

卫星遥感智能解译技术与平台概述

卫星遥感技术在资源调查、环境监测、地形测绘、气象观测、规划管理等国民经济的诸多领域以及军事领域得到了广泛应用。随着人工智能技术的快速发展,人工智能技术被广泛地应用于卫星遥感影像的智能解译,有效支撑了海量卫星遥感数据的智能化处理。本章首先对卫星遥感技术进行简要介绍,并主要从卫星遥感分类及国内外民商陆地观测卫星方面进行分析;其次对人工智能技术的基本概念、主要相关研究领域及最新发展趋势进行概要总结;最后结合遥感影像特点,简要介绍遥感图像智能解译技术及目前国内外主流的遥感图像智能处理解译平台。

1.1 卫星遥感技术

卫星遥感技术是20世纪60年代兴起的一种远程探测感知技术。根据电磁理论,卫星遥感技术使用各种传感器对远距离目标反射和辐射的电磁波信息进行收集、处理,并成像,从而对地球表面不同地物进行探测和识别。其基本原理为任何物体都具有光谱特性,具体地说,不同物体具有不同的吸收、反射、辐射等光谱特性。不同物体在同一光谱区域的光谱表现不同,而同一物体在不同光谱区域的表现也有所差异。即使是同一物体,在不同的时间和地点,由于太阳光照射角度不同,它们反射和吸收的光谱也各不相同。本节主要从卫星遥感分类情况及国内外目前主流的民商陆地观测卫星方面进行介绍。

1.1.1 卫星遥感分类

卫星遥感系统主要由遥感平台、遥感传感器及遥感数据地面处理系统组成。遥感平台是搭载遥感传感器用以从一定距离外对地球或天体进行探测的工具或装置,主要包括高空气球、航空飞机、人造卫星、宇宙飞船等。遥感传感器是远距离感测地物环境辐射或反射电磁波并将其转换为易于传输和成像的电信号的仪器,包括可见光传感器、红外传感器、微波辐射和散射计、成像光谱仪等。而遥感数据地面处理系统负责接收、记录、传输、处理与分析遥感数据,进而支撑行业用户应用。

此外,遥感探测感知的对象即观测对象对卫星遥感系统各部分的选择具有重要影响,很多情况下需要根据不同的观测对象进行特定遥感系统的设计。

1. 观测对象

根据《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025年)》,卫星遥感分类按观测对象可以分为陆地资源遥感、海洋遥感、大气遥感等多个类别。这些类别的划分主要依据卫星遥感技术针对的地球表面特征和研究对象。

(1) 陆地资源遥感。陆地遥感是卫星遥感技术的重要应用领域之一。它利用卫星搭载的传感器对地球陆地表面进行观测,获取地表覆盖、土地利用、地形地貌、植被生长等信息。通过对陆地信息的提取和分析,可为国土资源、环境保护、防灾减灾、水利、农业、林业、统计、地震、测绘、交通、住房城乡建设、卫生等行业领域提供有力支持。

(2) 海洋遥感。海洋遥感专注于对地球海洋环境的观测和研究。卫星通过捕捉海洋表面的反射光、温度、盐度等信息,揭示海洋动力过程、海洋生态系统、海洋资源分布等方面的规律。海洋遥感在海洋资源开发、环境保护、防灾减灾、权益维护、海域使用管理、海岛海岸带调查和极地大洋考察等方面发挥着重要作用。

(3) 大气遥感。大气遥感主要关注地球大气层的结构和变化。卫星通过测量大气中的气体成分、温度、湿度、风速等参数,揭示大气环流、气候变化、空气污染等现象。大气遥感对于气象预报、大气环境监测、气象灾害监测、全球气候观测及气候变化应对等领域具有重要意义。

2. 遥感平台

遥感平台按照高度可以分为近地面遥感平台、航空遥感平台和航天遥感平台三种。不同的遥感平台各具特点,优势互补,共同构成现代地球观测体系的基础。

(1) 近地面遥感平台。传感器装载在地面或水上固定或可移动的装置上,常用的有三脚架、遥感车、遥感船以及遥感塔,主要用于航空和航天遥感传感器定标、遥感信息模型建立,为航空和航天遥感提供基础资料。

(2) 航空遥感平台。传感器一般置于大气层内的飞行器上,主要包括飞机、气球、飞艇等。它的特点是灵活性强、遥感成像清晰、影像分辨率高。航空遥感平台可进行各种遥感试验和校正工作,具有较完善的理论和应用体系。

