分类与识别：① **医学图像配准**是一种使用过程和一组标准将一个或多个（局部）图像映射到目标图像的技术；② **医学图像定位与检测**是指在用于医学诊断的图像中识别器官或病变像素的过程；③ **医学图像分类与识别**是一个集医学图像、数学建模、计算机技术和其他领域于一体的多学科领域。在医学大数据时代，如何从海量医学影像数据中提取有用信息成为学术界和产业界的研究热点。

二、深度学习在医学图像分析中的技术发展和方法流程

（一）经典方法

随着计算机应用技术的蓬勃发展，精度高，成像快的数字医学影像设备不断涌现，在此技术支撑基础上设计开发的计算机辅助诊断（Computer-aided Diagnosis, CAD）系统正在迅速普及，并在实际临床诊断上得到应用。计算机辅助诊断是通过利用计算机对数字医学影像进行处理分析，从而获得对医生的临床诊断决策具有实际参考价值的辅助信息的一种方法；辅助信息既包括检测到的异常信息,也包括组织器官的正常信息。典型的 CAD 处理流水线如图 2-1 所示：① 图像预处理把病变从正常结构中提取出来；② 图像特征提取将第一步提取的病变特征进一步量化；③ 将第二步获得的图像征象的数据资料输入人工神经网络等各种数学或统计算法中，形成 CAD 诊断系统。

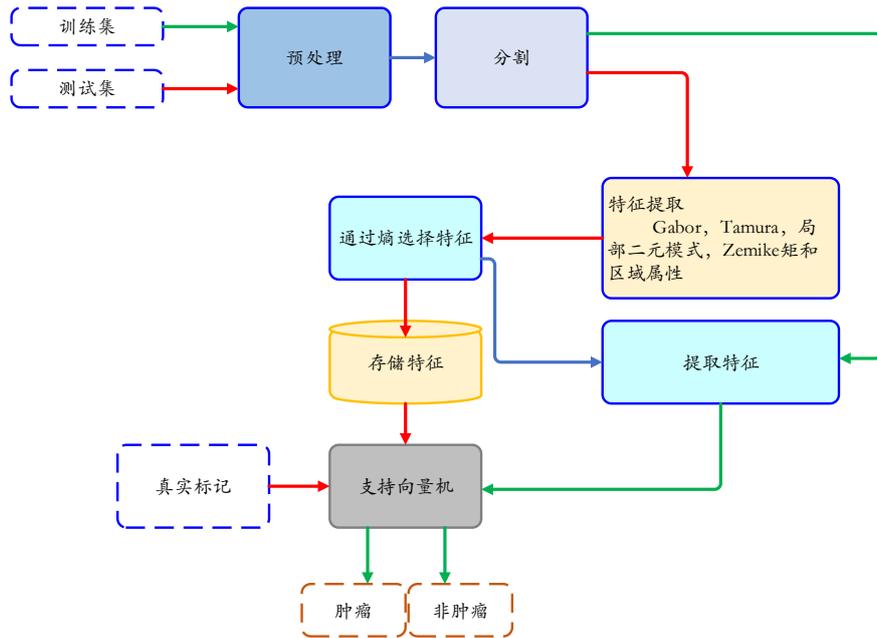


图 2-1 用于计算机辅助诊断的典型经典处理流程

(二) 深度学习

解读医学图像并给出诊断结论是劳动密集型工作，迫切需要一种高效的计算机辅助诊断系统，帮助临床医生更好的判读和决策。深度学习是机器学习领域中一系列试图使用多重非线性变换对数据进行多层抽象的算法，不仅学习输入和输出之间的非线性映射，还学习输入数据向量的隐藏结构，以用来对新的样本进行智能识别或预测。深度神经网络（Deep Neural Network, DNN），尤其是卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN），是医学图像分析研究的一个主要方向。如图 2-2 所示，在头颈部危及器官自动分割任务中，经训练后的 CNN 网络被用于在测试组图像中对体素（体积元素）进行分类。

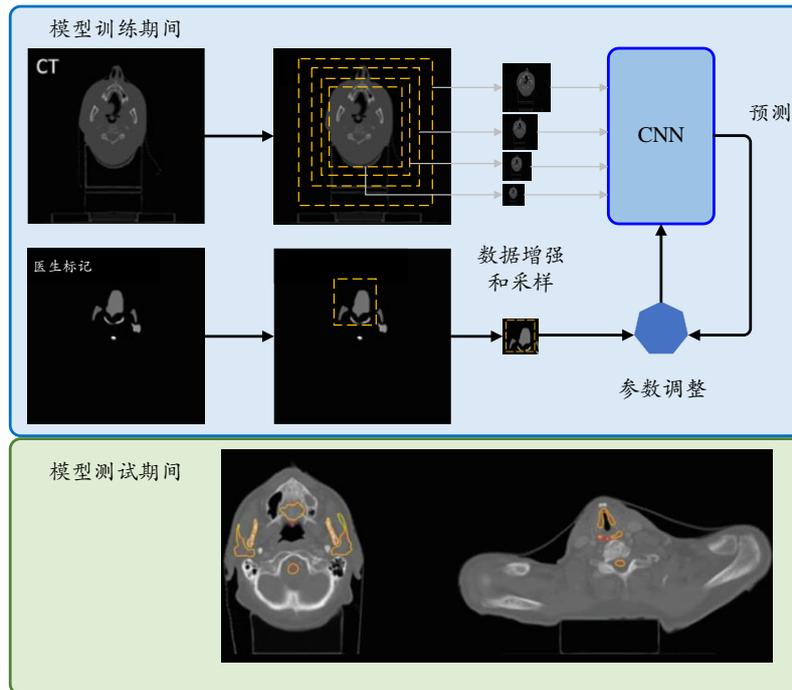


图 2-2 卷积神经网络用于头颈部 CT 扫描中风险器官自动分割的示例

深度学习的目标是通过使用多层隐层机器学习模型和大量训练数据来学习更多有价值的特征（如图 2-3 (a) 所示，深度神经网络的顶层是底层特征的高级表示，比如底层是像素点；而顶层可能有一个结点表示人脸），以提高分类和预测的准确性。神经网络就是找到一个可以模拟人脑工作行为的表现良好的近似函数。图 2-3 (b) 展示了给定三个输入 a_1 、 a_2 和 a_3 以及一个可以计算输出值的神经元的感知机算法。神经元的输出 z 将会得到两个可能的结果，0 或 1，是由每个输入的加权和 $\sum a_i w_i$ 决定的大于或小于阈值 b 的结果。因此，感知机的主要思想就是去学到一些可以决定神经元兴奋还是抑制的与输入特征相乘的权重 w_i 。激活函数是神经网络的一个重要组成部分：①帮助神

神经元学习和理解一些非常复杂的东西；②为网络引入非线性属性；③对权重或偏差上作一个小的改变，以便在网络输出中只产生一个相对小的变化。与典型的浅层学习相比，深度学习具有以下特点：①从海量数据中自动学习合适的高层特征表示；②具有复杂的结构，提高了拟合复杂模型的能力；③无监督学习，使用内在数据属性自动对数据进行分类。

