

第五章 技术要求

一、项目概述

地表反射率产品是卫星定量遥感产品生产的基础数据，其质量直接决定后续定量遥感产品的精度和推广应用能力。因此，通过大气校正将 TOA 辐亮度（反射率）转换为地表反射率，对于国产卫星遥感数据的推广应用具有重要意义。现有大气校正算法对国产卫星数据的适配性较差，尤其难以对缺少短波红外波段的国产卫星开展有效的大气校正，导致目前高质量、可用于定量遥感数据生产的国产地表反射率产品相对匮乏。研发融合深度学习与物理机理的国产光学卫星大气辐射校正方法，可实现高质量地表反射率数据生产，推动国产卫星遥感数据的定量化应用，促进国产定量遥感产品的生产与推广，具有较高的实用价值和现实必要性。

采购预算为 60.00 万元，拟委托外部技术优势单位研发多源光学卫星遥感地表反射率产品反演与精化软件。

二、建设要求

（一）项目目标

研发一套国产多源光学卫星遥感地表反射率产品反演与精化软件，能适用于 ZY3、GF1、GF1-B/C/D、GF2、GF6、GF7、ZY1-02D/02E 等国产遥感卫星，精度优于 85%；构建具备物理机理的、可解释的智能化大气校正反演算法，通过多源数据融合和基于机器学习的反射率预测模型，提升现有地表反射率产品的准确性和可靠性。该软件的主要功能包括：1）大气参数的获取与预处理，实现水汽、臭氧等大气参数的获取与预处理；2）基于深度学习与物理机理相结合的大气辐射校正算法研发，可实现地表反射率的高精度获取；3）算法软件工程化，基于 NVIDIA GPU 与 CPU 协同计算架构，采用 Docker 容器化部署方式以提升系统可移植性与运行稳定性，并能实现多源遥感地表反射率产品反演与精化。该软件需要提供源代码，能够对现有的国产多源光学卫星数据进行业务化处理。

（二）主要建设内容（主要功能模块）

序号	系统模块	主要功能	简要说明
1	大气参数预处理	水汽、臭氧、地	将全球再分析中的水汽参数、臭氧浓度、地形

序号	系统模块	主要功能	简要说明
	理模块	形数据预处理	参数进行预处理，用于作为大气校正中校正的参数
2	物理校正模块	基于辐射传输模型进行快速校正	基于辐射传输模型，采用经验校正公式对卫星遥感数据进行快速校正
3	基于物理约束的深度学习大气校正模块	精确大气校正	开发基物理约束的深度学习大气校正模块，对卫星遥感数据进行精确校正，并对校正结果进行 QA 赋值

（三）业务需求

遥感地表反射率数据是指卫星传感器观测信号经大气校正后获得的地表真实反射特性表征，是开展植被监测、土地利用分类、生态环境评估、农情监测、水体识别、灾害调查以及气候变化研究的重要基础数据。与 TOA 表观反射率数据相比，地表反射率产品具有更强的时空可比性和更高的定量应用价值，能够为多时相、跨区域、跨传感器分析提供统一的数据基础。

然而，目前国产卫星遥感地表反射率产品仍存在一定不足，主要表现为缺乏适用于国产卫星数据特点的地表反射率反演与精化软件模型，从而限制了国产卫星遥感数据在后续定量遥感任务中的应用。研发融合深度学习与物理机理的国产光学卫星大气辐射校正方法，可实现高质量地表反射率数据生产，推动国产卫星遥感数据的量化应用，促进国产定量遥感产品的生产与推广，具有较高的实用价值和现实必要性。根据当前国产卫星的特点，提出以下具体业务需求：

1. 大气参数预处理

大气校正涉及水汽、臭氧、气溶胶、高程等参数，精确的大气校正不仅需要保证算法的可靠，也需要合适的大气参数作为支撑。大气参数预处理需将不同来源的水汽、臭氧、气溶胶、高程参数预处理为指定网格大小的格式，保证其空间与时间分辨率作为输入参数参与到大气校正模块中。

2. 基于物理模型的大气校正

采用经典辐射传输模型，面向多源国产遥感卫星的传感器参数，基于预处理的大气参数，获取基于物理模型的快速大气校正参数，实现对单景卫星遥感影像的快速单独大气校正。

3. 基于物理约束的深度学习大气校正

大气辐射传输模型，结合数字高程模型、观测几何条件和大气参数等多源输入数据，通过模拟不同大气和观测条件下的辐射传输过程，构建包含模拟表观反射率及大气校正三参数的查找表。随后，以查找表中的输入参数为特征、三参数为标签，训练深度学习回归模型，采用深度学习模型学习从大气/几何参数到辐射传输核心参数的非线性映射。在应用阶段，将待校正影像的观测几何、气象数据及高程信息输入训练好的模型，预测得到对应像元的大气校正三参数，进而基于辐射传输方程计算得到多光谱地表反射率产品。