(3) 航天遥感平台。传感器置于在轨运行的航天器上,如人造地球卫星、航天飞机、空间站、火箭等,从外层空间对地球表面进行遥感探测。航天遥感平台的特点是在数百上千公里的高度对地观测,系统地收集地表及其周围环境的各种信息,便于宏观地研究地球系统变化;可以对同一地区周期性重复成像,便于发现和掌握自然界的动态变化及其规律。在航天遥感平台中,人造卫星是航天遥感的主要平台。

3. 传感器模态

遥感卫星传感器可以通过捕获地球表面不同波段的电磁辐射信息,实现对地

表特征的感知和识别。遥感卫星传感器的不同模态和物理特性使其具有各自独特的应用优势。在实际应用中,应根据具体应用需求和目标选择合适的传感器模态数据和处理方法,以实现地物要素的准确提取和高效应用。以下介绍主要的遥感卫星传感器模态和物理特性,它们如何反映目标特性及适用于哪些地物要素提取。

(1) 光学遥感。利用可见光和近红外波段的反射特性进行地表观测,适用于植被、水体、城市等要素的提取。

(2) 高光谱遥感。在光学遥感的基础上,通过细分光谱波段获取地表物质的精细光谱特征,适用于矿物识别、植被分类等精细应用。

(3) 夜光遥感。利用夜间城市灯光等人工光源进行地表观测,可反映城市扩张趋势、人口密度分布等人类活动信息,为城市规划、社会经济发展研究提供数据支持。

(4) 合成孔径雷达。利用主动式微波遥感技术,通过发射和接收雷达波束获取地表信息,具有全天候、全天时观测能力,适用于地形测绘、灾害监测等。

(5) 红外遥感。利用热红外波段的辐射特性进行地表观测,反映地表温度分布和热量传输过程,适用于火情监测、环境监测等。

(6) 激光遥感。利用激光束进行地表观测,具有高精度、高分辨率的特点,适用于地形测绘、目标定位等。

(7) 偏振遥感。通过测量电磁波的偏振特性获取地表信息,有助于区分不同地物类型并识别地物状态。

1.1.2 国内外民商陆地观测卫星

近年来,国内外主要航空航天研究机构已经发射了系列对地观测卫星,观测地球及其大气层,有效支撑国民经济和军事应用。此外,国内外商业公司为快速适应市场需求,也发射了大量商业卫星,进一步壮大了遥感卫星应用的市场规模。据《中国地理信息产业发展报告(2025)》,截至2024年末,我国在轨民用遥感卫星544颗,其中商业遥感卫星占比超过70%。本节对国内外民商陆地观测卫星进行简要介绍。

1. 国内民商用对地观测卫星

我国民用卫星包括高分、环境减灾、资源、测绘等系列卫星,而商业卫星包括北京、吉林、高景、珠海、齐鲁等系列卫星。这些卫星的发射和成功运营,不仅提升了我国在遥感领域的技术水平,也为地球科学研究、国家经济建设和社会发展提供了重要的数据支撑。下面分别选取高分系列及吉林系列卫星进行代表性介绍。

1) 高分系列卫星

高分专项工程是我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中16个重大专项之一。高分专项建设成绩斐然,发射的高分系列卫星已成为我国自主研发的代表性对地观测卫星系统。其中,高分一号、二号、四号卫星的发

射升空,实现了亚米级高空间分辨率与高时间分辨率的有机结合。高分系列卫星提供高分辨率的遥感数据,服务于国土资源调查、环境监测、灾害预警等多领域。其主要参数如表 1-1 所示。

表 1-1 民商用高分系列卫星及主要参数

卫星	载荷类别	波段	分辨率	幅宽/km
高分一号	光学	Pan/R/G/B/NIR	全色 2m/多光谱 8m、多光谱 16m	60(高分相机) 800(宽幅相机)
高分二号	光学	Pan/R/G/B/NIR	全色 0.8m/多光谱 3.2m	45
高分三号	微波	C 频段(SAR)	1~500m	10~650
高分四号	光学	Pan/R/G/B/NIR/MIR	50/400m	400
高分五号	高光谱	(6 台载荷)	30/20/40m	60
高分六号	光学	Pan/R/G/B/NIR	全色 2m/多光谱 8m	90
高分七号	光学/激光	Pan/R/G/B/NIR	全色 0.8m/多光谱 3.2m	20