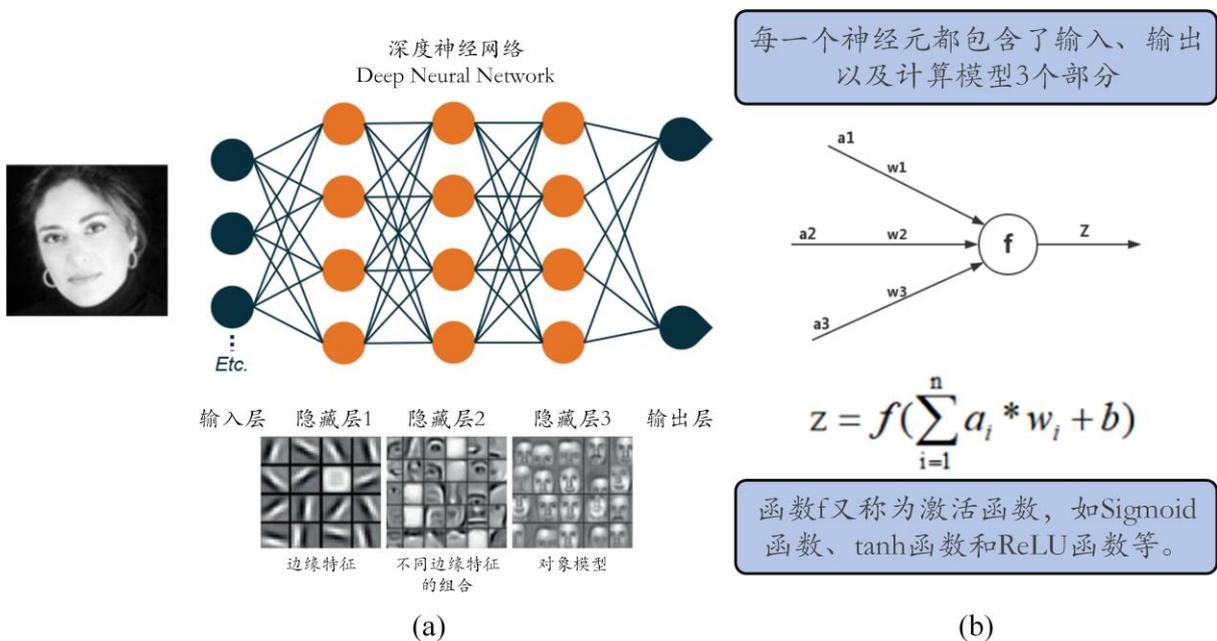


图 2-3 (a) 一种用于人脸识别的深度神经网络； (b) 单层感知机结构

神经网络可分为有监督的神经网络和无/半监督学习。有监督的神经网络包含了以下神经网络：①深度神经网络；②循环神经网络；③卷积神经网络。无监督的神经网络包含了以下神经网络：①深度生成模型；②自编码器。

1、网络框架一：深度神经网络

神经网络的基础模型是感知机，因此神经网络也可以叫做多层感知机。一般来说有 1-2 个隐藏层的神经网络就可以叫做多层，而更深的神经网络(一般来说超过 5 层)就都叫做深度神经网络。

2、网络框架二：循环神经网络

在深度学习领域，传统的多层感知机（Multilayer Perceptron，MLP）具有出色的表现，取得了许多成功。人类的大脑不仅能够识别个体案例，更能分析输入信息之间的整体逻辑序列。循环神经网络正是为了解决这种序列问题应运而生，其关键之处在于当前网络的隐藏状态会保留先前的输入信息，用来作当前网络的输出。

3、网络框架三：卷积神经网络

深度学习算法之一是深度卷积神经网络。在处理困难的图像分析任务时，卷积神经网络模型优于标准的机器学习图像处理方法。卷积神经网络的基本结构单元如图 2-4 所示，其中包括：① 输入层：处理图像信息，包括 2D 和 3D 图像输入；② 卷积层：捕获图像的深层特征；③ 池化层：减小了中间特征层的大小和特征层的图像分辨率；④ 全连接层：是每一个结点都与上一层的所有结点相连，用来把前边提取到的特征综合起来。深卷积神经网络可以通过更深的网络层更好地捕捉数据中的深层关系，从而得到更精确的模型，更复杂的非线性模型表示，以及更好的效果。

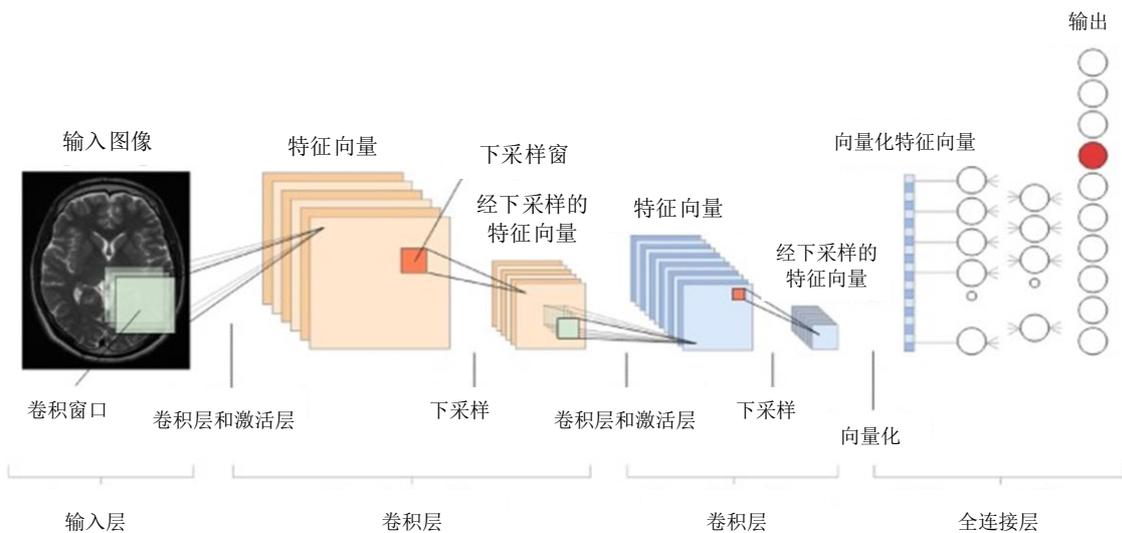


图 2-4 卷积神经网络主要层次

4、网络框架四：深度生成模型

生成模型根据这些样本学习一个参数化的模型，来显式或隐式地近似未知分布，并可以用这个模型来生成一些样本，使得生成的样本和真实的样本尽可能的相似。

5、网络框架五：自动编码器

自动编码器是一种无监督的神经网络模型，它可以学习到输入数据的隐含特征，这称为编码（Coding），同时用学习到的新特征可以重构出原始输入数据，称之为解码（Decoding）。作为无监督学习模型，自动编码器还可以用于生成与训练样本不同的新数据。

（三）训练深度学习模型所需要的条件及关键性技术竞争点



图 2-5 开发深度学习模型时所需用到的四个关键部分

在开发深度学习模型当中，硬件、软件、算法（数据科学）、以及数据是不可缺少的四大部分，也是决定一个深度学习模型的优劣（图 2-5）：

①**硬件**：GPU 提供了多核并行计算的基础结构，且核心数非常多，可以支撑大量数据的并行计算——它是一种一次可执行多个指令的算法，目的是提高计算速度，及通过扩大问题求解规模，解决大型而复杂的计算问题；目前国际较优秀的 GPU 供应商来自 Intel 和 NVIDIA。

②**软件**：在开始深度学习项目之前，选择一个合适的框架是非常重要的，能起到事半功倍的作用。研究者们使用各种不同的框架来达到他们的研究目的，侧面印证出深度学习领域百花齐放。全世界最为流行的深度学习框架有 Tensorflow、Caffe、Theano、Torch 和 PyTorch。Tensorflow 基于图计算的框架也提供了比如自动多卡并行调度，内存优化等便利条件。Torch 采取了支持用户把计算拆分成多步来做，过程式计算更加灵活，用户可以比较简单地对计算进行模块分割，并且根据比如输入长度的不同来直接动态改变需要运行哪一个步骤；

③**算法（数据科学）**：主要提高目前界内算法的提升效率、降低能耗、增加功能、提升可信度、增强鲁棒性、降低实现难度等；

④**数据**：数据是深度学习算法所需的核心资源，我国现阶段的医学图像仍

处于从传统胶片向电子数据过渡的阶段，大量影像资料尚未数字化，且来自不同采集设备的图像参数规格设计模式均不统一，数据获取依然存在挑战。在获取数据的基础上，深度学习结合先验知识对模型进行训练，训练集需要事先由医疗团队人工识别标注；模型学习的参数越多，训练所需的数据也会增加。否则，具有更多维数和小数据的问题会导致过拟合。因此获取具有高可靠性的标注数据也成为挑战之一。

