目录

[第1章 项目概述 1](#_Toc103104182)

[1.1 人工智能项目 1](#_Toc103104183)

[1.2 人工智能项目基本步骤 1](#_Toc103104184)

[1.2.1 数据处理 1](#_Toc103104185)

[1.2.2 模型设计 1](#_Toc103104186)

[1.2.3 训练优化 2](#_Toc103104187)

[1.2.4 评估验证 2](#_Toc103104188)

[1.2.5 测试调整 3](#_Toc103104189)

[1.2.6 模型部署 3](#_Toc103104190)

[1.3 模型部署的流程 4](#_Toc103104191)

[第2章 软件平台准备 6](#_Toc103104192)

[2.1 Microsoft Visual Studio 2022 6](#_Toc103104193)

[2.2 OpenVINOTM 6](#_Toc103104194)

[2.2.1 OpenVINOTM介绍 6](#_Toc103104195)

[2.2.2 OpenVINOTM安装 7](#_Toc103104196)

[2.2.3 C++项目配置OpenVINOTM 9](#_Toc103104197)

[2.3 NVIDIA TensorRT®TM 10](#_Toc103104198)

[2.3.1 TensorRT介绍 10](#_Toc103104199)

[2.3.2 TensorRT安装 11](#_Toc103104200)

[2.3.3 C++项目配置TensorRT 14](#_Toc103104201)

[2.4 OpenCV 14](#_Toc103104202)

[2.4.1 OpenCV简介 14](#_Toc103104203)

[2.4.2 OpenCV安装 15](#_Toc103104204)

[2.4.3 C++项目配置OpenCV 15](#_Toc103104205)

[第3章 测试模型 17](#_Toc103104206)

[3.1 Yolov5模型 17](#_Toc103104207)

[3.1.1 模型获取 17](#_Toc103104208)

[第4章 OpenVINOTM部署AI模型实现 18](#_Toc103104209)

[4.1 OpenVINOTM部署模型C++实现 18](#_Toc103104210)

[4.1.1 OpenVINOTM部署模型基本步骤 18](#_Toc103104211)

[4.1.2 OpenVINOTM部署Yolov5模型 19](#_Toc103104212)

[4.2 OpenVinoSharp 21](#_Toc103104213)

[4.2.1 新建OpenVINOTM 接口实现文件 21](#_Toc103104214)

[4.2.2 配置C++项目属性 21](#_Toc103104215)

[4.2.3 编写C++代码 23](#_Toc103104216)

[4.2.4 编写模块定义文件 27](#_Toc103104217)

[4.2.5 生成dll文件 27](#_Toc103104218)

[4.3 C#构建Core类 28](#_Toc103104219)

[4.3.1 新建C#类库 28](#_Toc103104220)

[4.3.2 引入dll文件中的方法 28](#_Toc103104221)

[4.3.3 创建Core类 28](#_Toc103104222)

[4.3.4 编译Core类库 31](#_Toc103104223)

[4.4 OpenVINOTM部署模型C#实现 31](#_Toc103104224)

[4.4.1 C#项目配置 31](#_Toc103104225)

[4.4.2 OpenVINOTM部署Yolov5模型 32](#_Toc103104226)

[第5章 TensorRT部署AI模型实现 34](#_Toc103104227)

[5.1 TensorRT部署模型C++实现 34](#_Toc103104228)

[5.1.1 TensorRT部署模型基本步骤 34](#_Toc103104229)

[5.1.2 TensorRT部署Yolov5模型 35](#_Toc103104230)

[5.2 TensorRTSharp 37](#_Toc103104231)

[5.2.1 新建TensorRT接口实现文件 37](#_Toc103104232)

[5.2.2 配置C++项目属性 38](#_Toc103104233)

[5.2.3 编写C++代码 38](#_Toc103104234)

[5.2.4 编写模块定义文件 43](#_Toc103104235)

[5.2.5 生成dll文件 44](#_Toc103104236)

[5.3 C#构建Nvinfer类 44](#_Toc103104237)

[5.3.1 新建C#类库 44](#_Toc103104238)

[5.3.2 引入dll文件中的方法 44](#_Toc103104239)

[5.3.3 创建Nvinfer类 45](#_Toc103104240)

[5.3.4 编译Nvinfer类库 46](#_Toc103104241)

[5.4 TensorRT部署模型C#实现 47](#_Toc103104242)

[5.4.1 C#项目配置 47](#_Toc103104243)

[5.4.2 TensorRT部署Yolov5模型 47](#_Toc103104244)

[第6章 ONNX runtime部署AI模型实现 49](#_Toc103104245)

[6.1 ONNX runtime部署模型C++实现 49](#_Toc103104246)

[6.1.1 部署工具配置 49](#_Toc103104247)

[6.1.2 部署Yolov5模型 50](#_Toc103104248)

[6.2 ONNX runtime部署模型C#实现 52](#_Toc103104249)

[6.2.1 C#环境设置 52](#_Toc103104250)

[6.2.2 部署Yolov5模型 52](#_Toc103104251)

[第7章 OpenCV Dnn部署AI模型实现 54](#_Toc103104252)

[7.1 OpenCV Dnn部署模型C++实现 54](#_Toc103104253)

[7.1.1 C++环境配置 54](#_Toc103104254)

[7.1.2 部署Yolov5模型 54](#_Toc103104255)

[7.2 OpenCV Dnn部署模型C++实现 55](#_Toc103104256)

[7.2.1 C++环境配置 55](#_Toc103104257)

[7.2.2 部署Yolov5模型 55](#_Toc103104258)

[第8章 AI模型部署平台软件开发 57](#_Toc103104259)

[8.1 8.1 Winform环境搭建 57](#_Toc103104260)

[第9章 AI模型部署平台对比 58](#_Toc103104261)

[9.1 基本信息对比 58](#_Toc103104262)

[9.2 API接口对比 58](#_Toc103104263)

[9.3 推理时间对比 58](#_Toc103104264)

[第10章 模型量化 59](#_Toc103104265)

# 项目概述

## 人工智能项目

人工智能，也就是我们常说的“AI”（英文全称：Artificial Intelligence），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。它是以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，领域研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。

人工智能自诞生以来，理论和技术日益成熟，应用领域也不断扩大。可以设想，未来人工智能带来的科技产品，将会是人类智慧的“容器”。人工智能可以对人的意识、思维的信息过程的模拟，虽然不是人的智能，但能像人那样思考，也可能超过人的智能。

近几年来，随着芯片算力的不断提升和数据的不断增长，深度学习算法有了长足的发展。深度学习算法也越来越多的应用在各个领域中，比如图像处理在安防领域和自动驾驶领域的应用，再比如语音处理和自然语言处理，以及各种各样的推荐算法。

## 人工智能项目基本步骤

经典的人工智能项目从提出到最后应用落地主要有以下几个步骤：

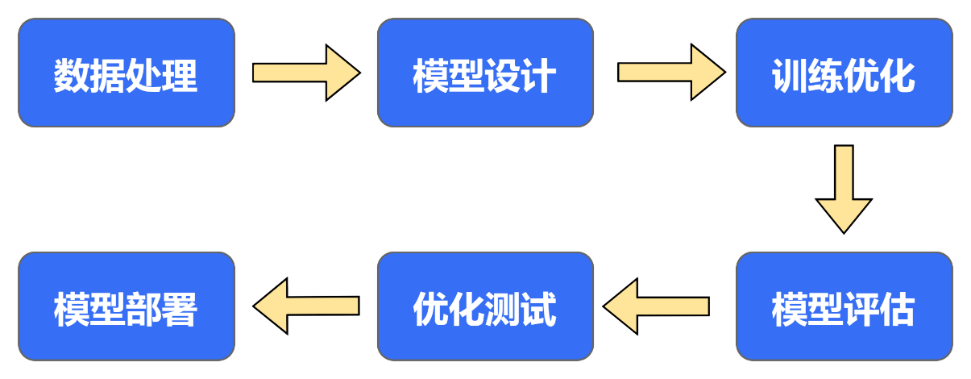


图1- 1 人工智能项目基本步骤

### 数据处理

对于人工智能项目，第一步就是数据处理，这一步主要分为数据收集与数据预处理，人工智能其实现方式主要是通过大量的学习数据将训练网络培养成一个资深的专家，后面如果在有数据输入，这个专家就会根据前面学些的知识做出判断。这个判断到底准不准确，其主要有前面的学习来决定，这就和我们人一样，只有学习好了才能做出正确判断。因此数据处理这一步主要是要实现后续学习数据的准备，因此在这一步要求数据量要大，数据要正确。

数据收集这一步主要是针对我们所要做的项目，收集相关的数据。例如我要训练一个网络，这个网络可以识别猫、狗等动物，因此我要大量收集猫和狗等动物的大量照片，作为后续学习的数据。数据预处理这一块，主要是要标注出每一条数据正确的结果。在猫狗动物识别这个数据中，我需要做的就是告知其每张照片对应的动物是啥，这一步是比较费时间与精力的，因为他不能用电脑自动完成，只能人工一个个进行标注。除此以外，为了减少运算，增加网络学习速度，我们还会将数据进行归一化处理。

### 模型设计

模型设计也是比肩关键的一步，如果数据是材料，那么模型就是容器，好的材料配上好的丹炉，才有产出好的丹药的可能。模型的发展是深度学习技术发展中较为重要的一环，模型的发展都朝着一个共同的目标前进，这个目标就是更高的精度、更高的训练效率、更快的推理速度、更大的平台适应性。这也是学术界重点关注和发展的方向，因为模型的轻微提升，就可以发表一篇论文，甚至可以发表在顶会期刊上面，因为学术研究的就是在固定条件下的模型性能和效率。而工程界的条件不可能像学术界那样固定，每个具体的项目要求都不一样的，而且不同项目的数据也是大相径庭，这样就会造成同样的模型，在不同条件下会出现不同的结果。对于工程界，其关注的最多的是人工智能的最后两步：测试调整与模型部署。

目前网络很多，而且发展很快，最开始的卷积神经网络模型LeNet，还是后来的AlexNet，以及后面陆续出现的VggNet、GoogLeNet、SqueezeNet、ResNet、DenseNet、DarkNet、MobileNet、ShuffleNet、EfficientNet，又或者是这两年异军突起的Transformer模型，以及CNN和Transformer的结合体，网络也在不断升级中。

### 训练优化

针对模型设计这一步，我们目前应该还没有达到设计阶段，我们目前主要做的是选择合适的网络，带入我们的数据集进行学习。因此我们重中之重就是选择什么样的主干模型，进行怎么样的微调，以及选择什么样的损失函数和优化方法，是否进行多阶段训练，或者对图像数据进行多尺度训练等。

一般来说，有经验的训练人员，在训练模型的时候，不会一开始就输入大量的数据，而是做小批量的数据的训练，目的是先通过小批量数据来检验模型的好坏，然后再根据检验情况进行下一步的操作。因为对于数据集很大的训练，可能训练一次就要好几天，是十分耽误时间的。目前比较合适的做法是，在般模型训练开始之前先使用少量的数据快速的训练出一个过拟合的结果，用来验证模型是否合适，过拟合往往意味着参数过大，或者数据过少，导致模型测试的时候泛化能力太差，但可以说明模型本身是没有问题的，问题就在于训练过度，或者数据集过少。后面的话再继续追加数据集的数量，实现网络的训练。