2) 吉林一号系列卫星

吉林一号卫星星座建设分为两个阶段:第一阶段实现 60 颗卫星在轨组网,具备全球热点地区 30min 内重访能力,每天可观测全球范围内 800 多个目标区域;第二阶段实现 138 颗卫星在轨组网,具备全球任意地点 10min 内重访能力。吉林系列卫星星座旨在建设一个高时间分辨率、高空间分辨率的遥感信息获取平台,为用户提供高效、精准的遥感信息服务。

2. 国外民商用对地观测遥感卫星

国外的民用卫星主要介绍美国的 Landsat 系列及欧洲航天局的哨兵(Sentinel)系列卫星。而商业卫星发展快速,如 SPOT、RapidEye、QuickBird、IKONOS、GeoEye、Planet 等,后续以美国高空间分辨率卫星系列 WorldView 为主进行介绍。

1) Landsat 系列卫星

Landsat 是美国对地观测体系内面向中分辨率遥感应用的核心卫星系统,其主要服务领域涵盖陆地资源、水资源调查与管理,以及测绘制图等。Landsat 已发展了 4 代,第 1 代为 Landsat-1~3,第 2 代为 Landsat-4、5,第 3 代为 Landsat-6、7,第 4 代为 Landsat-8、9。经过历代发展,Landsat 技术水平稳步提高并初步实现商业化运营。Landsat-8 卫星延续对地观测数据记录的持续时间,全球陆地观测任务将延长至 40 年以上,在能源和水资源管理、森林资源监测、人类和环境健康、城市规划、灾后重建和农业等众多领域发挥重要作用。Landsat-9 上的传感器是 Landsat-8 的改进型,携带两台科学传感器,即陆地成像仪 2(OLI2)和热红外传感器 2(TIRS2),可提供更好的辐射和几何精度数据。下面主要介绍 Landsat-8 卫星的参数。卫星名称: Landsat-8; 传感器: OLI/TIRS; 分辨率: 15/30/100m; 重访周期: 16 天; 幅宽: 185km; 光谱范围参数如表 1-2 所示。

表 1-2 Landsat-8 卫星光谱范围参数

光谱	全色	蓝	绿	红	近红外	短波红外	热红外
波长/nm	500~680	433~453 450~515	525~600	630~680	845~885	1560~1660 1360~1390 2100~2300	10600~11190 11500~12510
分辨率/m	15	30	30	30	30	30	100

2) 哨兵系列卫星

哨兵系列卫星是欧洲哥白尼计划(Copernicus Programme)的专用卫星系列,由欧洲委员会投资,欧洲航天局研制。哨兵系列卫星主要包括 2 颗 Sentinel-1 卫星、2 颗 Sentinel-2 卫星、2 颗 Sentinel-3 卫星、2 个 Sentinel-4 载荷、2 个 Sentinel-5 载荷、1 颗 Sentinel-5 的先导星 Sentinel-5P 卫星,以及 1 颗 Sentinel-6 卫星。

(1) Sentinel-1 卫星实现全天时、全天候雷达成像任务,用于陆地和海洋观测。

(2) Sentinel-2 卫星可实现多光谱高分辨率成像任务,用于陆地监测,可提供植被、土壤和水覆盖以及内陆水路与海岸区域等图像,还可用于紧急救援服务。

(3) Sentinel-3 卫星携带多种有效载荷,用于高精度测量海面地形、海面和地表温度、海洋水色和土壤特性,还可支持海洋预报系统及环境与气候监测。

(4) Sentinel-4 载荷用于大气化学成分监测,搭载在欧洲第三代气象卫星 MTG-S 上。

(5) Sentinel-5 载荷用于监测大气环境,搭载在欧洲第二代 MetOp 气象卫星上。

(6) Sentinel-5P 卫星用于减少欧洲环境卫星(EnviSat)和 Sentinel-5 载荷之间的数据缺失。

(7) Sentinel-6 卫星是 Jason-3 海洋卫星的后续接替卫星,携带雷达高度计,用于测量全球海面高度,主要用于海洋科学和气候研究。

下面是 Sentinel-2A/2B 的一些参数。幅宽:290km;光谱分辨率:15~180nm;空间分辨率:10/20/60m;轨道高度:786km。光谱范围参数如表 1-3 所示。

表 1-3 Sentinel-2A/2B 光谱范围参数

光谱	中心波长/nm	分辨率/m	波段宽度/nm
海岸/气溶胶	443	60	20
蓝	490	10	65
绿	560	10	35
红	665	10	30
植被红边	705	20	15
植被红边	740	20	15
植被红边	783	20	20