1、深度学习的训练过程是最关键的步骤之一

输入数据和相应的标签都将用于迭代更新模型的权重。训练过程中不仅要调整网络权重，还要调整过滤器参数，以提高训练数据的性能。训练完成后，所有这些权重和参数都是固定的，并且在后续步骤中将保持不变。训练过程中最常用的算法是梯度下降，用于计算代价函数的最小值，即得到的输出与预期的差值。训练完成后，将使用测试数据集来评估最终模型的鲁棒性和泛化性。测试阶段模型所耗费的时间相对短得多，并且需要更少的计算能力（如图 2-6 所示）。

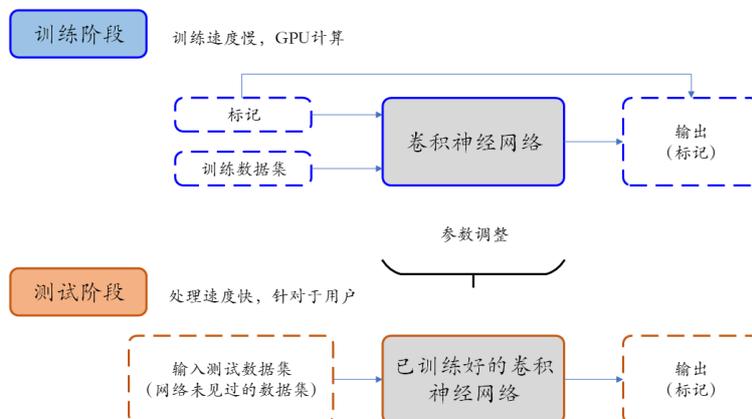


图 2-6 卷积神经网络训练测试过程概况

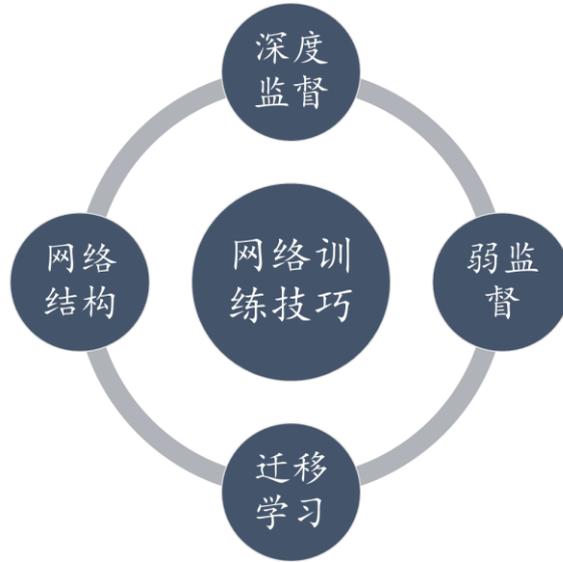


图 2-7 网络训练技巧

2、深度学习网络训练技巧

训练技巧对深度学习来说是非常重要的，作为一门实验性质很强的科学，同样的网络结构使用不同的训练方法训练（如图 2-7 所示），结果可能会有很大的差异：① 深度监督是在深度神经网络的某些中间隐藏层加了一个辅助的分类器作为一种网络分支来对主干网络进行监督的技巧，用来解决深度神经网络训练梯度消失和收敛速度过慢等问题；② 弱监督学习是指数据集的标签是不可靠的，如标记不正确、多种标记、标记不充分、局部标记等。针对监督信息不完整或不明确对象的学习问题统称为弱监督学习；③ 迁移学习是一种机器学习策略，它将知识从一个领域（源领域）转移到另一个领域（目标领域），以提高目标领域的学习效果；④ 深度学习网络架构的设计目标主要有三个：权重少、计算少、速度快，这三者之间不存在严格的相关关系，一般比较好的衡量方式就是直接测速度。

3、深度学习的挑战及其解决方案

深度学习的成功主要归功于三大因素——大数据、大模型、大计算。下面总结了对深度学习挑战和解决方案的介绍（如图 2-8 所示）：① 从无标注数据学习解决标注数据代价昂贵问题：深度学习训练一个模型需要很多的人工标注的数据。因此当前深度学习的一个前沿就是如何从无标注的数据里面进行学习。现在已经有相关的研究工作，包括生成式对抗网络以及对偶学习；② 降低模型大小解决大模型不方便在移动设备上使用的问题：现在常见的模型，模型大小差不多都在 500Mb 以上。近两年来，有一些相应的工作：第一种是针对计算机视觉里面的 CNN 模型做模型压缩；第二种是针对一些序列模型或者类似自然语言处理的 RNN 模型如何做一个更巧妙的算法，使得它模型变小，并且同时精度没有损失；③ 全新的硬件设计、算法设计、系统设计解决大计算需要昂贵的物质、时间成本：如何设计一些更高级的算法，更快的算法，更有效的算法。通过一些全新的硬件设计或者是全新的算法设计，或者是全新的系统设计，使得这种训练能够大大的加速；④ 通过多模态数据结合实现从小样本进行有效学习：现在的深度学习主要是从大数据进行学习。这种学习方式和人的智能是非常不一样的，人往往是从小样本进行学习。通过把深度学习、知识图谱、逻辑推理、符号学习等等结合起来，进一步推动人工智能的发展，使人工智能更接近人的智能；⑤ 通过博弈机器学习将从认知性的任务

扩展到决策性任务：所谓静态就是给定输入，预测结果不会随着时间改变。如何把这种成功延续和扩展到这种复杂的动态决策问题中，也是当前一个深度学习的挑战之一。在博弈机器学习里，通过观察环境和其他个体的行为，对每个个体构建不同的个性化行为模型，最后选择一个最优策略，该策略会自适应环境的变化和其他个体的行为的改变。

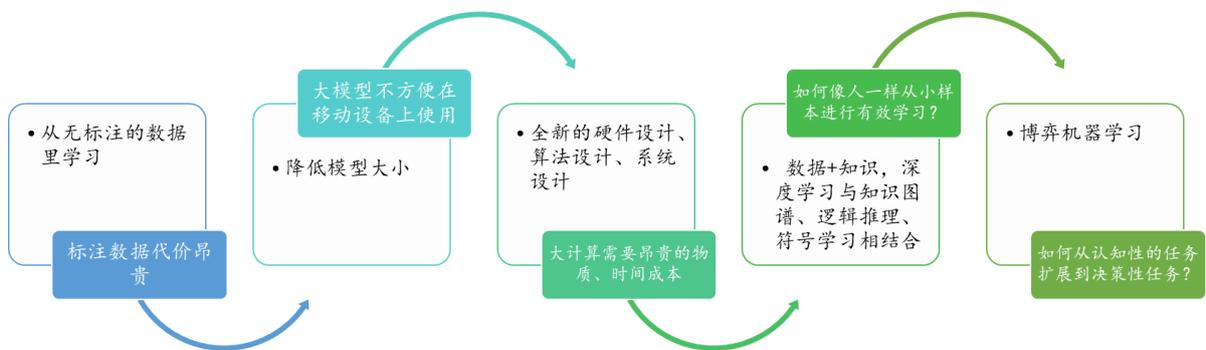


图 2-8 深度学习的挑战及其解决方案

(四) 深度学习应用于临床试验的流程

临床试验中医学影像的标准化对于避免可能导致研究结论无效的偏见和错误至关重要。标准化在多站点临床试验中尤其重要。在这类临床试验中，涉及到不同的医疗成像设备，因为每个站点可能有来自不同供应商的 MRI 或 CT 扫描仪。这种设备的异质性会导致成像研究的获取和重建发生变化，从而导致成像生物标志物量化的不确定性。临床试验中医学影像标准化的逐步方法，如图 2-9 所示，涵盖了从图像采集协议的设计到使用 AI 技术对医学影像进行量化。