### 评估验证

模型评估是和模型训练伴随而行的，可以说训练一开始，评估也随之开始。模型训练只负责如何把模型训练好，至于要训练到什么程度才算合适，需要模型评估说了算。所以在开始一项任务的时候，模型训练和模型评估是同时进行的，正常情况下，模型训练一次，则评估一次，但是我们认为模型训练的前几次是不需要评估的，因为模型训练的前期，参数还没有学习到正确的数值。

根据经验，一般模型在训练到一定的次数之后，再启动模型验证部分，相比模型训练一开始就启动模型评估，这样的操作可以在保证模型有效评估的前提下加快模型训练速度，因为模型在训练到后期的时候，只凭经验是很难确定模型是否已经训练到合适的程度的。有了评估验证的过程，就可以根据验证的结果来判断模型是否需要继续训练了。

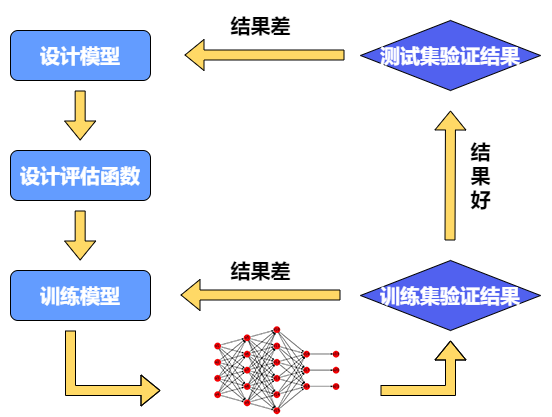


图1- 2 模型训练与评估验证之间的关系

### 测试调整

模型测试是项目交付前的最后一次试验，测试的目的就是和项目方给出的指标做对比，比如精度、速度等指标。所以作为项目交付前的最后一次测试实验，一定要按照项目方提出的指标要求做测试，测试的数据最好是从项目方实际的工作场景中采集，如果条件不允许，那么测试数据一定要最大可能的接近项目方实际工作场景的数据，只有这样才有可能在项目交付后不会出现算法指标上的问题。

### 模型部署

对于一个完整的AI项目，前面这一些步骤可以说是在实验室完成的，但AI项目最终是要应用的具体的项目中，模型部署就是完成这个工作的。因此，一般来说，学术界负责各种 SOTA(State of the Art) 模型的训练和结构探索，而工业界负责将这些 SOTA 模型应用落地，赋能百业。模型部署一般无需再考虑如何修改训练方式或者修改网络结构以提高模型精度，更多的是需要明确部署的场景、部署方式（中心服务化还是本地终端部署）、模型的优化指标，以及如何提高吞吐率和减少延迟等。

人工智能经过多年的发展，不少也推出了自己的模型框架用于深度学习的训练，比较常见的有Pytorch、TensorFlow、Caffe以及Paddle飞桨等框架，这些平台在提升模型搭建效率、增加模型训练速度等方面，都做出了对应的提升。针对不同的训练框架平台，训练得到的模型文件也是不同的，目前各大厂商都将ONNX模型格式作为中间的转换格式，支持对该格式的转换，ONNX是微软公司推出的一种模型文件格式，目前已经被大家所认可使用，向前来看，它支持各种训练框架转换，向后看，它也支持各种推理引擎的读取，如图1- 3所示。

近些年来，在深度学习算法已经足够卷之后，深度学习的另一个偏向于工程的方向—部署工业落地，才开始被谈论的多了起来。当然这也是大势所趋，毕竟AI算法那么多，如果用不着，只在学术圈搞研究的话没有意义。因此目前市面中的推理引擎平台，也是遍地开花，比较有代表的是英特尔推出的OpenVINOTM以及英伟达推出的TensorRT部署平台，这两大厂家都是是做芯片出身，因此他们基于自家芯片特性，推出了基于自家芯片的推理引擎。OpenVINOTM是目前在CPU上运行最快的推理平台，TensorRT是在GPU上运行最快的推理平台。除此以外，微软基于自己的ONNX模型，推出了ONNX runtime推理平台；OpenCV作为当前最大的视觉处理开源库，也推出了自家的模型部署工具OpenCV Dnn；除此以外还有其他的模型部署框架，但未在当前项目中涉及。

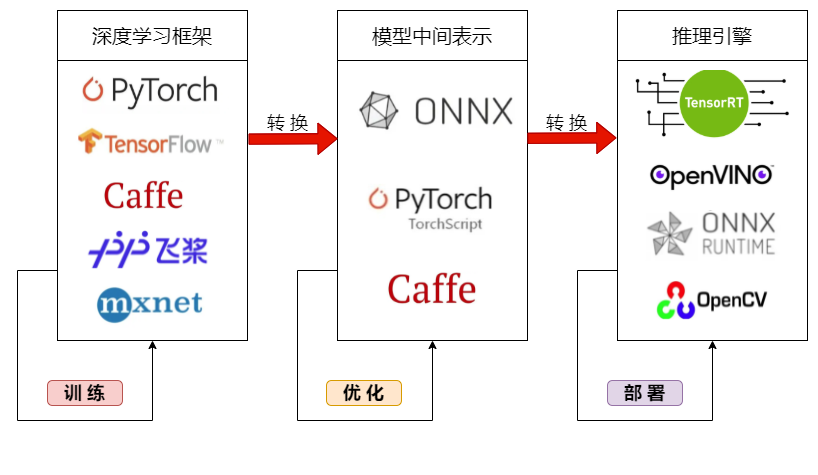


图1- 3 常见深度学习框架、模型中间表示及推理引擎

## 模型部署

模型部署通俗地来说就是调用硬件算力，加速深度学习网络在新平台以及新的数据下进行推理。如图1- 4所示，模型在训练后，经过模型部署套件的优化与部署后，在硬件平台上进行模型推理。模型的训练阶段主要在实验室完成，为了获取高的推理精度，因此不会考虑模型的推理效率、速度以及内存大小，但在模型部署阶段，其主要是适应工业化的要求，因此需要极高的推理速度；并且对于一些终端设备，内存有限，所以也要考虑内存的限制，因此需要模型优化，以满足工业上的需求。

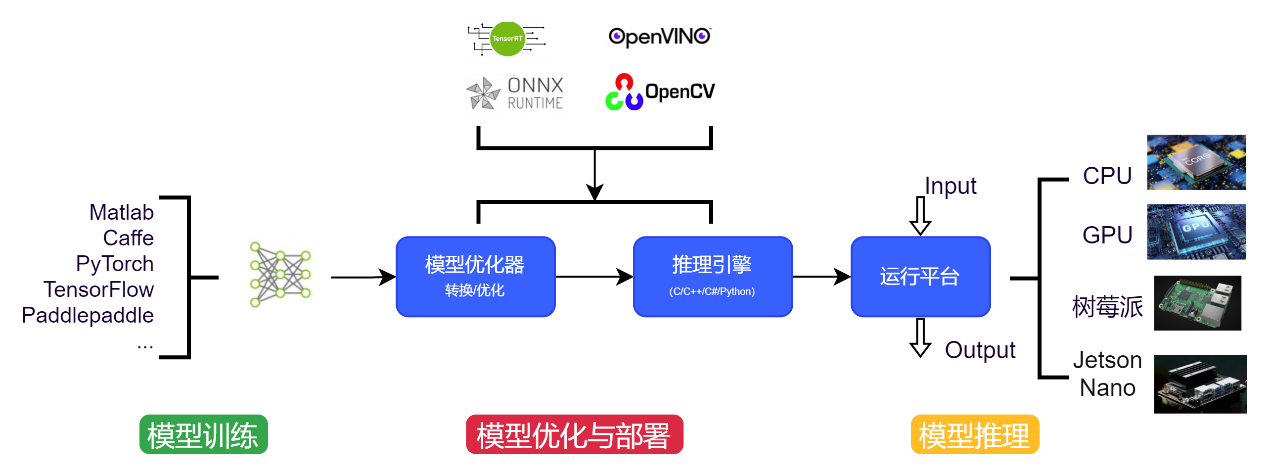


图1- 4 推理模型部署流程

如何评价模型部署，主要有一个AI模型部署九字诀：跑起来、跑得快、持续跑。评价模型部署工具好不好，主要依据就是考虑是否符合上述要求；在选择部署工具时，也可以通过这三点进行选择。

对于跑起来，主要就是适配：硬件适配、软件（系统）适配以及框架适配。

硬件适配主要指的是部署套件与计算机硬件的适配关系，好的适配关系部署工具可以充分调用硬件算力进行模型推理，常见的芯片有CPU、GPU、ARM芯片等。目前Intel厂家基于自家生产的芯片，推出了OpenVINOTM，该套件再经过测试后，可以在CPU上表现出很好的性能；NVDIA基于自家GPU推出的TensorRT，该部署工具可以实现在GPU显卡部署推理模型，并且经过测试后可以看出推理速度有了很大的提升。目前这两大芯片厂家基于自家芯片推出的推理工具，极大地发挥了各自芯片的水平。

软件（系统）适配主要是推理套件要支持各大软件系统，常见的系统有Linux、Windows、Android 以及iOS系统，对于使用者来说，部署的位置对象是多样的，所以要考虑套件系统的适配性。框架适配指的是深度学习框架与推理工具支持的框架要一致；不过目前中间格式ONNX框架的对于模型前后的支持，使得不少推理套件更好的至此更多的模型。

对于跑得快来说，表面上来说就是推理速度要快，运行内存要低，但不能损失精度。这个一方面可以通过提升硬件算力以及并行处理能力来提高，不过目前各大硬件厂家也已经在努力提升；另一方面就是优化模型，目前对我们来说优化模型是可以实现的。模型优化的方法主要有剪枝、蒸馏、量化等方式，不过这些处理方式最总是要来不牺牲模型精度的前提下，提升模型的推理速度。

对于持续跑来说，就是在维持模型能够持续运行的基础上，并不断提升模型的精度御速度，优化模型结构。

## AI部署平台项目

### 项目介绍

当前项目，主要基于当前比较常见的OpenVINOTM、TensorRT、ONNX runtime以及OpenCV Dnn四个部署平台进行对比展开，主要针对这四个平台如何部署深度学习项目进行了测试，并针对OpenVINOTM、TensorRT提出了在C#编程平台的解决办法，建立了C#模型部署检测软件平台。

### 项目安装方式

# 软件平台准备

## Microsoft Visual Studio 2022

Microsoft Visual Studio（简称VS）是美国微软公司的开发工具包系列产品。VS是一个基本完整的开发工具集，它包括了整个软件生命周期中所需要的大部分工具，如UML工具、代码管控工具、集成开发环境(IDE)等等。其支持C、C++、C#、F#、J#等多门编程语言。

本次项目所使用的编程语言为C++与C#两门编程语言，在VS中完全可以实现，可选择安装版本VS2017、VS2019或VS2022版本。对于VS不同版本的选择，该项目不做较多要求，就笔者使用来说，VS2017版本推出时间较久，不建议使用，其一些编程语言规范有一些变动，对于该项目所提供的范例可能会有部分不兼容；VS2019和VS2022版本相对更新，是由起来差异不大，建议选择这两个版本，并且新版OpenVINOTM 支持VS2022版本Cmake。