续表

光谱	中心波长/nm	分辨率/m	波段宽度/nm
近红外	842	10	115
窄边近红外	865	20	20
水蒸气	945	60	20
短波红外-卷云波段	1375	60	20
短波红外	1610	20	90
短波红外	2190	20	180

3) WorldView 系列卫星

WorldView 系列卫星由美国 DigitalGlobe 公司研发,它由 4 颗卫星(WorldView-1~4)组成。其中,WorldView-1 和 WorldView-2 分别在 2007 年和 2009 年发射。2014 年发射的 WorldView-3 是第一颗用于对地观测和先进地理空间方案的多种载荷、超光谱、高分辨率商业卫星,可提供 0.31m 的全色分辨率、1.24m 的多光谱分辨率、3.7m 的短波红外分辨率数据。WorldView-4 于 2016 年 11 月开始运行,可使 DigitalGlobe 对地球上任意位置的平均拍摄频率达到每天 4.5 次,且地面分辨率优于 1m。具体参数如表 1-4 所示。

表 1-4 WorldView 系列卫星具体参数

卫星名称	WorldView-1	WorldView-2	WorldView-3	WorldView-4
发射时间	2007 年	2009 年	2014 年	2016 年
分辨率/m(全色/多光谱)	0.45/—	0.46/1.8	0.31/1.24	0.31/1.24
重访周期/天	1.7	1.1/3.7	1	1
幅宽/km	16	16.4	13.1	13.1
光谱范围 /nm	全色	450~900	450~800	450~800
	海岸		400~450	400~450
	蓝色		450~510	450~510
	绿色		510~580	510~580
	黄色		585~625	585~625
	红色		630~690	630~690
	红边		705~745	705~745
	近红外		770~895 860~1040	770~895 860~1040
			8 个 SWIR 波段 12 个 CAVIS ACI 波段	

3. 卫星遥感发展趋势

随着科技的飞速进步和应用需求的日益增长,卫星遥感技术正迎来前所未有的发展机遇。未来卫星遥感将朝着小卫星星座、通导遥一体化及星机地协同等方向发展,为人类社会提供更广泛、更深入的服务。

(1) 小卫星星座。随着微电子、现代通信、微机械、计算机技术和新能源的发展,以及对空间环境的日益深入了解,卫星轻量化的趋势愈加明显,微小卫星技术已成为航天科技中的新领域。小卫星星座以其低成本、高灵活性和快速部署等优势,逐渐成为卫星遥感领域的新宠。未来小卫星星座将朝着更高分辨率、更广覆盖范围和更快重访周期的方向发展。通过构建数十颗甚至上百颗小卫星组成的星座,可以实现全球范围内的无缝覆盖和高效数据的获取,为环境监测、灾害预警、城市规划等领域提供有力支持。

(2) 通导遥一体化。空天信息由卫星通信、卫星导航、卫星遥感三方面构成。这三方面的应用以前是相互独立的,并没有形成整体,信息获取和利用效率不高。而通导遥一体化是指可在一颗卫星上实现双向物联通信、星基导航增强、高分多模遥感三种功能。技术层面,通信和导航一体化情况较多,两者在技术上已实现相互渗透。比如,北斗卫星导航系统和5G技术的融合带来相互赋能,可以在不同场景下催生更多应用。近年来,卫星通信和卫星遥感也有一体化迹象。国际上,太空探索技术公司的星链系统新一代平台上,就已集成了通信和对地观测功能。通过构建通导遥一体化系统,可以实现遥感数据的实时传输和共享,提高数据处理效率和应用水平。

(3) 星机地协同。星机地协同技术是一种综合利用卫星、无人机等航空器和地面设备的观测数据,实现高效、准确的信息获取、分析与应用的技术体系。该技术体系的核心在于通过星机地多源信息的融合与协同处理,提升数据处理的时间效率和信息提取的精度,进而实现快速、全面的监测与评估。在实际应用中,星机地协同技术已展现出广泛的应用前景。例如,在大地震灾情快速调查中,该技术能够迅速获取灾区的遥感信息,自动或半自动地提取灾情信息,并进行综合评估,为灾害应急响应和决策提供支持。