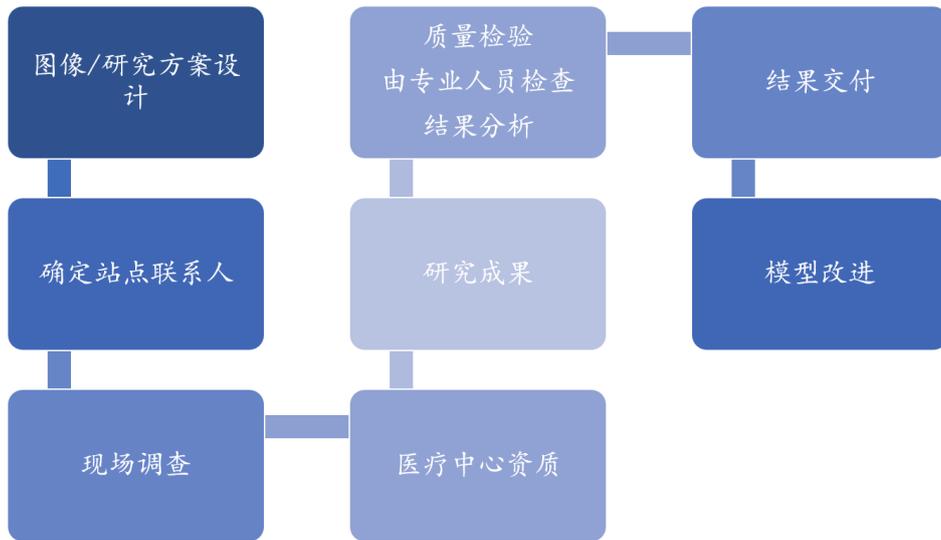


图 2-9 深度学习于解决临床问题中的具体流程

(五) 本章小结

近年来，深度学习技术在临床医学图像辅助分析中得到了广泛的关注。单以医学图像为例，CT、核磁、超声、病理、内窥镜等，都可以开发人工智能。医疗图像的计算机处理向来是一个很大的产业，计算机辅助诊断也不是一个新概念，只是人工智能技术手段的进步赋予了这个行业更多可能性。然而，目前深度学习技术的使用存在一些问题：①**医学问题的难度和纵深**：脱离医学的逻辑知识体系，即使人的神经也无法正确拟合经验对象从而达到正确的预测，更不要说机器学习了。研究人员应该建立有针对性的深度学习模型，考虑到各种医学图像的特征，通过不同的网络结构或者训练模式设计提高深度学习方案的准确性；②**医学数据的相对稀缺性**：与人脸、猫狗、车辆动辄几十万上百万的训练样本相比较，如果考虑了医学问题的难度和复杂

的维度，即使是在中国这样的医疗数据大国，拿出的数据量恐怕也是不够支撑深度学习的训练过程。这个过程中，获得大量精确标注也是耗时费力的事情，而没有依照合适的数学模型设计的标注工作，其实也浪费了大量的医疗资源；③**国产深度学习框架和平台**：面对医学数据，如何更好地应用深度学习算法对这类数据进行问题建模、如何提供工业级的训练及推理能力、如何更好地打开算法的黑盒提供可解释性等等，都是目前深度学习学术研究与工业实践之间存在的鸿沟。目前国内极度缺少面向企业及开发者，且能提供轻量化、高性价比的云原生机器学习平台。而拥有这样的平台，才能够支持千亿特征、万亿样本规模加速训练，百余落地场景，全面提升工程效率。

后续章节将介绍深度学习在手术导航中的应用：①将医学图像输入训练好的深度卷积网络，得到精确的第二手术目标部位；②进行三维重建并获得三维模型，与实时术中图像进行配准，以助于提高手术的效率 and 安全性。

三、深度学习在手术导航系统中的应用

临床手术导航的价值是使医生能够实时判断病灶和手术器械之间的相对位置，尤其解剖结构复杂的手术，从而降低手术的风险。设立手术导航机器人系统，核心点就在于，如何应用深度学习技术，真实准确地实时判断病灶和手术器械的相对位置。

（一）手术导航系统的定义

手术导航系统（Image Guided Surgery, IGS）使用医学图像数据辅助手术。医生在手术前利用医学成像设备和计算机图形学方法对患者的多模式图像数据进行重建和可视化，获得三维模型，制定合理、定量的手术方案，并进行术前模拟；在手术过程中，通过配准操作将三维模型与患者实际体位统一起来，三维定位系统实时采集并显示手术器械的空间位置。

（二）手术导航系统的组成

手术导航系统由成像、跟踪和显示模块构成（如图 3-1 所示）。首先，成像模块必须使用各种图像模式提供高分辨率图像。其次，不同手术类型需要使用多种跟踪技术，包括：磁场定位、光学定位和机械定位系统。磁场定位可用于发现人体深层区域，但不能与 MRI 设备结合使用；光学定位精度最高，但必须保持光程；机械定位灵活有限，设备体积大。



图 3-1 手术导航系统的组成

（三）手术导航系统未来趋势

随着人工智能、新材料、计算机等新技术的不断升级，精确灵活的半主动导航系统将逐渐成为主流。新的外科导航探针技术的发展，如有机小分子荧光探针、纳米探针材料等，是未来提高外科导航系统精度的重要研究方向。

1、深度学习在病灶部位自动分割中的应用

医学影像分割是计算机辅助诊断中的一项基础且关键的任务，目的在于从像素级别准确识别出目标器官，组织或病变区域。近年来随着卷积神经网络在计算机视觉和自然语言处理领域的广泛应用，基于深度学习的医学影像分割算法取得了极大的成功。对于涉及大量医学图像数据，使用深度学习对其进行图像分析有利于提高临床诊断效率。通过卷积神经网络框架，可以实现病灶部位的自动分割，如胶质瘤分割，其具有很高的自动检测率和准确性。如图 3-2 所示：经过深度学习预测的脑内胶质瘤定位结果已达到医生手工分析标注的一致性。Zhou 等人^[8]使用深度学习模型来改善脑肿瘤分割性能，分割三个肿瘤区域，减少了轮廓模糊对脑肿瘤分割的影响。Ali 等人^[9]通过感兴趣区域使得网路能够更加集中在脑肿瘤周围的精确边界，其模型性能大大提高。

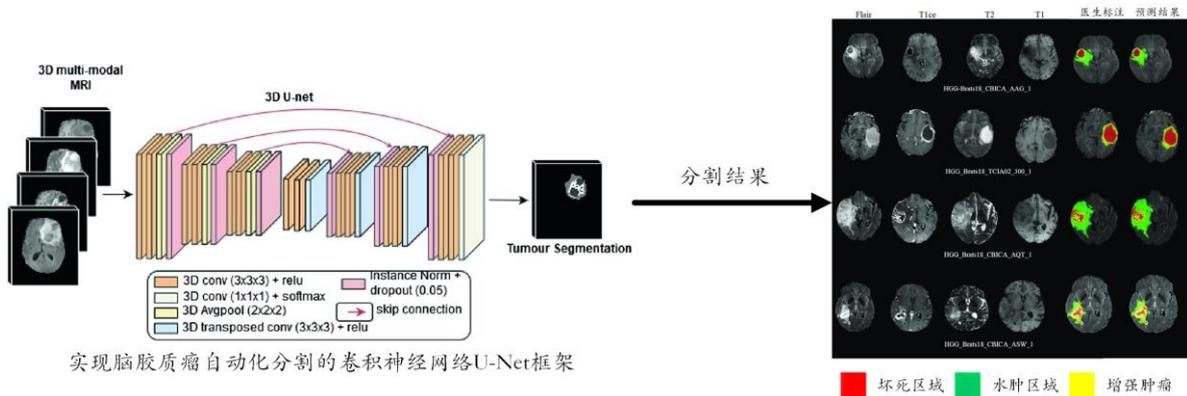


图 3-2 深度学习在胶质瘤治疗中自动分割的应用

2、深度学习在软组织位移预测中的应用

在放疗过程中，病人呼吸、脏器蠕动及体位移动会使靶区位置发生偏移，图像引导放射治疗是利用生物影像技术对病人摆位及靶区位置进行实时的跟踪，最大限度地降低病人摆位误差和器官位移误差，将采集的病人图像进行配准来确定靶区位置，有效地避免剂量照射到正常组织。在众多软组织位移案例当中，脑移位是常规神经导航技术所面临一大技术难题。由于常规导航用患者的术前影像资料，而脑组织是非刚性体，实际手术中因组织生物力学属性、重力作用、颅内压变化、脑脊液流失、手术操作、以及麻醉状态等因素而产生位移。一般解决脑移位可从三个途径着手：① 微导管定位技术；② 计算模型校正技术；③ 术中实时影像技术。通过校正软件技术弥补和纠正脑移位。目前主要有数学模型、物理模型和脑变形图谱方法三种，其核心是基于计算模型的非刚体配准方法。表 3-1 总结了关于脑位移非刚体配准方法的最新研究及所属研究团队。