笔者电脑安装的为Microsoft Visual Studio Community 2022 版本，其安装包可由VS官网直接下载，下载时选择社区版，按照一般安装步骤进行安装即可。在安装中，根据我们的使用的要求，工作负荷的选择如图2- 1所示。

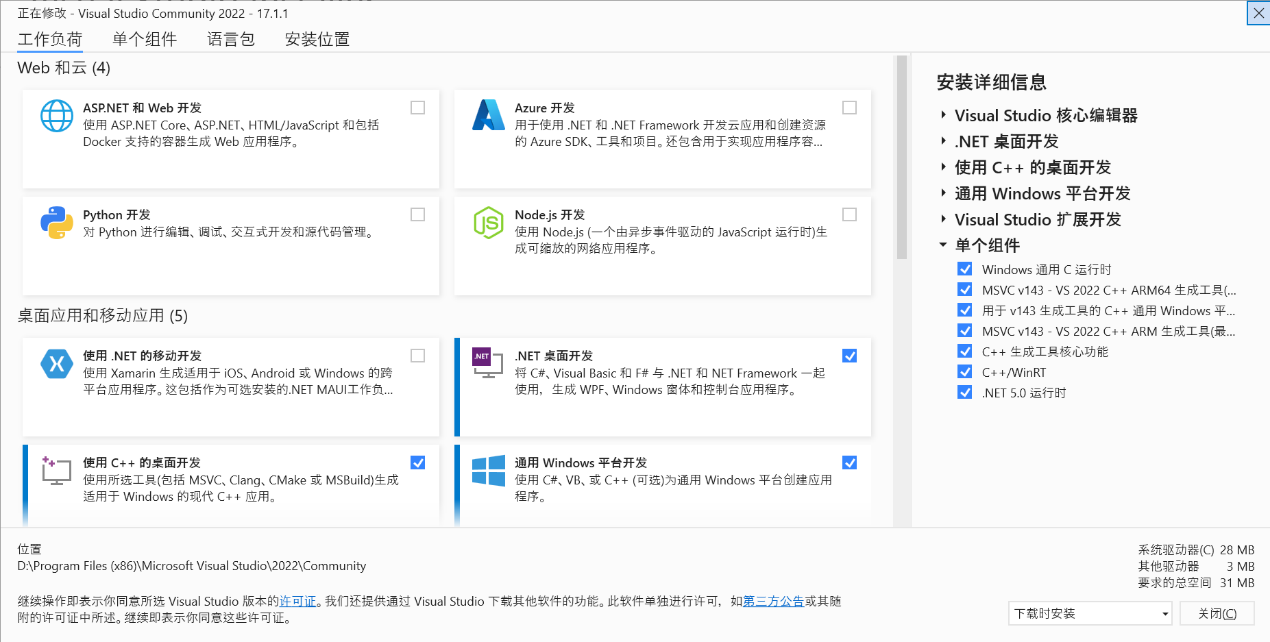


图2- 1 Visual Studio 2022安装负荷

安装完成后，可以参照网上相关教程，进行学习VS的使用。如果在其他编辑器上使用，后续软件安装请根据编辑器要求进行配置，此处不做过多讲解，优先选用VS2019与VS2022。

## OpenVINOTM

### OpenVINOTM介绍

OpenVINO™是英特尔基于自身现有的硬件平台开发的一种可以加快高性能计算机视觉和深度学习视觉应用开发速度工具套件，用于快速开发应用程序和解决方案，以解决各种任务（包括人类视觉模拟、自动语音识别、自然语言处理和推荐系统等）。

该工具套件基于最新一代的人工神经网络，包括卷积神经网络 (CNN)、递归网络和基于注意力的网络，可扩展跨英特尔® 硬件的计算机视觉和非视觉工作负载，从而最大限度地提高性能。它通过从边缘到云部署的高性能、人工智能和深度学习推理来为应用程序加速，并且允许直接异构执行。

* 提高计算机视觉、自动语音识别、自然语言处理和其他常见任务中的深度学习性能
* 使用使用流行的框架（如TensorFlow，PyTorch等）训练的模型
* 减少资源需求，并在从边缘到云的一系列英特尔®平台上高效部署
* 支持在Windows与Linux系统，官方支持编程语言为Python与C++语言。

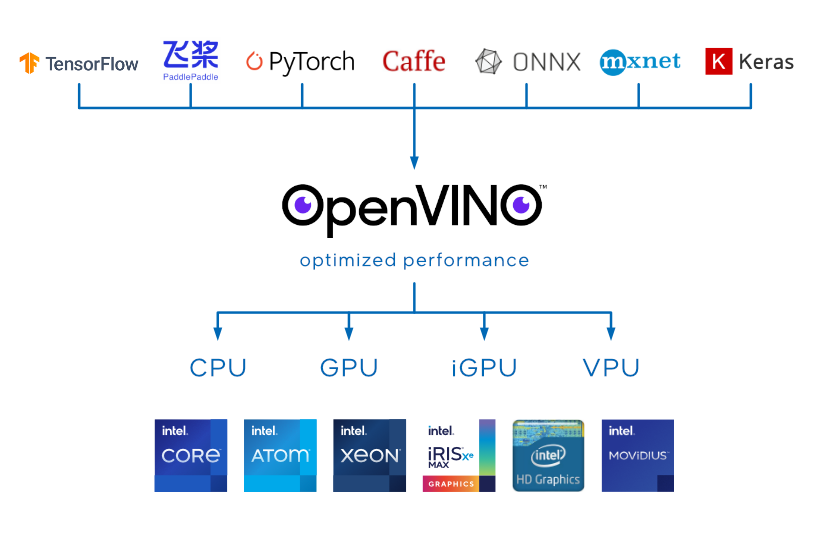


图2- 2 OpenVINOTM 工具结构图

OpenVINOTM 工具套件2022.1版于2022年3月22日正式发布，根据官宣《OpenVINOTM迎来迄今为止最重大更新，2022.1新特性抢先看》，OpenVINOTM  2022.1将是迄今为止最大变化的版本。从开发者的角度来看，对于提升开发效率或运行效率有用的特性有：

* 提供预处理API函数
* ONNX前端API
* AUTO 设备插件
* 支持直接读入飞桨模型

该项目所使用的OpenVINOTM版本为2022.1版本， OpenVINOTM安装分为完整版安装与不完整版安装，对于在C++中使用，选者非完整版安装即可，不过OpenVINOTM提供的相关工具不会安装，完整版安装主要通过PIP工具实现，最好可以将其安装在Anaconda虚拟环境下，因此此处只详细介绍非完整版安装。

### OpenVINOTM安装

（1）OpenVINOTM下载

访问OpenVINOTM官网<www.openvino.ai>，点击Free Download->，进入到软件下载页面，按照图1- 3所示，选择安装内容：

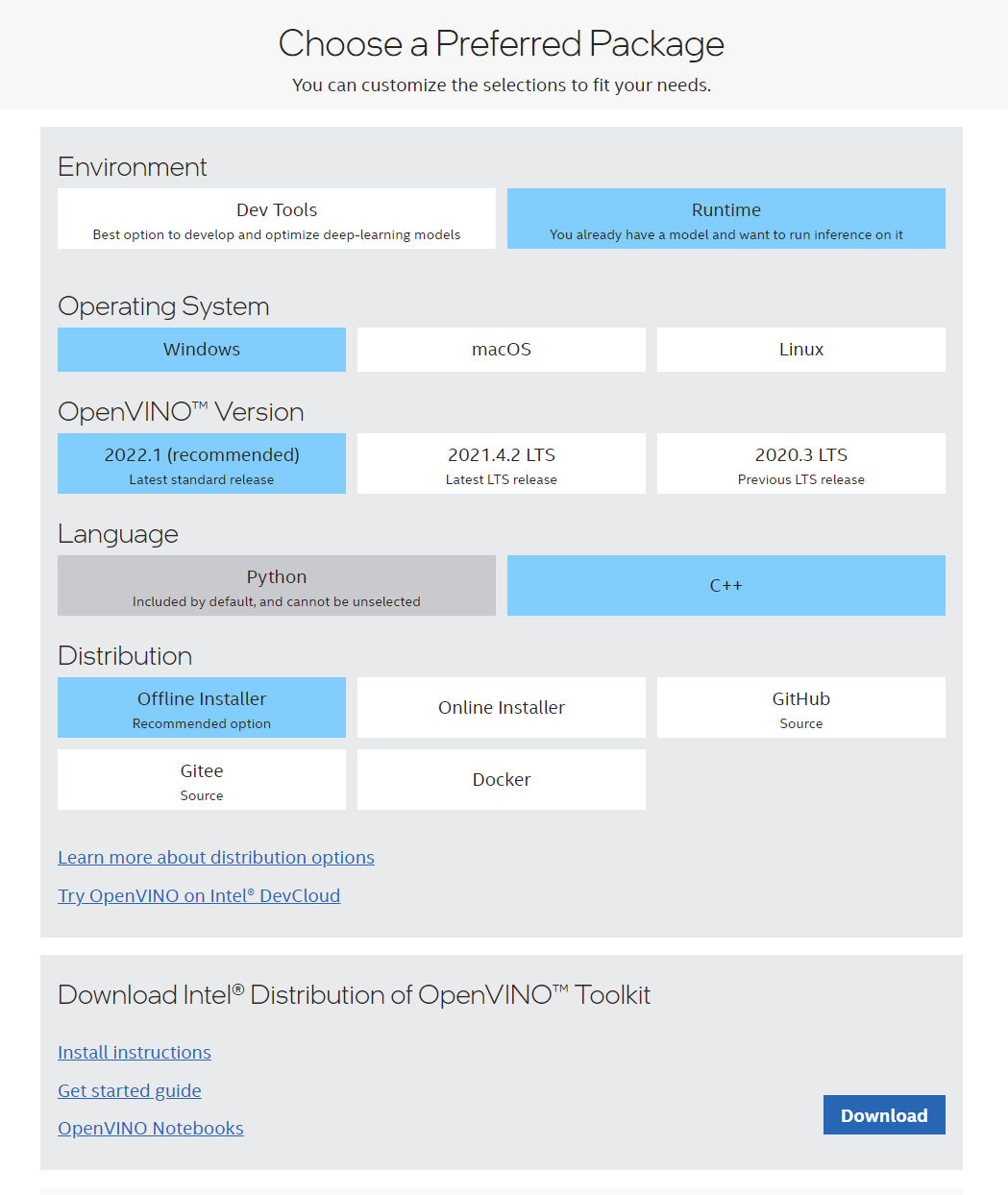


图2- 3 OpenVINOTM安装选择

选择完成后，点击Download，下载安装包。

（2）安装软件

在安装包下载完成后，直接安装软件即可，全程默认软件安装即可，不需要做任何修改。

安装完成后，可以打开< C:\Program Files (x86)\Intel >路径，查看该文件夹下是否有< openvino\_2022.1.0.643 >文件夹，若存在，说明安装成功。