（四）功能需求

本软件面向国产卫星地表反射率反演与精化的实际业务需求，拥有大气参数预处理、基于物理模型的大气校正、基于物理约束的深度学习大气校正三个基本模块，可以实现多源大气参数获取、多源大气参数预处理、数据网格化、基于辐射传输模型的遥感影像快速处理、基于物理约束的深度学习大气校正等核心功能，具体功能需求如下：

1. 大气参数预处理

支持 NCEP、ERA5 再分析数据、MODIS 等多源大气参数的预处理，可自动将不同格式的大气网格数据插值分配致卫星遥感像元，确保各像元与大气校正参数一一对应。支持多种 DEM 数据的提取与重采样，将 DEM 数据按卫星数据范围进行匹配。

2. 基于物理模型的大气校正

内置定制化的辐射传输模型，并支持传感器参数定制功能，基于大气参数预处理模块数据计算大气校正经验参数，对整景影像进行大气校正并输出快速大气校正结果，并对结果进行精度评价与质量评价。

3. 基于物理约束的深度学习大气校正

采用深度学习模块对辐射传输模型进行微分化，构建基于人工智能的辐射传输模型，结合数字高程模型、观测几何条件和大气参数等多源输入数据，通过模拟不同大气和观测条件下的辐射传输过程，构建包含模拟表观反射率及大气校正三参数的查找表。以查找表输入标签数据，训练大气校正物理参数，同时支持参数更新与微调，实现多源卫星遥感数据的基于物理约束的深度学习大气校正。

（五）非功能需求

1. 技术架构技术手段要求

开发语言：优先采用 Python、C++ 等高效数据处理开发语言；

数据库环境：支持国产数据库，可存储数据处理日志、校正参数、成果数据元信息等；

算法要求：核心校正算法需具备自主知识产权，算法处理精度与效率需满足本项目性能指标要求，支持算法的迭代升级与优化；基于 NVIDIA GPU 与 CPU 协同计算架构，采用 Docker 容器化部署方式以提升系统可移植性与运行稳定性。

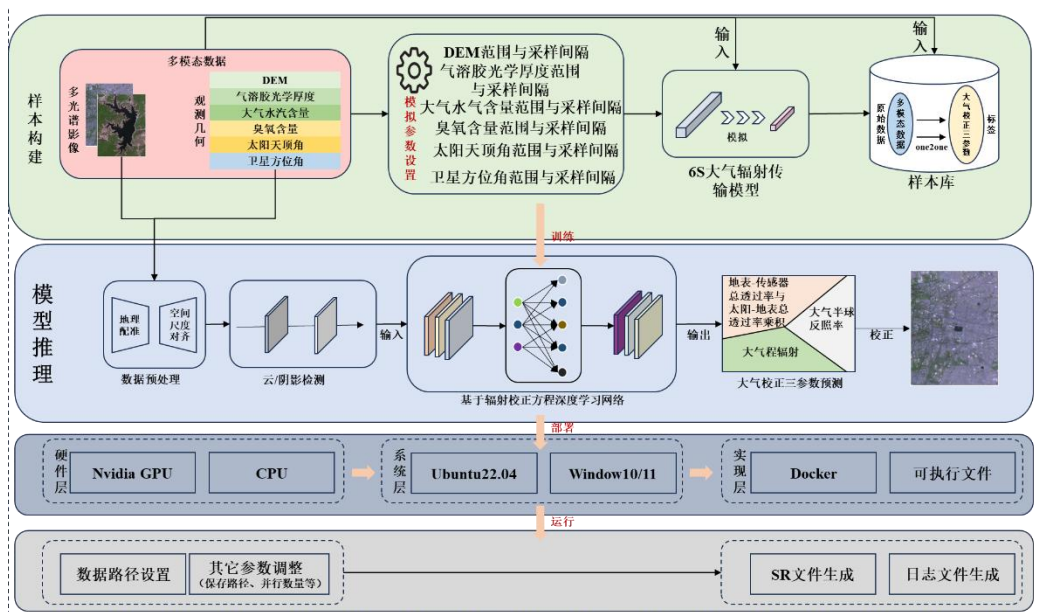
2. 总体架构说明

本软件的总体架构如下图所示，总体而言分为样本构建阶段、模型推理阶段和系统实现阶段。

在样本构建阶段，统整合多光谱影像及多模态辅助数据，包括数字高程模型、气溶胶光学厚度、水汽含量、臭氧含量、太阳天顶角以及卫星观测方位角等观测几何与大气参数。通过设定不同参数范围与采样间隔构建输入参数空间，并利用大气辐射传输模型进行仿真计算，生成多维大气辐射传输样本数据，构建大气校正样本库，为后续模型训练与参数反演提供基础数据支撑。