表 3-1 解决脑位移的最新研究成果

项目	研究负责人	科研团队	评价
去骨瓣减压术的力学模型 ^[10] a	J. Weickenmeier	斯坦福大学、埃克塞特大学、牛津大学。	提出了一种计算颅骨切除术模型，有助于量化大脑移位、轴突拉伸和剪切。
一种快速估计术中脑移位的配准和有限元分析方法 ^[11] b	A. Mohammadi	德黑兰医科大学	提出有限元分析软件中使用优化算法，可以缩短体积变形的计算过程。
立体视觉和多普勒超声联合估计术中脑移位 ^[12] c	A. Mohammadi	瑞尔森大学，德黑兰大学	提出了一种立体图像和术中多普勒图像的组合来计算皮质表面的位移和内部血管的变形。
对大脑移位补偿的图像引导方法 ^[13] c	M. I. Miga	范德比尔特大学，斯隆凯特林癌症纪念中心	评估了为肿瘤切除手术开发的脑移位矫正生物力学模型的精确度。
脑深部电刺激自动规划 ^[14] c	N. Hamze	斯特拉斯堡大学及其他	提出了一种考虑到大脑变形的深部脑刺激程序的自动规划方法。
锥光全息术估计肿瘤切除腔的评估 ^[15] c	A. L. Simpson	范德比尔特大学	调查了使用低成本采集方法（基于锥光全息原理）来测量肿瘤切除产生的脑转移。
使用生物力学模型进行实时计算机辅助脑移位矫正手术 ^[16] d	Kay Sun	范德比尔特大学医学中心	提出了实时（自动化和简化处理步骤）校正脑移位算法。
一种减少图像引导手术系统中配准误差的投影标记方法 ^[17] c	N. D. Serej	德黑兰大学医学科学	开发一种基于投影点的方法，减少手术导航过程中的配准误差。
GPU 在神经外科手术中的实时非线性有限元计算 ^[18] b	G. R. Joldes	西澳大利亚大学	提出使用非线性的生物力学模型，提高图像引导神经外科手术的效率。
基于线弹性模型的脑变形框架 ^[19] e	Chenxi Zhang	上海医学院数字医学研究中心和其他	提出了基于线性弹性的脑移位校正模型。
多普勒超声驱动的大脑生物力学模型 ^[20] d	M. Bucki	约瑟夫傅立叶大学，哥伦比亚大学	提出了一种神经导航器械，通过可视化引导工具校正组织的位置。

一种数据驱动的生物力学模型^[21] d D.-X. Zhuang 上海神经外科中心等 提出了基于线弹性模型的大脑移位计算及其在 3DIMAGE 系统中的实现。

字符代表：a-经典力学分析；b-有限元分析方法；c-医学图像配准；d-生物力学模型；e-线弹性模型

（四）手术导航系统的市场情况

从全球来看，德国和美国在手术导航的研究中处于领先地位。一方面，德国是世界上最早发明手术导航系统的国家，另一方面，德国和美国也是器械工业最为发达的国家。德国比较著名的医疗器械公司有：BrainLAB（博医来公司）、Stryker（史赛克公司）等，美国比较著名的医疗器械公司有：Medtronic（美敦力公司）、GE公司等。

相比较而言，我国手术导航系统行业进入时间较短，尚处于发展阶段，在技术积累（系统和操作手臂方面）、临床数据、专利、国际化能力、核心零部件等方面与国际龙头存在差距；尤其是核心零部件高度依赖进口。目前，国内已涌现出一批手术导航系统的自主品牌企业，包括微创、威高、康多、天智航、鑫君特等，都处在自主研发和临床验证过程中，其在深度学习的应用上还不足。外资品牌已瞄准中国市场，在价格、细分行业推广等方面加快市场渗透和布局，包括Medtronic、Xion、Karl Storz、Stryker、BrainLAB等。

1、手术导航系统国内外研究现状

传统的手术过程中存在几个困难：医生的自由度有限、深度感知的丧失、缺乏医疗器械的高度活性，术中大脑移位等等。手术导航系

统的最大贡献在于手术器械的定向和定位，通过更大的自由度、更广阔的视野、更高的分辨率，开启了微创手术的新时代。表 3-2 总结了手术导航系统的最新研究成果。

表 3-2 手术导航系统的最新研究成果

项目	研发团队	当前状态	控制类型	评价
Da Vinci ^[22]	Intuitive Surgical	商业产品	远程操作	实施微创外科手术。
NeuroArm ^[23]	G. R. Sutherland	研究项目	远程操作	专为神经外科设计的影像导航一体化手术系统。
RoboCast ^[24]	M. D. Comparetti	研究项目	监督/遥控操作	单孔让手术视角更加可控。
Renaissance ^[25]	Mazor Robotics Ltd	商业产品	监督控制	全球唯一的一款脊柱、神经外科手术机器人。
SurgiScope ^[26]	SurgiScope	商业产品	监督控制	基于无框架与术前 MRI 配准
NeuroMate ^[27]	Renishaw-Mayfield	商业产品	监督控制	具有机械稳定、良好的精确度和舒适的操作空间。
Rosa ^[28]	MedTech SA.	商业产品	监督/遥控操作	辅助微创神经外科手术
NeuroBot ^[29]	L. M. Auer	研究项目	监督控制	应用最前沿的计算机视觉以及深度学习算法
PathFinder ^[30]	Prosurge Ltd	已停产的商业产品	监督控制	用于立体定向技术的六自由度手术机器人，安全性高。
Evolution I ^[31]	C. Nimsky	已停产	远程操作	具有四个自由度的六足机器人。
Overlay 手术导航系统 ^[32]	廖洪恩	研究项目	监督控制	自动立体图像叠加的容移增强现实手术导航系统
立体定向神经外科手术导航系统 ^[33]	张仕刚	研究项目	监督控制	计算机辅助立体定向神经外科手术导航系统。

Excelim-04 手术导航系统	上海复旦数字医疗科技股份有限公司	商业产品	监督控制	计算机辅助电磁手术导航系统。
光学手术导航系统	深圳市安科高科技有限公司	商业产品	监督控制	高精度动态光学空间定位装置
DigiPointeur 手术导航系统	法国科林医疗科技公司	商业产品	监督控制	电磁定位技术，可在减小磁场的情况下提供高精度。

（五）国际顶级医疗公司在手术导航的最新研究成果

手术导航系统，是将病人术前或术中影像数据和手术床上病人解剖结构准确对应，手术中跟踪手术器械并将手术器械的位置在病人影像上以虚拟探针的形式实时更新显示，使医生对手术器械相对病人解剖结构的位置一目了然，使外科手术更快速、更精确、更安全。本节主要针对国外四家顶尖医疗公司——BrainLAB、ClaroNav、Medtronic、Stryker的技术特点和融资历程做简要汇总，并介绍其手术导航系统及产品，如表 3-3 所示。

表 3-3 BrainLAB、ClaroNav、Medtronic 以及 Stryker 公司简介

名称	公司地点	成立时间	技术来源	技术特点	融资历程
BrainLAB	德国	1989	独立研发	BrainLAB 神经外科手术导航系统与蔡司手术显微镜配合可实现镜下导航，具备先进的三维成像技术，3D 显示肿瘤轮廓、血管位置、白质纤维走行方向、功能区范围等，精准定位病灶。	2019 年收购 medineering 公司 2017 年 1 月 10 日：投资 medineering 公司 A 轮 2016 年 1 月 25 日：投资 Jan Medical (350 万美元) 公司 C 轮 2013 年 8 月 30 日：投资 Jan Medical 公司 B 轮