（3）配置环境变量

在软件安装完成后，需要配置相关环境变量，防止每次使用都需要运行虚拟环境。右击我的电脑，进入属性设置，选择高级系统设置进入系统属性，点击环境变量，进入到环境变量设置，编辑系统变量下的Path变量，增加以下地址变量：

C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\runtime\bin\intel64\Debug

C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\runtime\bin\intel64\Release

C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\runtime\3rdparty\tbb\bin

该路径为默认安装路径，如果不更改安装地址直接使用上方路径即可，如果进行了修改，请将< C:\Program Files (x86)\Intel\>替换为更改的安装路径。

### C++项目配置OpenVINOTM

OpenVINOTM安装完成后，并不能直接在C++项目中使用，需要配置相关运行环境，主要需要配置包含目录、库目录以及外部依赖项这三方面。

（1）包含目录设置

右击C++项目，进入到C++项目的属性设置，如下图所示，选择需要配置的项目配置属性 ( Debug or Release ) 和平台属性 ( x64 or Win32)，根据自己平台运行要求进行选择。

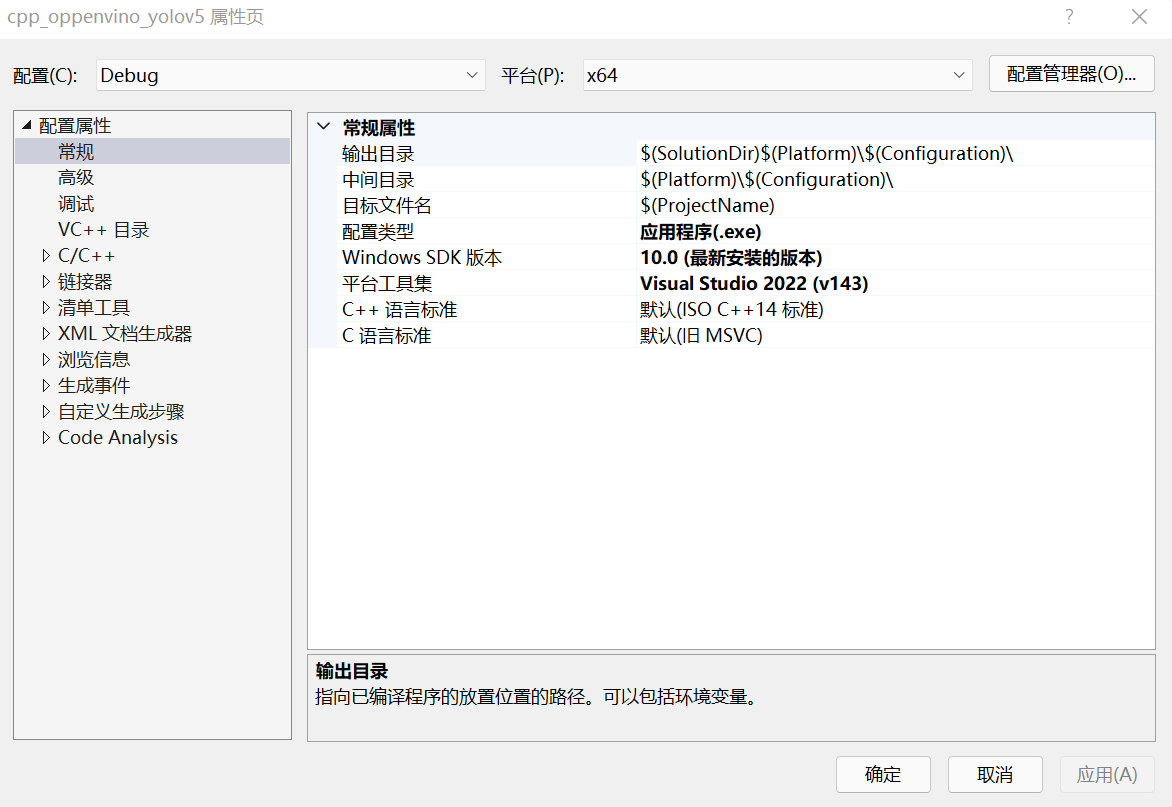


图2- 4 C++项目属性页

点击VC++目录，选择包含目录，点击下拉选择，点击编辑，进入到包含目录设置页面，如图所示。

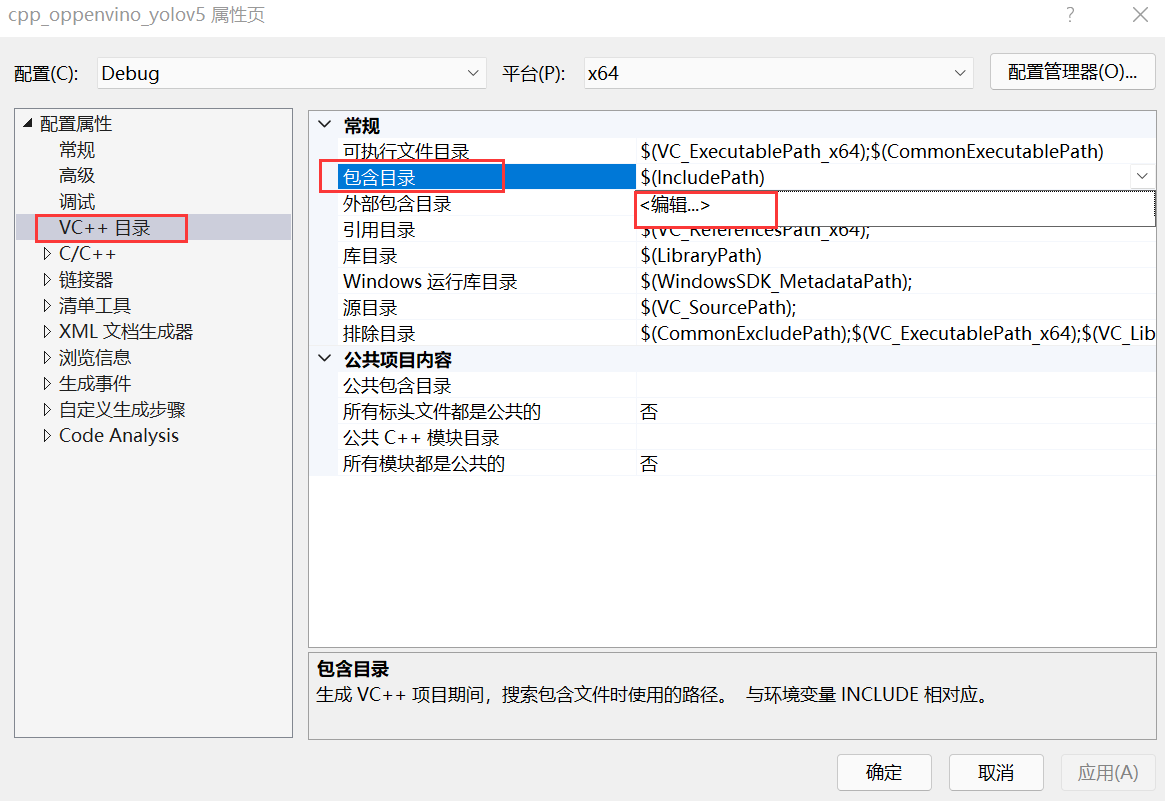
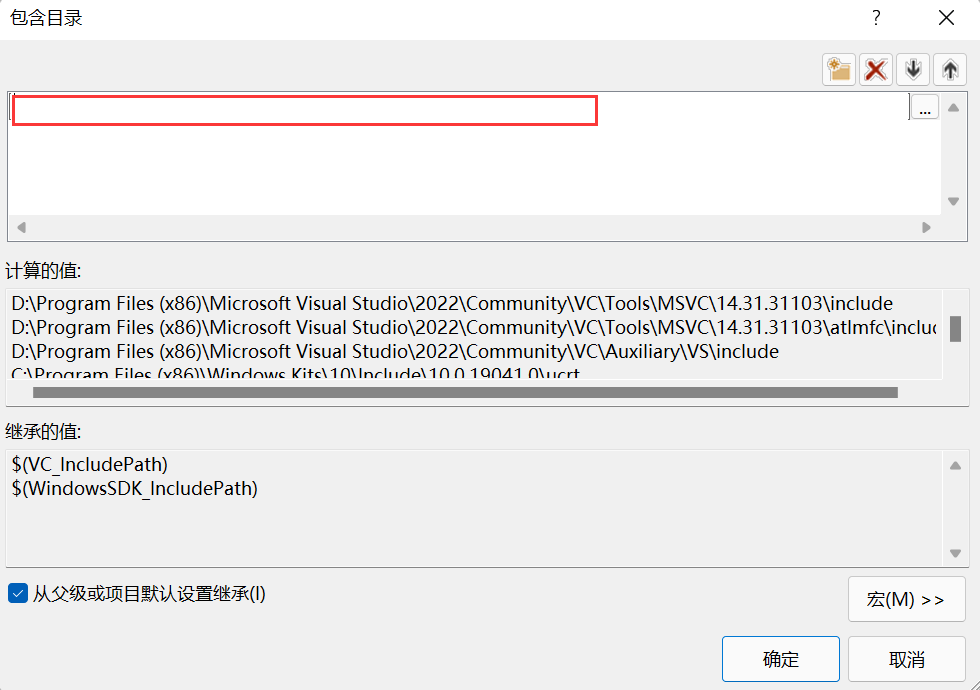
 

图2- 5 包含目录设置

在包含目录中添加下面路径：

C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\runtime\include

C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\runtime\include\ie

< C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\>为OpenVINOTM安装路径，具体可以根据自己电脑安装的OpenVINOTM位置修改。