1.2 计算机视觉领域人工智能算法

卫星遥感提供了海量的对地观测数据,而对海量遥感数据的分析与挖掘需要借助人工智能等技术手段。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技术科学。作为智能学科重要的组成部分,人工智能涉及范围众多,包括机器人、自然语言处理、专家系统、深度学习、机器学习、计算机视觉等。人工智能结合数学、计算机科学、心理学等多学科理论,通过让计算机模拟人类的思考和行为过程,实现人机交互,提高计算机的智能水平,以更好地服务人类社会,并成为新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量。本节主要介绍人工智能的基本概念、主要研究领域及最新发展趋势。

1.2.1 人工智能的基本概念

智能是知识和智力的总和,其中知识是一切智能行为的基础,而智能是获取知识并运用知识求解问题的能力(鲍军鹏等,2020)。人工智能,顾名思义就是人造智能,目前人工智能一词主要是指用计算机模拟或实现的智能。人工智能是一门研究如何构造智能机器或智能系统,使其能模拟、延伸、扩展人类智能的学科。

1.2.2 计算机视觉发展历程及主要进展

本节首先简要介绍计算机视觉发展历程,并进一步介绍目前计算机视觉领域各研究方向的主要技术模型。

1. 计算机视觉发展历程

计算机视觉是一个跨学科领域,旨在使计算机具备与人类一样的视觉感知能力。20世纪50年代至今,计算机视觉经历了基础概念的形成、方法技术的突破、实际应用的转化等多个阶段。

(1) 计算机视觉的起步,(20世纪50—60年代)。在这个时期,统计模式识别是计算机视觉的主要研究内容,主要集中在二维图像的分析、识别和理解方面。研究者开始探索如何利用计算机程序对图像进行分类和识别,代表性成果包括二维图像处理和分析的基础算法,如滤波、边缘检测、二值化等。

(2) 独立学科的形成(20世纪70年代)。计算机视觉开始独立发展,研究者开始关注三维场景的理解,如3D重建、立体视觉和运动分析等。代表性进展包括通过计算机程序从数字图像中提取立方体、棱柱体等多面体的三维结构,并对物体形状及物体之间的空间关系进行描述。这些研究成果为后续的计算机视觉发展奠定了基础。

(3) 理论框架与方法的突破(20世纪80—90年代)。在这一阶段,研究者开始构建逐步完善的计算机视觉理论框架和方法。Marr提出了一种基于计算理论的视觉系统框架,将视觉过程分为三个层次:计算理论层、表征与算法层和实现层。理论框架为后续的计算机视觉发展提供了重要的指导。同时,特征提取、目标跟踪及场景重建方面也呈现出较大的技术进展。

(4) 现代应用与挑战(进入21世纪以来)。计算机视觉的应用领域不断扩展,在安防、医疗、自动驾驶、智能制造等多领域得到了广泛的应用。尤其是随着深度学习技术的发展,出现了一批基于深度学习的图像分析和目标检测经典算法模型,例如CNN、R-CNN、YOLO、Transformer等。尽管如此,计算机视觉仍面临着许多挑战,如复杂场景下的目标遮挡、光照变化、动态目标跟踪等问题。

2. 计算机视觉领域研究的基本问题与主要模型

计算机视觉领域研究的基本问题包括目标检测、图像识别、语义分割、实例分割、全景分割及时序分析等。针对计算机视觉领域研究的基本问题,目前已经提出

了不同系列的深度学习模型,这些算法模型共同构成该领域并推动其不断前进。

1) 研究的基本问题

(1) 目标检测。目标检测是计算机视觉中的一个基本问题,旨在从图像或视频中识别并定位出特定类别的对象。这涉及对象的识别、定位及可能的尺寸估计。

(2) 图像识别。图像识别是计算机视觉领域的基础问题之一,旨在从输入的图像中识别出物体、场景或概念。这涉及特征提取、分类器设计及大规模数据集的利用等方面。

(3) 语义分割。语义分割是对图像中的每个像素进行分类,以便识别出不同的对象或区域。与目标检测不同,语义分割不关注对象的数量或位置,而是关注每个像素的类别。

(4) 实例分割。实例分割是目标检测与语义分割的结合,它不仅要识别出不同类别的对象,还要对每个对象进行精确的像素级分割。

(5) 全景分割。全景分割是对图像中的每个像素进行细致的分类,包括前景对象、背景及可能的未知区域。它结合语义分割和实例分割的概念,可实现更全面的场景理解。

(6) 时序分析。在视频处理中,时序分析是一个重要问题。它涉及对视频帧之间的关系进行建模,以便理解对象的运动、行为及场景的动态变化。

2) 主要模型

(1) 目标检测模型。常见的目标检测模型包括 RCNN 系列,如 Faster R-CNN (Ren et al., 2015)、YOLO 系列 (Redmon et al., 2016) 和 SSD (Liu et al., 2024) 等。这些模型通常通过卷积神经网络提取特征,然后利用区域提议网络或直接回归的方式生成候选框,并进行分类和定位。最新的一些检测模型包括 KCFS-YOLOv5 (Tian et al., 2023)、ASEM (Liu et al., 2024)、TA-YOLO (Li et al., 2024) 等。