					2011年6月17日：投资 Jan Medical (350 万美元) 公司 A 轮
ClaroNav	加拿大	2001	独立研发	Navient 是一种创新的图像引导导航系统，利用该领域的最新技术，为手术导航系统带来简单性、准确性和经济性。Navient 提供真正的便携式推车以及强大而直观的软件。它的器械可进行蒸汽消毒，并且每个程序没有一次性成本。	2020年2月21日：天使轮-ClaroNav (200 万加元) 2019年3月4日：天使轮-ClaroNav (4.456 万美元)
Medtronic	美国	1949	独立研发	StealthStation S7 手术导航系统具有直观的界面、改进的患者登记软件和用于导航神经外科手术的高级可视化。该系统提供光学和电磁 (EM) 跟踪功能，并与显微镜、超声波和各种美敦力仪器等外部设备集成。探索这种强大的外科技术的功能、应用和技术。	2021年8月12日：上市后股权-罗克利光电 (1.5 亿美元) 2021年4月26日：融资 A-Scivita 医疗技术 (4 亿元人民币) 2020年12月6日：融资 F-Brainsgate (1400 万美元) 2020年9月23日：天使轮-Triple Jump Medical (2000 万美元) * 更多融资信息请浏览 https://www.crunchbase.com/organization/medtronic/company_financials
Stryker	美国	1941	独立研发	Stryker 导航软件是一个简化的解决方案，可将导航纳入神经外科手术程序。从术前	2019 年初收购以色列企业 OrthoSpace 2006 年 8 月 11 日：融资 A - Histogenics (1310 万美元)

计划到术中指导和控制，Stryker 所提供的软件的设计满足了当今手术室的需求，包括全自动化和简单的注册过程、适应俯卧/侧卧入路的灵活性、先进的成像可视化，和 Stryker 的专有导航相机与主动技术。

1、BrainLAB 研究现状

BrainLAB 神经外科手术导航系统，为目前先进的手术导航系统。此套神经外科手术导航系统与蔡司手术显微镜配合可实现镜下导航，具备先进的三维成像技术，3D 显示肿瘤轮廓、血管位置、白质纤维走行方向、功能区范围等，精准定位病灶（如图 3-3 所示）。

2、ClaroNav 研究现状

Navient 是一款计算机辅助手术导航系统，配有体积小巧的可移动推车，精密度无可比拟，相关仪器可循环使用，操作流程简单，容易上手，可在外科医生进行颅内手术时提供导航服务。Navient 的软件功能强大，界面直观，采用了手术导航领域最先进的技术。该系统具有三维可视化功能，可协助外科医生在患者鼻窦内定位手术路径，避开视神经和大脑等关键结构，安全引导至病变区域。Navient 在设计时充分考虑了简单性和易用性，最终产品使外科医生能够更自信、更准确地进行系统操作（如图 3-4 所示）。

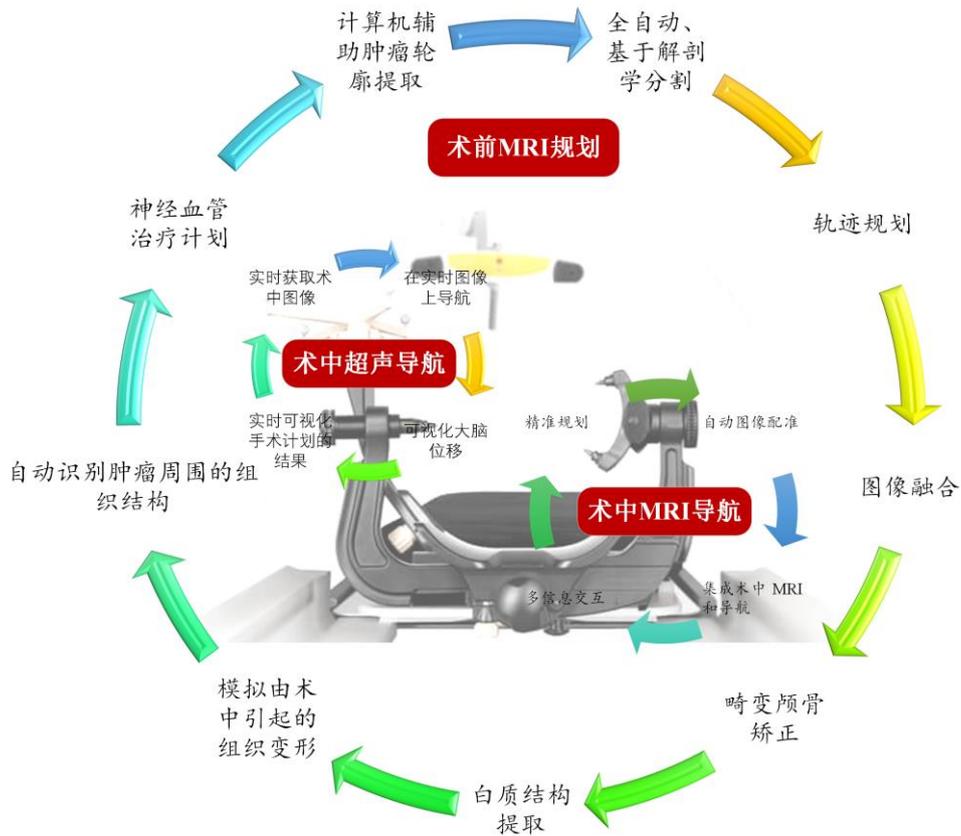


图 3-3 BrainLAB 在解决手术导航定位所给出的解决方案

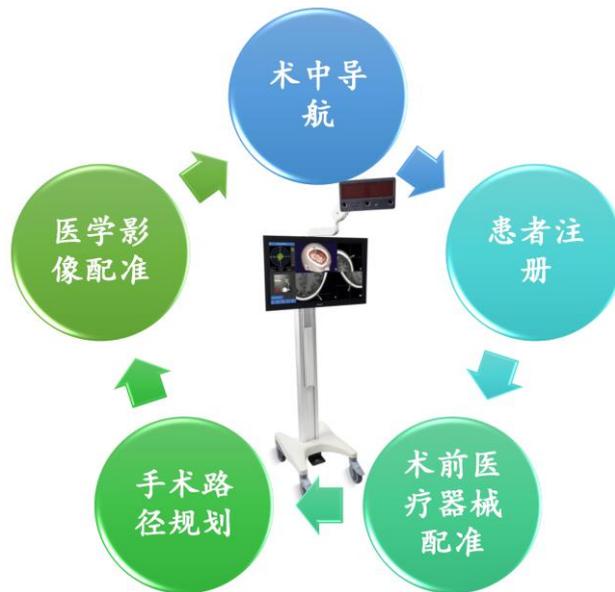


图 3-4 ClaroNav 在解决手术导航定位所给出的解决方案

3、Medtronic 研究现状

美敦力 (Medtronic) StealthStation S7 手术导航系统及其相关应用程序用于开放式或经皮手术过程中解剖结构的精确定位。它用于可以使用立体定向手术的任何医疗情况,这种手术中通常可以辨识出颅骨、长骨或脊柱这样的硬质解剖结构对应于解剖体 CT 或 MR 模型、透视影像或数字标志物的参考坐标,帮助医生在视野更为清晰的状态下,能够更有条理的进行手术。StealthStation S7 手术导航系统能让医生在手术过程中精确追踪手术器械的位置。StealthStation S7 系统引进了最先进的 Stealth 技术——结合了硬件、软件、追踪算法、图像数据合并和专用仪器,帮助医生在手术过程中进行引导(如图 3-5 所示)。

4、Stryker 研究现状

Stryker 骨科手术导航系统使用跟踪设备提供计算机辅助导航技术,让外科医生更全面地了解患者的关节力学(如图 3-6 所示)。有了这些信息,外科医生可以在一定程度上进行调整,以确保新关节具有成功置换所需的稳定性和运动范围。骨科手术导航系统具有以下几个优点:① 提高种植体植入的手术精度,这可能会增加关节置换的寿命;② 降低脱位和翻修手术的风险;③ 更大的稳定性和运动范围;④ 改善关节置换的整体功能。