（2）库目录设置

点击VC++目录，选择库目录，点击下拉选择，点击编辑，进入到库目录设置页面，如图所示。

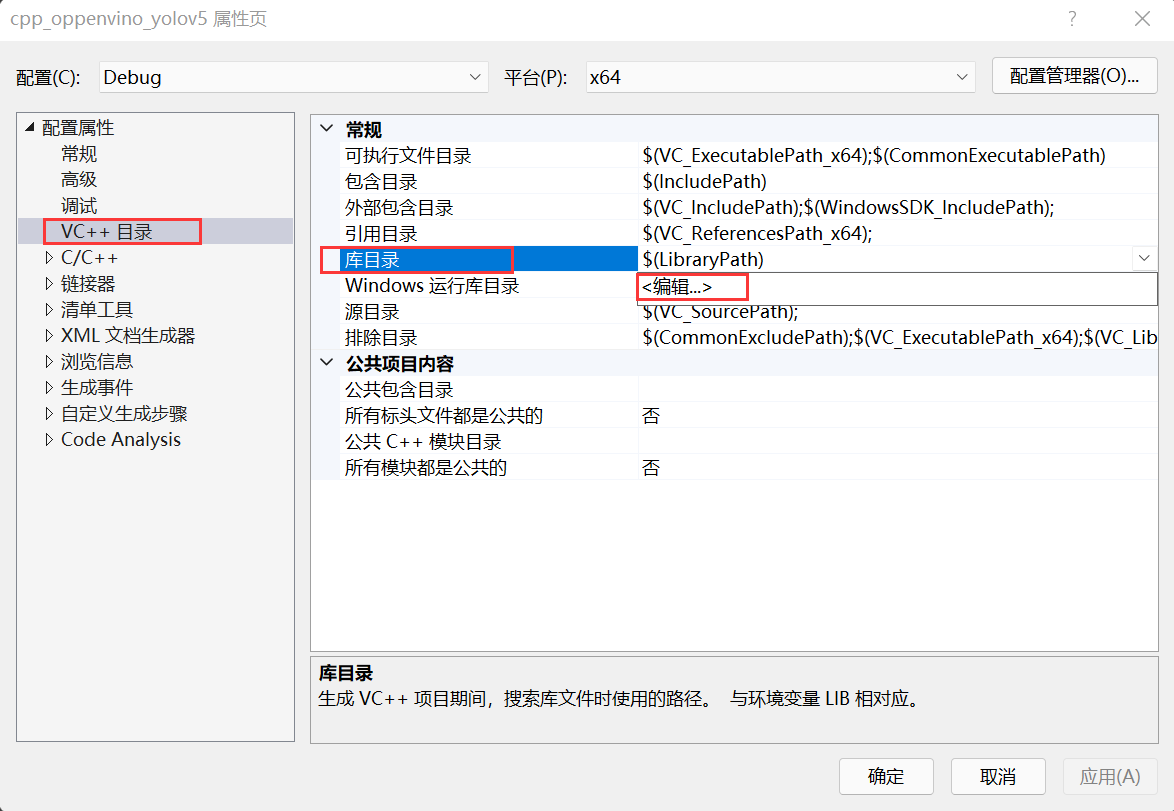
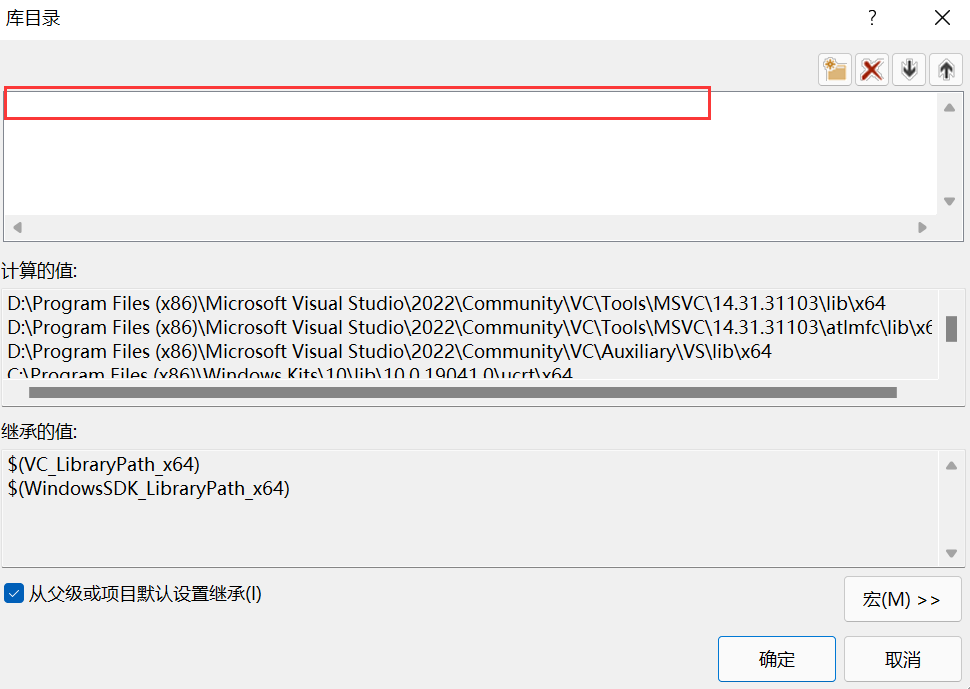
 

图2- 6 库目录设置

Debug模式下，在库目录中添加下面路径：

C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\runtime\lib\intel64\Debug

Release模式下，在库目录中添加下面路径：

C:\Program Files (x86)\Intel\openvino\_2022.1.0.643\runtime\lib\intel64\Release

（3）附加依赖项设置

点击VC++目录，选择链接器，点击输入，下拉选择，点击编辑，进入到附加依赖项设置页面，如图所示。

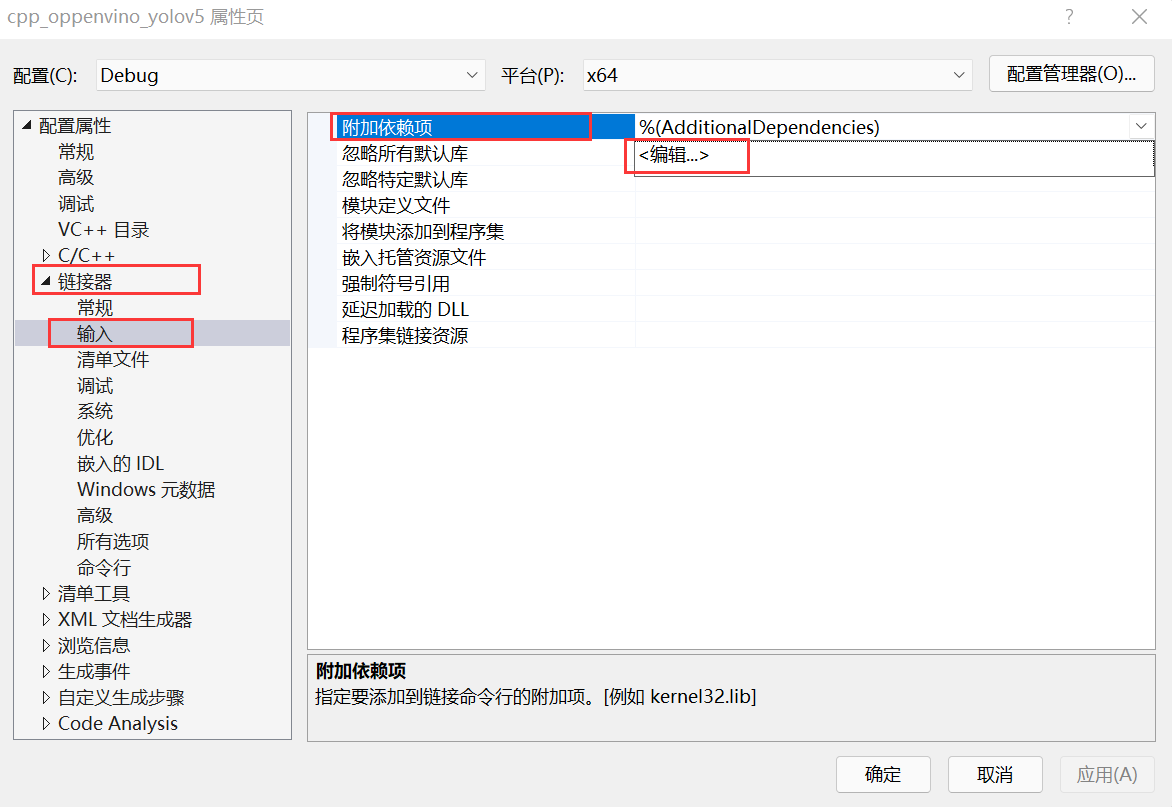
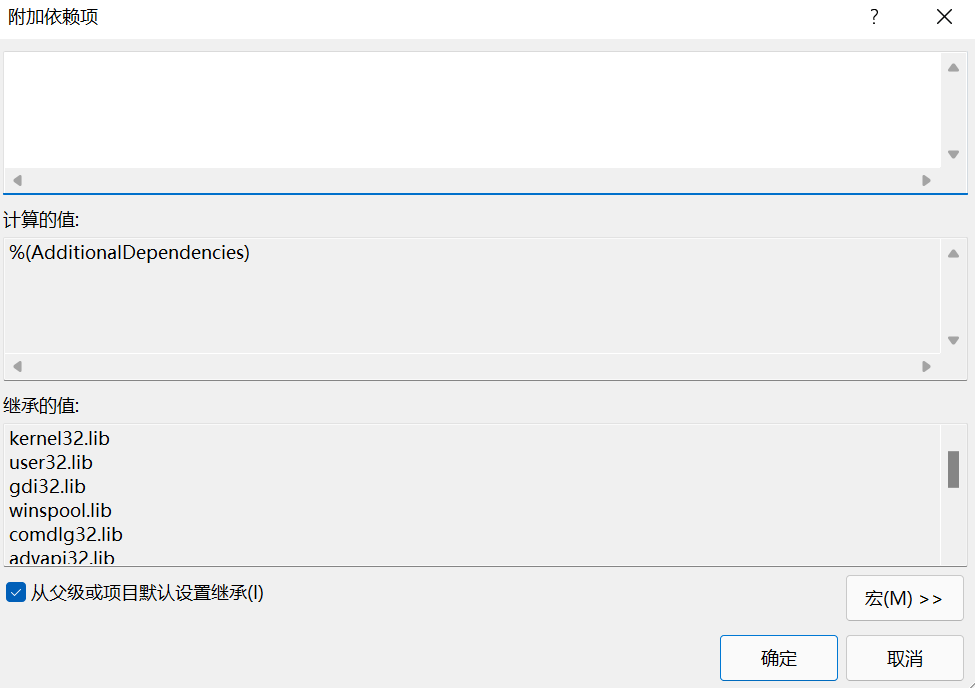
 

图2- 7 附加依赖项设置

Debug模式下，添加该文件名：openvinod.lib；Release模式下，添加该文件名：openvino.lib。

## NVIDIA TensorRT®TM

### TensorRT介绍

NVIDIA TensorRT®TM（TensorRT），是由NVIDIA 推出的C++语言开发的高性能神经网络深度学习推理的SDK，包括深度学习推理优化器，并且运行时可为推理应用程序提供低延迟和高吞吐量，其高性能计算能力依赖于NVIDIA 的图形处理单元。它专注于推理任务，与常用的神经网络学习框架形成互补，可以直接载入这些框架的已训练模型文件，包括TensorFlow、Caffe、PyTorch、MXNet等框架。