在模型推理阶段，系统首先对输入遥感影像进行数据预处理与空间尺度对齐，并进行云与阴影检测，以剔除异常观测区域。随后，将预处理后的影像特征输入基于辐射校正方程构建的深度学习网络模型，通过学习大气辐射传输关系，实现地表反射率、太阳 - 地表总透过率及大气校正系数等关键参数的预测。该模型能够在复杂大气条件与观测几何变化下，实现高效且稳定的大气校正参数反演，从而提高 SR 反演精度。

在系统实现方面，软件运行环境基于 NVIDIA GPU 与 CPU 协同计算架构，支持 Ubuntu 22.04 及 Windows 10/11 操作系统，并采用 Docker 容器化部署方式以提升系统可移植性与运行稳定性。系统通过统一的数据路径配置与参数调度模块，实现多参数输入管理与批量处理流程控制，最终自动生成 SR 结果文件及对应的日志文件，实现完整的大气校正处理流程。



任务总体架构图

3. 性能需求

大气校正精度：大气校正精度优于 85%；

支持卫星数据：ZY3、GF1、GF1-BCD、GF2、GF6、GF7、ZY1-02D/02E 等卫星

兼容性：兼容 Windows、Ubuntu 等主流操作系统，支持与现有卫星数据处理平台的对接集成；

4. 安全需求及等级保护开发要求

(1) 投标人需保障本项目研发的算法模块、测试数据、遥感影像数据的安全，防止核心算法泄露与数据篡改、丢失。

(2) 需满足国家标准《GB/T35274-2023 信息安全技术大数据服务安全能力要求》(如遇更新，按最新标准执行)的要求。

(3) 对核心算法代码、技术文档进行加密存储与传输，对遥感影像测试数据进行访问权限控制，防止未授权访问。

(4) 提供完善的信息安全机制，以实现对信息的全面保护，保证系统的正常运行，防止自动任务集中调度，以避免大量占用资源的情况发生。

(5) 保证运行中的一切数据安全，重要数据需要定期备份。

5. 运行环境需求 or 运行环境配置

本项目的运行环境由采购人提供，具体运行环境要求如下：

软件环境：Windows、Ubuntu 等主流操作系统；

运行支撑能力：支持模型文件、配置文件、日志文件和结果目录管理；

网络环境：支持局域网内的模块部署与测试，可与国产化遥感信息处理平台进行局域网对接。

三、项目实施要求

（一）项目团队要求

为顺利实施本项目，投标人须组建稳定、专业的项目团队，项目团队核心成员不少于 10 人。现场服务人员不少于 5 人，全部具备本科或以上学历，且具备相关专业背景（测绘工程、遥感科学与技术），核心成员应该具有主持遥感数据处理项目经验。具体要求如下：

1. 项目负责人（1 人）：具备高级职称，且在测绘或地理信息或遥感等相关专业取得博士学位，具有 5 年以上的卫星遥感数据处理、算法开发相关科研或开发经验，承担过与本项目类似项目业绩（有关辐射或共性产品真实性检验），能够把控整个项目研发、适配、测试与部署全过程，把握技术研发方向与核心技术难点。

2. 核心成员（9 人及以上）：核心成员中至少 2 名副高级及以上成员，具备至少 5 年以上的卫星遥感数据处理、算法开发的相关经验；有熟悉大气校正、深度学习的人员至少 2 名，具备软件工程化的经验。

3. 团队服务要求：采购人有权对不满足要求的人员要求投标人进行更换，投标人应及时更换相应人员并保证项目进度不受影响；若采购人认为工期和质量无法确保时，投标人须及时增加项目人员。

投标人承诺项目负责人及核心成员在项目正式验收前专职承担本项目相应工作，未经采购人许可不得变更。如确需变更，应至少提前 1 个月通知采购人，并同时向采购人推荐能力和岗位对等的人员并做好工作交接。如投标人未按要求提前通知或未完成交接即更换人员，采购人有权取消合同。

（二）知识产权要求

投标人保证采购人在使用合同中的产品或其中任何一部分时，不受第三方提出的侵犯其专利权，商标权、工业设计权和其它受保护的权利的索赔和起诉，如因投标人提供的产品或软件导致版权纠纷，由此给采购人带来任何损失由投标人承担。

结合本项目业务需求定制化开发所形成的软件开发成果，相关知识产权、著作权归采购人所有。投标人或甲乙双方针对本项目需求开发或组织开发的软件、软件模块或其他代码等需在项目正式验收前向采购人提交源代码。未经采购人事先书面许可，投标人不得将之用于商业用途或提供给第三方，否则承担相应的经济 and 法律责任。