图 3-5 Medtronic 在解决手术导航定位所给出的解决方案



图 3-6 Stryker 在解决手术导航定位所给出的解决方案

(六) 本章小结

总体而言，我国与世界其他地区的手术导航仍存在很大差距。尽管国内外科导航设备日益普及，但大多数光学定位研究仍处于实验阶

段，中国具有自主知识产权的临床光学定位系统并不常见，需要更多的资源来加强核心技术研究，提高系统的动态跟踪速度，解决人体生理运动对定位精度的影响。

手术规划中要根据现有的医疗记录来计划手术程序，而成像对于手术的成功至关重要。在现有的成像方式中，X 射线，CT，超声和 MRI 是实际中最常用的方式。对于术前规划阶段，对于算法的准确性、自动化、处理速度要求极高，因此深度学习算法可通过 GPU 并行计算方式解决患者多样性、症状复杂、诊断数据信息量少等临床问题。对于术中阶段，深度学习可以通过预训练的方式，解决临床术中低分辨率术中医学图像的输入以及组织变形等问题。因此，通过深度学习技术，提高计算机辅助诊断精度和速度，通过图像配准与图像融合引导治疗，有助于提高手术精度，保障患者的安全性。

四、专业术语解析

人工智能 (Artificial Intelligence, AI)

是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。

计算机辅助诊断 (Computer-aided Diagnosis, CAD)

是指通过影像学、医学图像处理技术以及其他可能的生理、生化手段，结合计算机的分析计算，辅助发现病灶，提高诊断的准确率。

卷积神经网络 (Convolutional Neural Network, CNN)

是一类包含卷积计算且具有深度结构的前馈神经网络，是深度学习的代表算法之一。

深度信念网络 (Deep Belief Network, DBN)

是通过采用逐层训练的方式,解决了深层次神经网络的优化问题,通过逐层训练为整个网络赋予了较好的初始权值,使得网络只要经过微调就可以达到最优解。

深度学习 (Deep Learning, DL)

是学习样本数据的内在规律和表示层次，这些学习过程中获得的信息对诸如文字，图像和声音等数据的解释有很大的帮助。它的最终目标是让机器能够像人一样具有分析学习能力，能够识别文字、图像和声音等数据。

手术导航系统 (Image Guided Surgery, IGS)

是将病人术前或术中影像数据和手术床上病人解剖结构准确对应，手术中跟踪手术器械并将手术器械的位置在病人影像上以虚拟探针的形式实时更新显示，使医生对手术器械相对病人解剖结构的位置一目了然，使外科手术更快速、更精确、更安全。

机器学习 (Machine Learning, ML)

是专门研究计算机怎样模拟或实现人类的学习行为，以获取新的知识或技能，重新组织已有的知识结构使之不断改善自身的性能。

多层感知机 (Multilayer Perceptron, MLP)

是一种前馈人工神经网络模型，其将输入的多个数据集映射到单一的输出的数据集上。

深度强化学习 (Reinforcement Learning, RL)

将深度学习的感知能力和强化学习的决策能力相结合，可以直接根据输入的图像进行控制，是一种更接近人类思维方式的人工智能方法。

递归神经网络 (Recurrent Neural Network, RNN)

是具有树状阶层结构且网络节点按其连接顺序对输入信息进行递归的人工神经网络，是深度学习算法之一。

鲁棒性

是指计算机系统在运行过程中遇到异常,以及算法在遇到输入、运算等异常时依旧可以保持正常运行的能力。

泛化性

是指模型经过训练后,应用到新数据并做出准确预测的能力。

参考文献

- [1] Kooi T, Litjens G, Ginneken B, *et al.* Large Scale Deep Learning for Computer Aided Detection of Mammographic Lesions[J]. *Medical Image Analysis*, 2017, 35:303-312.
- [2] Ghafoorian M, Karssemeijer N, Heskes T, *et al.* Non-uniform patch sampling with deep convolutional neural networks for white matter hyperintensity segmentation. *IEEE*, 2016:1414-1417.
- [3] Charbonnier J P, Rikxoort E, Setio A, *et al.* Improving airway segmentation in computed tomography using leak detection with convolutional networks.[J]. *Medical image analysis*, 2017, 36:52-60.
- [4] Grinsven M V, Ginneken B V, Hoyng C, *et al.* Fast Convolutional Neural Network Training Using Selective Data Sampling: Application to Hemorrhage Detection in Color Fundus Images[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2016:1273-1284.
- [5] Andre E, Brett K, Novoa R A, *et al.* Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks[J]. *Nature*, 2019, 2017 年 542 卷 7639 期:115-118 页.
- [6] Yang, Wei, Chen, *et al.* Cascade of multi-scale convolutional neural networks for bone suppression of chest radiographs in gradient domain.[J]. *Medical Image Analysis*, 2017, 35:421-433.
- [7] Zhang L, Zhang Y. Big data analysis by infinite deep neural networks[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2016, 53: 68–79.
- [8] Zhou T, Canu S, Su R. Fusion based on attention mechanism and context constrain for multi-modal brain tumor segmentation[J]. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 2020, 86(13):101811.

- [9] Ali M B , Gu Y H , Berger M S , *et al.* Domain Mapping and Deep Learning from Multiple MRI Clinical Datasets for Prediction of Molecular Subtypes in Low Grade Gliomas[J]. *Brain Sciences*, 10(7).
- [10] Weickenmeier J , Butler C , Young P G , *et al.* The mechanics of decompressive craniectomy: Personalized simulations[J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2016, 314: 180 – 195.
- [11] Mohammadi A , Ahmadian A , Rabbani S , *et al.* A combined registration and finite element analysis method for fast estimation of intraoperative brain shift; phantom and animal model study[J]. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 2017, 13(4).
- [12] Mohammadi A , Ahmadian A , Azar A D , *et al.* Estimation of intraoperative brain shift by combination of stereovision and doppler ultrasound: phantom and animal model study[J]. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2015, 10(11): 1753–1764.
- [13] Miga M I , Sun K , Chen I , *et al.* Clinical evaluation of a model-updated image-guidance approach to brain shift compensation: experience in 16 cases[J]. *International Journal of Computer Assisted Radiology & Surgery*, 2015, 11(8):1467-1474.
- [14] Hamze N, Bilger A , Duriez C , *et al.* Anticipation of Brain Shift in Deep Brain Stimulation Automatic Planning.[J]. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, United States: 2015: 3635–3638.*
- [15] Simpson A L, Sun K, Pheiffer T S , *et al.* Evaluation of Conoscopic Holography for Estimating Tumor Resection Cavities in Model-Based Image-Guided Neurosurgery[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2014, 61(6):1833-1843.

- [16] Sun K , Pheiffer T S , Simpson A I , *et al.* Near Real-Time Computer Assisted Surgery for Brain Shift Correction Using Biomechanical Models[J]. IEEE Journal of Translational Engineering in Health & Medicine, 2014, 2(1):1-13.
- [17] Serej N D , Ahmadian A , Mohagheghi S , *et al.* A projected landmark method for reduction of registration error in image-guided surgery systems[J]. International Journal of Computer Assisted Radiology & Surgery, 2015, 10(5):541-554.
- [18] Joldes G R , Wittek A , Miller K . Real-Time Nonlinear Finite Element Computations on GPU - Application to Neurosurgical Simulation[J]. Computer Methods in Applied Mechanics & Engineering, 2010, 199(49-52): 3305–3314.
- [19] Zhang C , Wang M , Song Z . A Brain-Deformation Framework Based on a Linear Elastic Model and Evaluation Using Clinical Data[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2011, 58(1):191-199.
- [20] Bucki M , Palombi O , Bailet M , *et al.* Doppler Ultrasound Driven Biomechanical Model of the Brain for Intraoperative Brain-Shift Compensation: A Proof of Concept in Clinical Conditions[J]. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [21] Zhuang D X , Liu Y X , Wu J S , *et al.* A Sparse Intraoperative Data-Driven Biomechanical Model to Compensate for Brain Shift during Neuronavigation[J]. Ajnr American Journal of Neuroradiology, 2011, 32(2):395-402.
- [22] Fa Ria C , Erlhagen W , Momi E D , *et al.* Review of Robotic Technology for Stereotactic Neurosurgery[J]. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 2015, 8: 125 – 137.
- [23] Sutherland G R , Latour I , Greer A D . Integrating an Image-Guided Robot with Intraoperative MRI[J]. Engineering in Medicine & Biology Magazine IEEE, 2008, 27(3):59-65.
- [24] MD Comparetti, Momi E D , Vaccarella A , *et al.* Optically tracked multi-robot system for keyhole neurosurgery[C]// 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2011: 661 – 666.