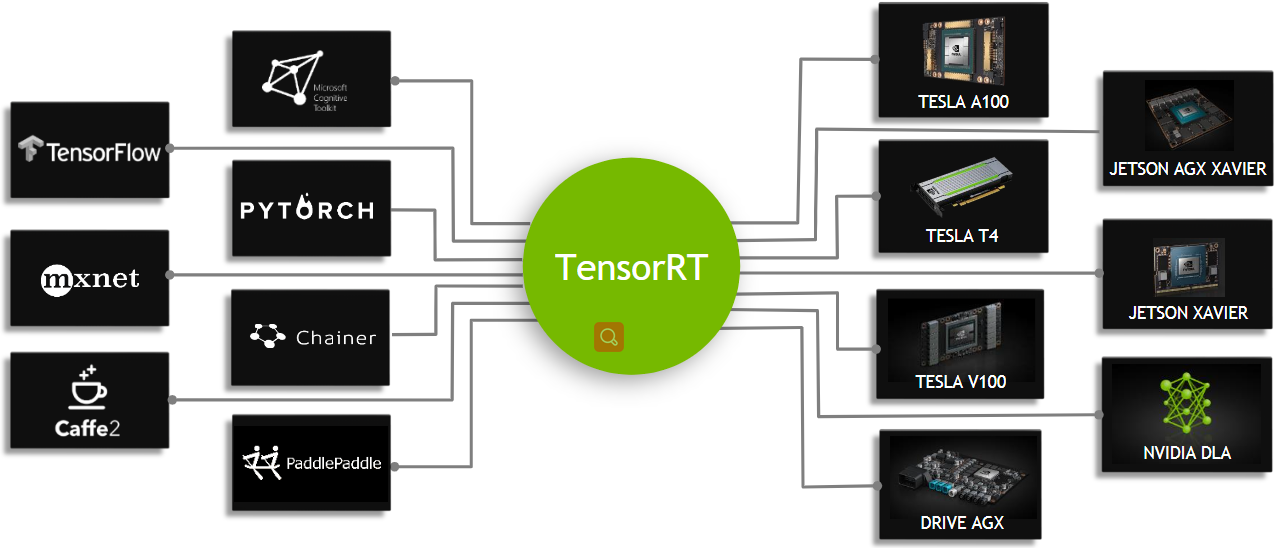


图2- 8 TensorRT架构

TensorRT 基于 NVIDIA CUDA 并行编程模型构建，使开发人员能够通过利用 CUDA-X®™ 中的库、开发工具和技术来优化推理用于人工智能、自主机器、高性能计算和图形。借助新的NVIDIA Ampere Architecture GPU，TensorRT还使用稀疏张量内核来进一步提高性能。

TensorRT 提供 INT8，使用量化感知训练和雨后量化，以及 FP16 优化，用于深度学习推理应用程序的生产部署，如视频流、语音识别、推荐、欺诈检测、文本生成和自然语言处理。降低精确度推断可显著降低应用程序延迟，这是许多实时服务以及自主和嵌入式应用程序的要求。基于 NVIDIA TensorRT 的应用程序在推理过程中的执行速度比仅使用 CPU 的平台快36倍，使开发人员能够优化在所有主要框架上训练的神经网络模型，以高精度校准以降低精度，并部署到超大规模数据中心、嵌入式平台或汽车产品平台。

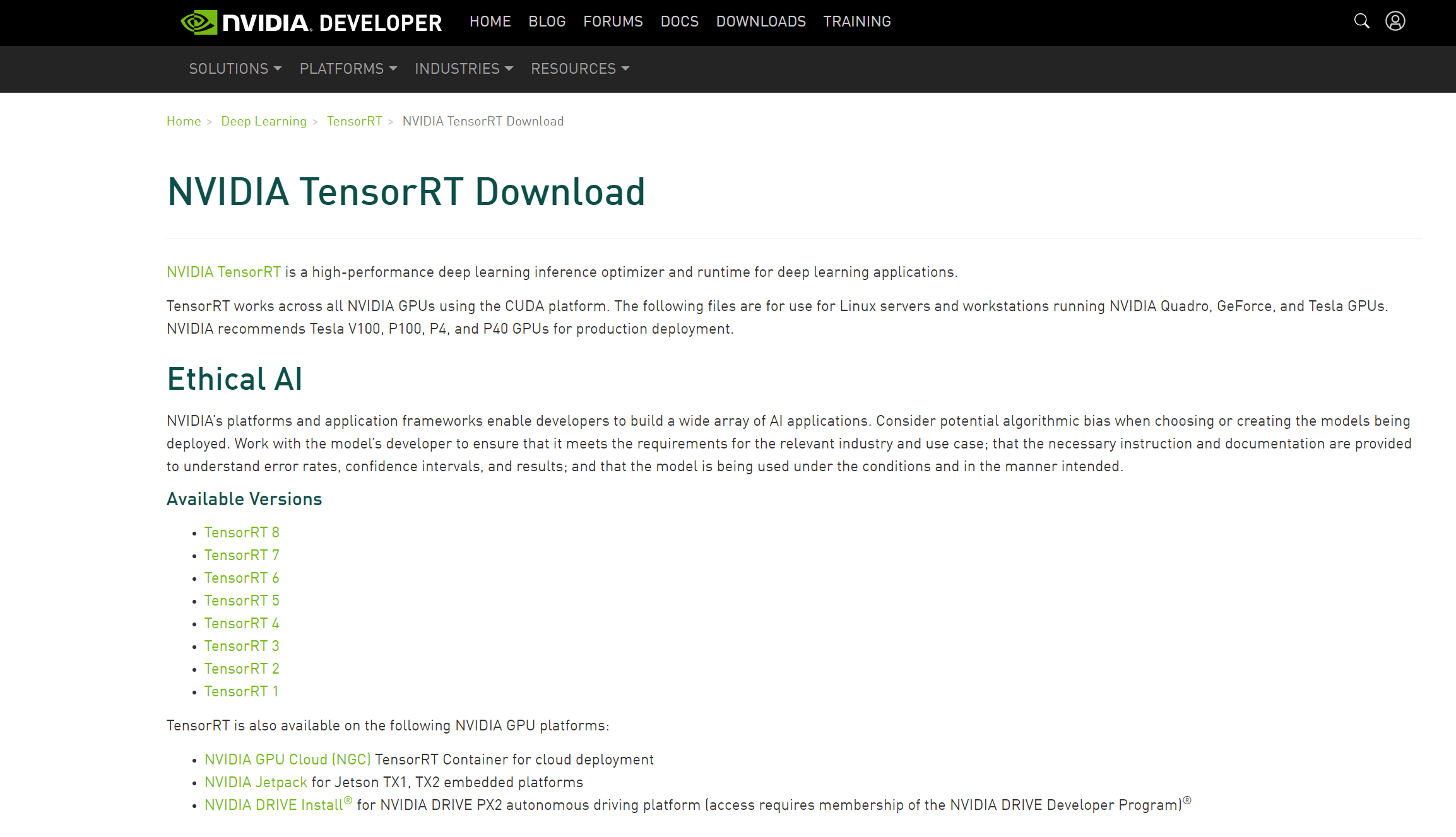
TensorRT具有以下特性：

* 精度降低：通过量化模型同时保持准确性，使用 FP16 或 INT8 最大限度地提高吞吐量
* 层和张量融合：通过融合内核中的节点来优化 GPU 内存和带宽的使用
* 内核自动调谐：基于目标 GPU 平台选择最佳数据层和算法
* 动态张量记忆：最大限度地减少内存占用，并有效地将内存重用于张量
* 多流执行：使用可扩展的设计并行处理多个输入流
* 时间融合：使用动态生成的内核，在时间步骤中优化递归神经网络

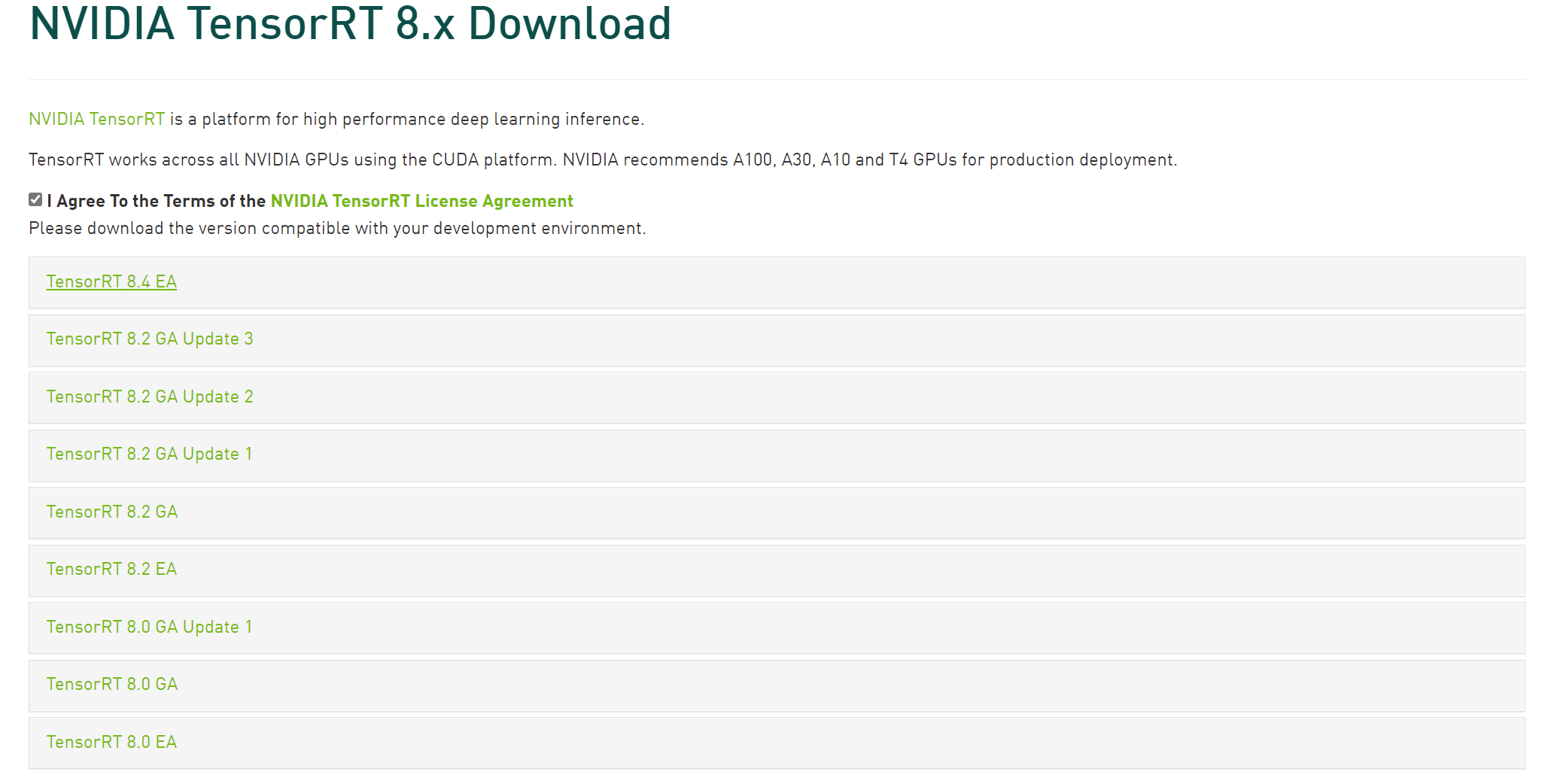
### TensorRT安装

（1）TensorRT下载

TensorRT是由英伟达推出的，可通过访问英伟达官网找到，此处我们直接访问下载链接< https://developer.nvidia.com/nvidia-tensorrt-download >，该网站需要注册，并加入NVIDIA 开发者计划，具体按照网站要求选择，最终跳转到图所示界面。



(a) (b)



(c) (d)

图2- 9 TensorRT下载页面

目前TensorRT已经更新到版本8，点击TensorRT 8，进入到下载页面，点击下载页面<I Agree To the Terms of the NVIDIA TensorRT License Agreement>，如图所示。