(2) 语义分割模型。典型的语义分割模型包括 FCN (Shelhamer et al., 2016)、U-Net (Ronneberger et al., 2015) 和 DeepLab (Chen et al., 2016) 系列等。这些模型通过编码器-解码器结构提取和融合多尺度特征,以实现精确的像素级分类。最近的一些语义分割模型包括 MSNet (Tao et al., 2022)、Hybrid CNN 和 Transformer (Zhou et al., 2023)、DSHNet (Fu et al., 2024) 等。这些方法主要从独特的角度出发,已经发展为较成熟的模型方法。

(3) 实例分割模型。Mask R-CNN (Hassan et al., 2022) 是实例分割领域的代表性模型。它在 Faster R-CNN 的基础上增加了一个并行的分支以预测每个实例的掩码,从而实现实例级别的分割。QCIS-Net (Chen et al., 2023) 主要包括高效特征提取模块(主要利用 Transformer 思想)、多级级联任务头和联合损失函数等关键组件,这些组件可以通过高效查询表征遥感图像中实例的位置和视觉信息。RPSIS (Yuan et al., 2024) 引入参考遥感图像分割,并进行了一些有见地的探索。

具体来说,这项任务创建了一个新的数据集,称为 RefSegRS,以便评估不同的方法。

(4) 全景分割模型。全景分割模型通常结合语义分割和实例分割的技术。例如,Panoptic FPN(Zhu et al.,2022)通过共享特征提取网络,分别处理前景和背景任务,实现全景分割。UniDAformer(Zhang et al.,2023)是一种统一的域自适应全景分割变换器,可以在单个网络中同时实现域自适应实例分割和语义分割,它引入了分层掩模校准(HMC),可通过实时在线自我训练纠正区域、超像素和像素级别的不准确预测。YOSO(Hu et al.,2023)是一种实时全景分割框架,通过全景内核和图像特征图之间的动态卷积预测掩码,其中只需为实例分割和语义分割任务分割一次。为了减少计算开销,YOSO设计了一个用于特征图提取的特征金字塔聚合器,以及一个用于全景核生成的可分离动态解码器。

(5) 时序分析模型。在时序分析方面,循环神经网络(RNN,Cho et al.,2014)及其变种(如长短期记忆网络(LSTM)、门控循环单元(GRU),Bandhu et al.,2023)以及3D卷积神经网络(3D-CNN,Mahareek et al.,2024)等模型被广泛应用。这些模型能够捕捉视频帧之间的时序依赖关系,从而实现对动态场景的理解和分析。最新的时序分析方法如GLTF-Net(Jia et al.,2023),该方法包括两个阶段:全局多时相特征融合阶段和局部单时相信息恢复阶段。它采用全局多时相融合的特征,恢复局部单时相图像的厚云遮挡信息。

1.2.3 人工智能最新发展趋势

近年来,随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展,人工智能领域出现了一些新的值得关注的发展趋势,如多模态技术、扩散模型及人工智能大模型等,这些新技术使计算机视觉领域的研究问题和模型不断发展完善,以应对更复杂的视觉任务和挑战。

1. 多模态技术

传统的AI模型专注于处理来自单一模态的信息。而现在,通过多模态学习和深度学习,能够训练模型发现不同类型模态之间的关系,意味着这些模型可以将文本“翻译”成图像,并将图像变为视频、将文本变为语音等。越来越多的工作在构建统一的、跨场景、多任务、多模态的技术原型。例如,Meta近期做了两项工作:第一项工作采用统一的预训练模型处理视觉中图片、视频、3D图像三种模态的输入,并将其映射到统一的特征空间;第二项工作采用统一的模型和训练框架,分别训练文本、图像、语音的预训练模型。而微软亚洲研究院的Bridge-Tower(Xu et al.,2023)提出了多模态预训练模型新的特征融合方式,即在单模态表示学习的中间层也能进行跨模态的交互。除此之外,通过构建自监督的任务,可以提高多模态模型的表征能力,缓解缺少大规模监督数据的挑战。