本项目招标文件中技术需求书部分相关知识产权、著作权归采购人所有，未经采购人事先书面许可，投标人不得将之用于商业用途或提供给第三方，否则承担相应的经济 and 法律责任。

在本合同生效前已存在的原有产品及其功能模块的著作权及其他知识产权并不因本合同的签署和履行而转移，但投标人应确保采购人在使用过程中的合法性并应提供相关产品的技术白皮书、帮助手册、应用接口文档等。包括：投标人保证在本项目中所有预装和为本项目安装的系统软件、数据库软件等成品软件是在中国境内具有合法版权的正版软件；若投标人在本项目实施过程中使用投标人自有的软件产品或功能模块，应向采购人开放源代码，采购人有权不限期限地进行二次开发；若投标人在本项目中采用第三方软件或产品，投标人应保证其均是在中国境内具有合法版权的正版软件并获得源代码使用授权且提供源代码。

在项目正式验收前，需协助采购人完成本项目相关功能模块和核心技术的软件著作权申请，并承担所有申请和受理过程的相关费用。

（三）★测试要求（投标人需单独出具格式自拟的承诺函并加盖投标人公章，否则其投标将会被拒绝）

投标人需组织具备软件测试资质的第三方测评机构对本项目研发的多源光学卫星遥感地表反射率产品反演与精化软件进行全维度测试，确保软件的功能、性能及稳定性符合项目要求，具体要求如下：

1. 功能测试：按照项目需求对软件的核心功能进行全面测试，确保所有功能均能正常实现且满足需求规范。

2. 测试报告：出具正式的《测试报告》，明确测试结果是否满足本项目采购需求，若存在不满足项，投标人需根据测试意见进行整改。

3. 稳定性测试：开展长时间、多场景的稳定性测试，模拟工程化应用场景检测模块的运行故障与异常情况，确保项目成功满足工程化应用的稳定性要求。

4. 问题整改与复测：针对第三方测评机构发现的问题与风险隐患，投标人需制定整改方案并完成整改，配合测评机构开展复测，确保模块所有问题均整改到位，最终通过第三方全维度测试并出具合格的测试报告。

（四）工期进度要求

第一阶段：合同签署 1 个月内，完成需求调研与方案设计，完成实施方案设计与业务需求调研，方案经采购人审核通过后进入下一阶段。

第二阶段：2026 年 8 月 30 日前，完成算法与核心模块的开发工作，完成大气参数预处理、基于物理模型的大气校正、基于物理约束的深度学习大气校正三个模块的研发与算法调试。完成各模块的单元测试，形成模块测试报告，向采购人提交核心模块原型版本，进行功能与精度的初步验证。

第三阶段：2026 年 9 月 30 日前，完成软件联调与部署，将软件系统与现有业务系统进行对接与部署，测试软件功能并完成系统内部联调与优化，并开展试运行，解决研发过程中的技术问题。

第四阶段：2026 年 11 月 30 日前，出具正式测试报告；同时向采购人提交项目验收申请，提供全套验收资料，配合采购人完成项目初验与终验，确保软件模块正式交付使用。

项目全部工作完成后，采购人组织项目验收，验收合格后进入售后维护阶段。

四、培训要求

本项目投标人须提供不低于 60 人次的现场培训，培训所产生的费用均视为已经包含在投标报价中，采购人不再支付培训产生的任何费用。具体如下：

1. 维护培训：培训对象为采购人项目组及系统运维相关人员。主要内容包括系统总体结构、系统功能、系统的安装、程序架构、实现机制、重点模块讲解及运行管理、系统的维护。

2. 使用培训：培训对象为采购人使用该应用系统的相关人员，主要内容是相关系统的主要功能和操作方法。

五、售后及技术支持服务

投标人应提供 1 年的维护服务，服务起始时间为终验合格之日，要求达到 7×24 小时技术支持服务，维护响应时间不超过 4 小时，到达现场时间不超过 6 小时，修复时间不超过 48 小时。如有系统软件升级、系统故障，投标人应及时处理，所需费用由投标人自行承担。

提供书面的技术支持及售后服务方案，明确售后服务的服务方式、范围、内容。

六、保密要求

投标人必须对技术文件以及由采购人提供的所有内部资料、技术文档和信息予以保密。投标人必须遵守与采购人的相关保密规定，未经采购人书面许可，投标人不得以任何形式向第三方透露本项目的任何内容。（投标人须针对以上要求提供承诺函并加盖投标人公章）。

七、成果交付物要求

1. 多源光学卫星遥感地表反射率产品反演与精化软件 1 套；
2. 出具第三方测试报告一份，且测试报告需均为合格报告；
3. 提交技术资料,包括但不限于以下文档：《实施方案》、《设计说明书》、《测试方案》、《测试用例》、《测试报告》、《用户手册》、程序源代码（包括在本项目后续开发中所产生的源代码）。