点击后会出现图所示界面，我们选择<TensorRT 8.4 EA>，点击后会出现下载文件详细信息选择页面，如图所示

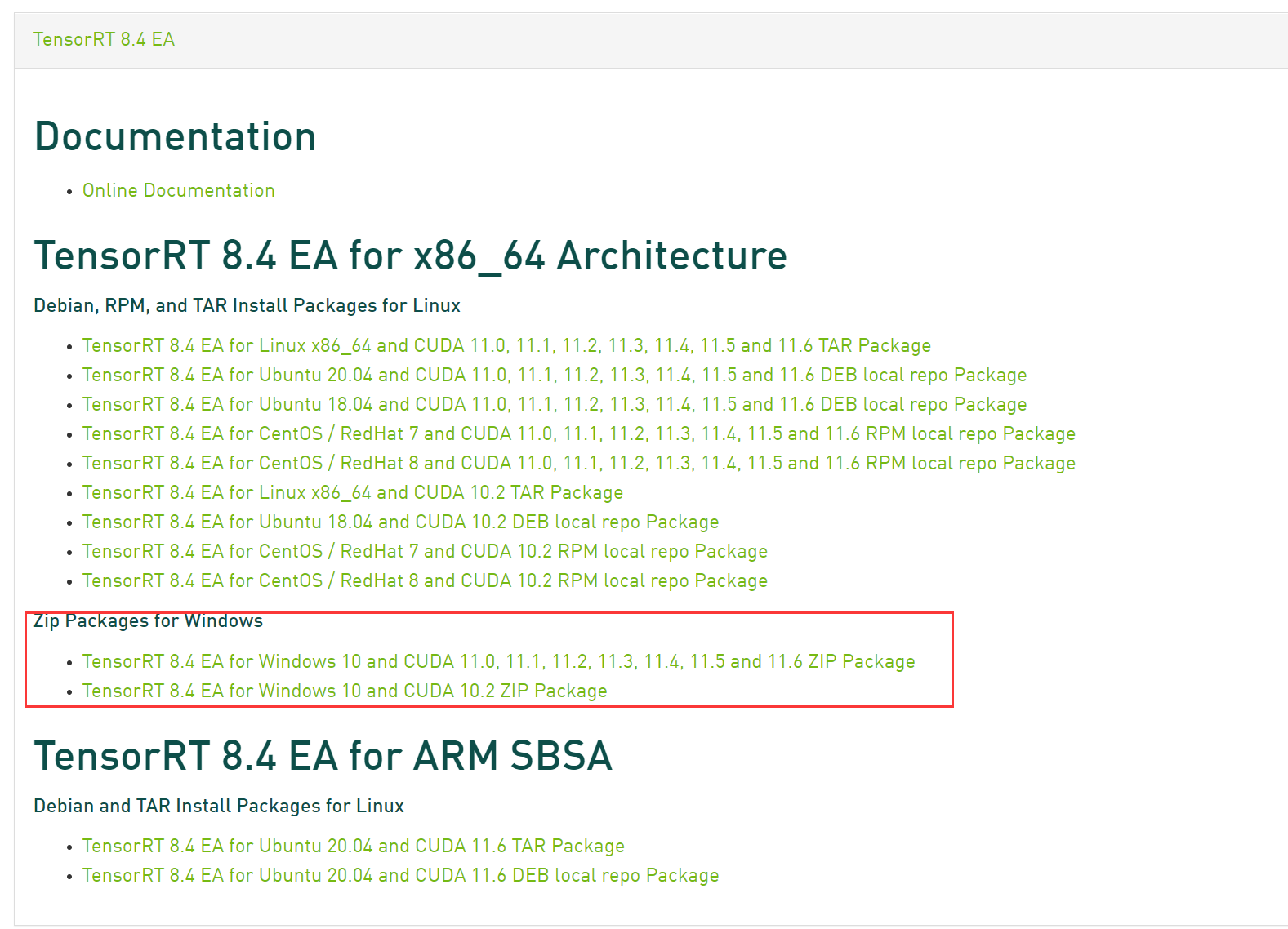


图2- 10 TensorRT 8.4 EA 版本选择

我们平台为Windows平台，并且此处选择也要查看安装包所支持的CUDA版本与电脑所安装的是否一致，此处必须一致才可以。查看版本信息可以打开命令提示符窗口，输入以下指令:

nvcc --version

如图所示，本机电脑CUDA版本为V11.6.55，目前TensorRT 8.4 EA支持的最高版本为11.6，此处便可以直接下载使用。



如果你的CUDA版本过低，当前版本中没有支持，此处需要降低TensorRT版本去查找所支持的型号。

文件下载本地后，可以看到下载文件名为：TensorRT-8.4.0.6.Windows10.x86\_64.cuda-11.6.cudnn8.3.zip。其中包含信息为：

TensorRT版本：8.4.0.6；

适用平台：Windows10.x86\_64，此处Windows11也可使用；

CUDA版本：11.6；

CUDNN版本：8.3。

（2）安装软件

文件下好后，只需要将文件解压到本地即可，具体安装位置自行确定，此处我将其解压到< D:\ProgramFiles\TensorRT-8.4.0.6\>文件夹下，后续配置相关信息都与该文江路经有关。

（3）配置环境变量

在电脑系统环境变量PATH变量中增加以下路径，具体操作参考OpenVINOTM配置环境变量。

D:\ProgramFiles\TensorRT-8.4.0.6\lib

### C++项目配置TensorRT

具体操作过程可以参考OpenVINOTM设置C++项目。

（1）包含目录设置

在C++项目包含目录中添加下述路径：

CUDA：C:\Program Files\NVIDIA GPU Computing Toolkit\CUDA\v11.6\include

TensorRT：D:\ProgramFiles\TensorRT-8.4.0.6\include

（2）库目录设置

在C++项目库目录中添加下述路径：

CUDA:

C:\Program Files\NVIDIA GPU Computing Toolkit\CUDA\v11.6\lib

C:\Program Files\NVIDIA GPU Computing Toolkit\CUDA\v11.6\lib\x64

TensorRT:

D:\ProgramFiles\TensorRT-8.4.0.6\lib

对于CUDA路径，请根据自己电脑安装的位置选择。

（3）附加依赖项设置

在C++项目附加依赖项中添加下述文件：

nvinfer.lib

nvinfer\_plugin.lib

nvonnxparser.lib

nvparsers.lib

cublas.lib

cublasLt.lib

cuda.lib

cudadevrt.lib

cudart.lib

cudart\_static.lib

cudnn.lib

cudnn64\_8.lib

cudnn\_adv\_infer.lib

cudnn\_adv\_infer64\_8.lib

cudnn\_adv\_train.lib

cudnn\_adv\_train64\_8.lib

cudnn\_cnn\_infer.lib

cudnn\_cnn\_infer64\_8.lib

cudnn\_cnn\_train.lib

cudnn\_cnn\_train64\_8.lib

cudnn\_ops\_infer.lib

cudnn\_ops\_infer64\_8.lib

cudnn\_ops\_train.lib

cudnn\_ops\_train64\_8.lib

cufft.lib

cufftw.lib

curand.lib

cusolver.lib

cusolverMg.lib

cusparse.lib

nppc.lib

nppial.lib

nppicc.lib

nppidei.lib

nppif.lib

nppig.lib

nppim.lib

nppist.lib

nppisu.lib

nppitc.lib

npps.lib

nvblas.lib

nvjpeg.lib

nvml.lib

nvrtc.lib

OpenCL.lib

## OpenCV

### OpenCV简介

OpenCV是 Open Source Computer Vision Library 的缩写，是一个基于Apache2.0许可（开源）发行的跨平台计算机视觉和机器学习软件库，可以运行在Linux、Windows、Android和Mac OS操作系统上。它轻量级而且高效——由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成，同时提供了Python、Ruby、MATLAB等语言的接口，实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。

### OpenCV安装

（1）下载并安装OpenCV

访问OpenCV官网 <https://opencv.org/> ，选择Library下的Releases，进入到下载页面，或直接访问<https://opencv.org/releases/> 进入下载页面。

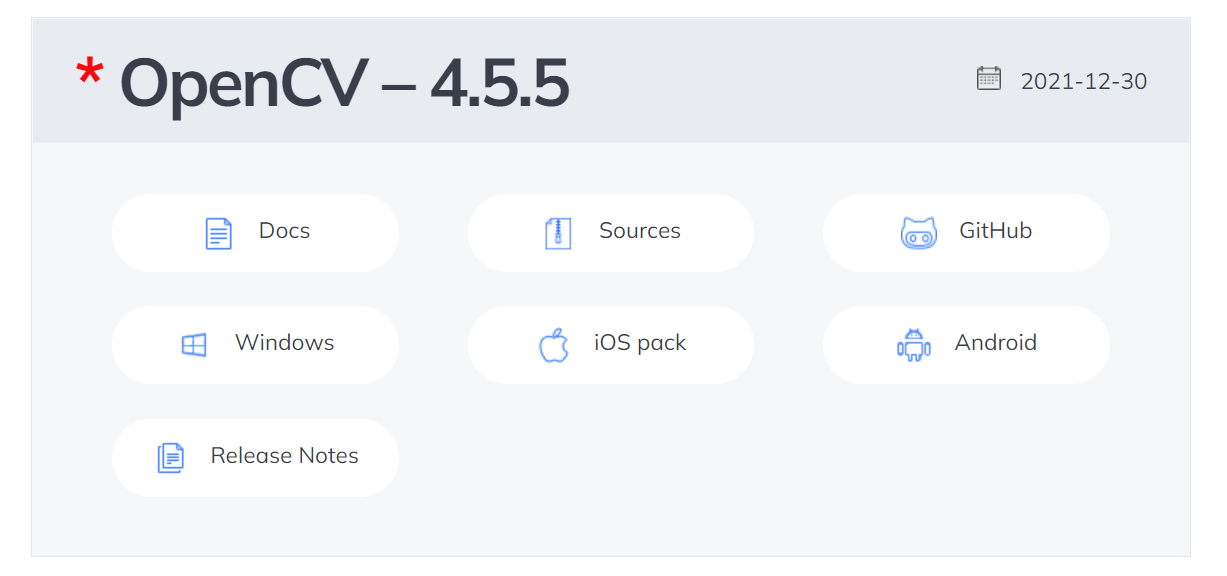


图2- 11 OpenCV-4.5.5 版本页面

根据负载使用情况，选择Windows版本，如所示，跳转页面后，下载文件名为：opencv-4.5.5-vc14\_vc15.exe。下载完成后，直接双击打开安装文件，安装完成后，打开安装文件夹，该文件夹下 build、sources文件夹以及LICENSE相关文件，我们所使用的文件在build文件夹中。