- [25] Devito D P , Kaplan L , Dietl R , *et al.* Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with SpineAssist surgical robot: retrospective study.[J]. Spine, 2010, 35(24): 2109 – 2115.
- [26] Amin D V , Lunsford L D . Volumetric resection using the SurgiScope: a quantitative accuracy analysis of robot-assisted resection.[J]. Stereotactic & Functional Neurosurgery, 2004, 82(5-6):250-253.
- [27] Li Q H , Ph. D , Zamorano L , *et al.* The Application Accuracy of the NeuroMate Robot— A Quantitative Comparison with Frameless and Frame-Based Surgical Localization Systems. [J]. Computer Aided Surgery: Official Journal Of The International Society For Computer Aided Surgery, England: 2002, 7(2): 90–98.
- [28] Gonzalez-Martinez J , Vadera S , Mullin J , *et al.* Robot-Assisted Stereotactic Laser Ablation in Medically Intractable Epilepsy[J]. Neurosurgery, 2014, United States: 2014, 10 Suppl 2: 163 – 167.
- [29] ArneRadetzky, MichaelRudolph, WernerStefanon, *et al.* Simulating Minimally Invasive Neurosurgical Interventions Using an Active Manipulator[C]// International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.
- [30] Deacon G , Harwood A , Holdback J , *et al.* The Pathfinder image-guided surgical robot[J]. Proc Inst Mech Eng H, 2010, 224(5):691-713.
- [31] Said A , Aboufotouh M , Sobhi M , *et al.* Adaptation of a hexapod-based robotic system for extended endoscope-assisted transsphenoidal skull base surgery. [J]. Minim Invasive Neurosurg, 2004, 47(01):41-46.
- [32] Ma C , Chen G , Zhang X , *et al.* Moving-tolerant Augmented Reality Surgical Navigation System using Autostereoscopic 3D Image Overlay[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2019, 23(6): 2483 – 2493.

[33] A A W , A G J , C M C A , *et al.* Patient-specific non-linear finite element modelling for predicting soft organ deformation in real-time; Application to non-rigid neuroimage registration[J]. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 2010, 103(2–3):292-303.

行业图谱研究项目

一、项目目标和定位

行业图谱是资本市场与公司金融研究中心基于科技成果转化研究的一项子课题，聚焦于科技成果这一核心要素，从技术链视角切入展开的研究项目。科技成果的转化需要对科技成果有清晰、准确、深刻的认识和理解，能够解析科技成果所包含的学术价值、社会价值、经济价值和人文价值等，从而探索科技成果的未来应用场景，以跨越从0到1的商业性转化，通过不断理解优化实现社会产业化，并最终成为科技推动社会发展的历史进程。

然而，由于科技天然具有强大的认知壁垒，其先进性、创新性的特点，使得科技成果面临非专业人士看不懂、不敢判断的知识窘境。在成果转化的操作路径中，执行者可分类为三方：成果供给方、成果接收方及连接双方的中介服务机构。除了成果供给方之外，成果接收方和中介服务机构都面临着知识窘境。成果供给方是科技成果的发明人、创造者，对科技成果的学术价值拥有深度认知，但缺乏商业经验和分析社会需求的能力，很难独立实现成果的成功转化；成果接收方是进行成果商业化、产业化的企业，对社会需求敏感，善于进行商业价值的探索，但由于不具备深厚的科研基础，不能对科技成果进行技术层面的准确分析和判断，影响执行效率；中介服务机构虽然具备政策分析、法律服务等领域的专业能力，但同样面临看不懂技术的知识窘境，导致出现无效推介、不合理的专利布局、未来的专利纠纷等潜在危机。这一需求的断层也间接性地影响经济学称之为成果转化“死亡之谷”时期的存在。因此，如何准确认识科技成果，正确判断科技成果的技术领先度，理解科技成果所处的行业地位和产业链发展格局，对于提高科技成果转化具有极其重要的价值。

本研究以国家十四五规划为导向，重点关注与国家战略需求发展相关的重大创新领域。集中在人工智能、量子信息、集成电路、生命科学、生物育种、空天科技、深地深海、现代能源等前沿领域。对基础科研方向进行应用场景的细分，将相关可转化/转化中的科技成果进行技术链条的梳理，通过专业性的技术解构和解析，形成高逻辑

性、易理解性的技术图谱；并在此基础上，对科技成果产业化应用现状进行行业研究和分析，以全球视野定位领先梯队中的科创企业和学术团队的技术实力。通过行业图谱的研究，不仅可以清晰定位高新科技企业的技术竞争力，而且能够对我国相关行业现状和未来方向有更准确的认识。既为科技成果转化提供了专业性知识体系支撑，也有助于指导城镇产业化发展布局、推动产业链融通创新、引导创业投资基金对“硬科技”的积极性及鼓励金融支持创新体系的建设。

二、研究方法

方法学上，行业图谱研究将进行学科领域分级细化，再对技术在应用场景方向上进行详细分级和解构：

（一）一级分类：从应用产业所属学科的角度，以国家十四五规划为导向，重点关注影响国家安全和全局的基础核心领域，包括人工智能、量子信息、集成电路、生命科学、生物育种、空天科技、深地深海、现代能源等。

（二）二级分类：对技术对象进行分类。比如生命科学中包括疫苗、新生物材料、细胞治疗、人工智能、基因技术等技术对象，择一进行技术应用方向分析和流程解析。

1、应用方向的技术流程全景

即对某一技术对象在一个应用方向上的技术流程全景图，从研发到生产、上市的全流程。如深度学习于医学图像分析及上市的整体概况图。

2、应用方向的技术产品细分类

对技术对象在此应用方向上所形成的深度学习算法进行细分，并提炼从开发到应用的具体流程。

3、应用方向上某一细分产品的技术开发流程

从上一级分类产品中选定一个细分产品，一般是现阶段技术发展最先进的产品，针对其所应用的场景相关技术开发/生产全流程进行解析和描述。比如：手术导航系统，其生产技术流程及其中核心竞争技术环节。

4、领先级国际科创企业及学者团队定位

将国际国内最领先的科创企业进行技术平台和产品性能的比较分析，并将其所具备的技术优势定位于上述图谱中。将国内外学者团队的领先性研究成果/转化状态进行分析，并定位于上述图谱中。比如：国际顶尖医疗公司如 BrainLAB、ClaroNav、Medtronic 以及 Stryker 的优势技术平台。

三、研究报告形式

行业图谱以结构化脑图为基础形式，辅以文字报告进行解释说明。文字报告的内容框架包括：

- 1、概览：概述图谱传递的信息内容、解答的技术问题和目的。
- 2、科学背景简述：描述图谱行业背景、技术流程、关键技术平台和竞争点的细节、技术应用的例证及国内外行业发展现状，对图谱做详细内容的补充说明。
- 3、专业术语解析：针对重点专业术语进行概念解释。
- 4、参考文献。

免责声明

本报告由清华大学五道口金融学院国家金融研究院，资本市场与公司金融研究中心（以下统称“研究中心”）编写。本报告仅供研究使用，并非为提供咨询意见而编写。本报告中的信息均来源于本研究中心认为可靠的已公开资料，但研究中心及其关联机构对信息的准确性及完整性不做任何保证。本报告的版权仅为研究中心所有，如需转载，请注明本文为本研究中心的著作。