（2）配置Path环境变量

右击我的电脑，进入属性设置，选择高级系统设置进入系统属性，点击环境变量，进入到环境变量设置，编辑系统变量下的Path变量，增加以下地址变量：

E:\OpenCV Source\opencv-4.5.5\build\x64\vc15\bin

E:\OpenCV Source\opencv-4.5.5\build\x64\vc15\lib

E:\OpenCV Source\opencv-4.5.5\build\include

E:\OpenCV Source\opencv-4.5.5\build\include\opencv2

其中<E:\OpenCV Source\opencv-4.5.5>为本机安装OpenCV安装路径。

### C++项目配置OpenCV

具体操作过程可以参考OpenVINOTM设置C++项目。

（1）包含目录设置

在C++项目包含目录中添加下述路径：

E:\OpenCV Source\opencv-4.5.5\build\include

（2）库目录设置

在C++项目库目录中添加下述路径：

E:\OpenCV Source\opencv-4.5.5\build\x64\vc15\lib

（3）附加依赖项设置

在C++项目附加依赖项中添加下述文件：

Debug模式：opencv\_world455d.lib

Release模式：opencv\_world455.lib

# 测试模型

## Yolov5模型

### 模型获取

# OpenVINOTM部署AI模型实现

## OpenVINOTM部署模型C++实现

### OpenVINOTM部署模型基本步骤

经典的一个OpenVINOTM部署模型步骤为：读取本地模型、将模型加载到设备、创建推理请求、配置输入数据、模型推理以及处理推理结果，对于新版OpenVINOTM，增加了对pdmodel模型以及onnx模型的直接读取的支持，并且pdmodel模型以及onnx模型可以是输入bath\_size不指定，但OpenVINOTM模型推理需要指定所有维度尺寸，因此新版OpenVINOTM需要增加设置输入尺寸这一步。

（1）读取本地模型

ov为新版OpenVINOTM的命名空间，新版将所有代码整合到了该命名空间下，在读取本地模型前，需要初始化Core对象，这个类代表一个OpenVINOTM运行时核心实体；然后调用read\_model()读取本地模型到内存。

ov::Core core;

std::shared\_ptr<ov::Model> model\_ptr = core.read\_model(std::string model\_path);

（2）将模型加载到设备

OpenVINOTM支持英特尔公司生产推出的各种CPU以及GPU等设备，因此在加载到设备时，需要根据自己设备进行选择，CPU设备可以不为英特尔CPU，不过显卡设备必须为英特尔生产的，否者不能部署。新版可以使用AUTO不指定设备，而是在运行时，会根据当前设备选择合适设备进行部署。

ov::CompiledModel compiled\_model = core.compile\_model(std::string model\_ptr, "CPU");

（3）创建推理请求

这一步主要是创建模型推理请求，后续进行数据配置以及模型推理，都在推理请求上进行，并且模型推理球球可以创建多个，同步进行不同数据的推理。

ov::InferRequest infer\_request = compiled\_model.create\_infer\_request();

（4）设置输入节点尺寸

set\_shape()可以对动态输入节点进行固定，固定为指定形状大小，如果该节点形状已经指定，也会按照最终设置的大小确定。

ov::Tensor input\_image\_tensor = infer\_request.get\_tensor(std::string input\_node\_name);

input\_image\_tensor.set\_shape(ov::Shape& shape);

（5）配置推理输入数据

新版OpenVINOTM配置输入数据是，可以直接通过访问节点内存的方式进行填充数据，该方式支持各种数据填充，其最终填充数据为数组数据。因此如果是填充的图片数据，需要在填充前对图片数据进行处理。

float\* input\_tensor\_data = input\_tensor.data<float>();

for (int i = 0; i < data\_size; i++) {

input\_tensor\_data[i] = input\_data[i];

}

（6）处理推理结果

首先是要将输出结果从输出节点内存上对取出来，然后再处理数据；对于不同的模型，其最后的输出结果是不同的，有不同的处理方式，具体要参考模型的输出要求。

const ov::Tensor& output\_tensor = infer\_request.get\_tensor(output\_node\_name);

float\* result\_array = output\_tensor.data<float>();

### OpenVINOTM部署Yolov5模型

（1）新建C++项目

右击解决方案，选择添加新建项目，添加一个C++空项目，将C++项目命名为：cpp\_oppenvino\_yolov5。进入项目后，右击源文件，选择添加→新建项→C++文件(cpp)，进行的文件的添加。

右击当前项目，进入属性设置，配置OpenVINOTM以及OpenCV的属性。

（2）定义yolov5模型相关信息

std::string model\_path = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.onnx";

std::string image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

std::string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

std::string input\_node\_name = "images";

std::string output\_node\_name = "output";

（3）初始化相关对象

此处主要是初始化Core对象、读取本地模型、将模型加载到设备以及创建推理请求。

ov::Core core; // core对象

std::shared\_ptr<ov::Model> model\_ptr = core.read\_model(model\_path);

ov::CompiledModel compiled\_model = core.compile\_model(model\_ptr, "CPU");

ov::InferRequest infer\_request = compiled\_model.create\_infer\_request();

（4）配置输入数据

首先获取输入节点的形状信息，直接使用get\_shape()方法便可以获取输入节点各个维度的信息。

ov::Tensor input\_image\_tensor = infer\_request.get\_tensor(input\_node\_name);

int input\_H = input\_image\_tensor.get\_shape()[2]; //获得"image"节点的Height

int input\_W = input\_image\_tensor.get\_shape()[3]; //获得"image"节点的Width

接下来就是预处理图片数据，Yolov5模型输入图片为方型、大小为（640X640）、RGB通道以及归一化处理。首先将图片放置到方型背景下：

cv::Mat image = cv::imread(image\_path);; // 读取输入图片

// 将输入图片放置在正方形背景上

int max\_side\_length = std::max(image.cols, image.rows);

cv::Mat max\_image = cv::Mat::zeros(cv::Size(max\_side\_length, max\_side\_length), CV\_8UC3);

cv::Rect roi(0, 0, image.cols, image.rows);

image.copyTo(max\_image(roi));

接下来就是转换RGB通道以及按照指定大小缩放图片：

// 交换RGB通道

cv::Mat rgb\_image;

cv::cvtColor(max\_image, rgb\_image, cv::COLOR\_BGRA2RGB);

// 缩放至指定大小

cv::Mat normal\_image;

cv::resize(rgb\_image, normal\_image, cv::Size(input\_H, input\_W), 0, 0, cv::INTER\_LINEAR);

然后将图片进行归一化处理：

// 将图像归一化

std::vector<cv::Mat> rgb\_channels(3);

cv::split(normal\_image, rgb\_channels);// 分离数据通道

for (auto i = 0; i < rgb\_channels.size(); i++) {

rgb\_channels[i].convertTo(rgb\_channels[i], CV\_32FC1, 1.0 / 255, 0);

}

cv::merge(rgb\_channels, normal\_image);

最后就是将处理完的图片填充到输入节点上：

fill\_tensor\_data\_image(input\_image\_tensor, normal\_image);

fill\_tensor\_data\_image()方法为自己整架的方法，其主要实现原理是将图片数据展开为一维数组，并逐点将数据写入到内存中。

（5）模型推理

infer\_request.infer();

（6）结果处理

首先是读取推理结果，推理结果在输出节点Tensor上的内存中：

const ov::Tensor& output\_tensor = infer\_request.get\_tensor(output\_node\_name);

float\* result\_array = output\_tensor.data<float>();

接下来就是处理数据，Yolov5输出结果为85x25200大小的数组，其中没85个数据为一组，在该项目中我们提供了专门用于处理yolov5数据结果的结果处理类，因此在此处我们只需要调用该结果类即可：

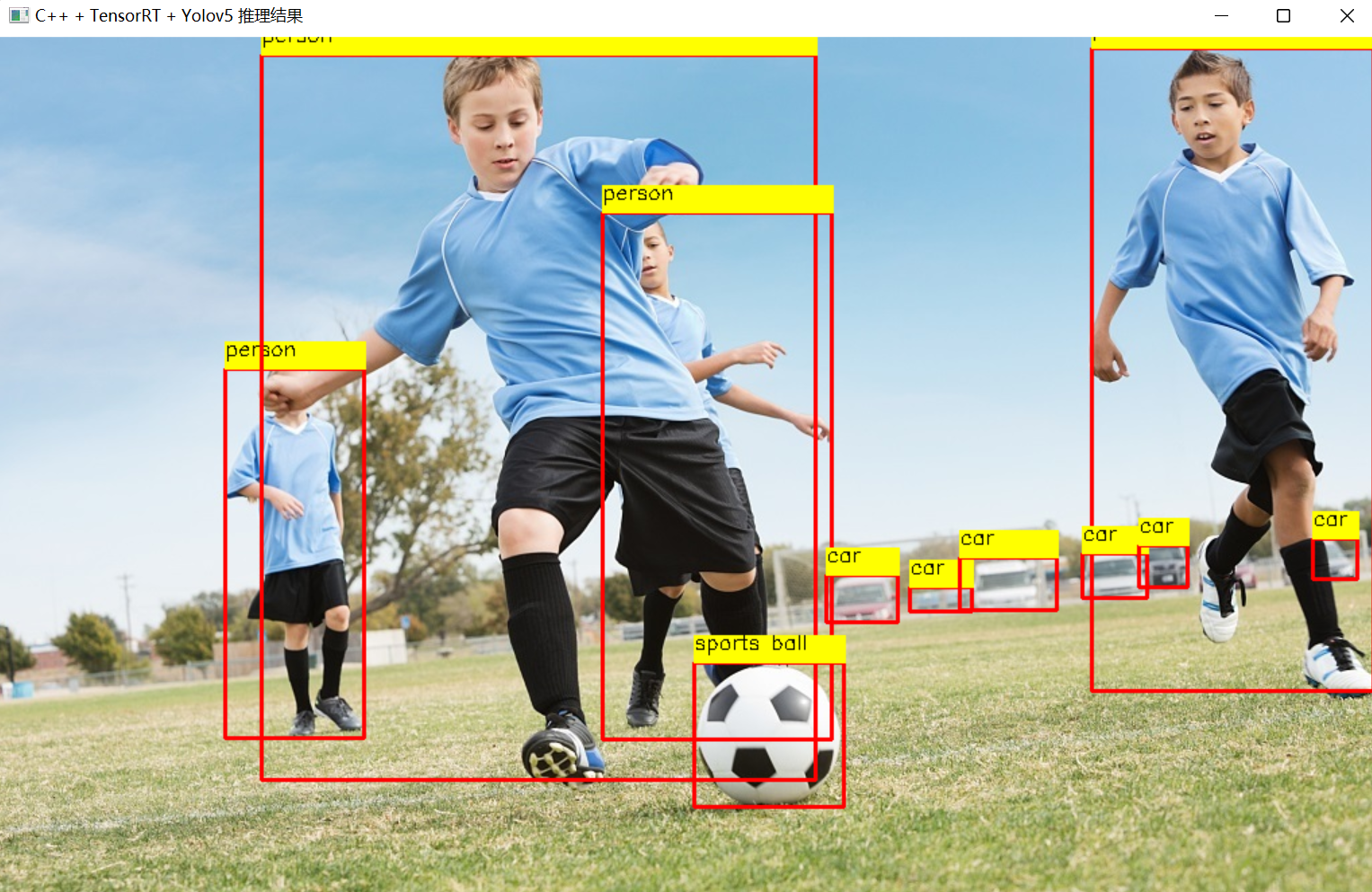
ResultYolov5 result;

result.read\_class\_names(lable\_path);

esult.factor = max\_side\_length / (float)input\_H;

cv::Mat result\_image = result.yolov5\_result(image, result\_array);

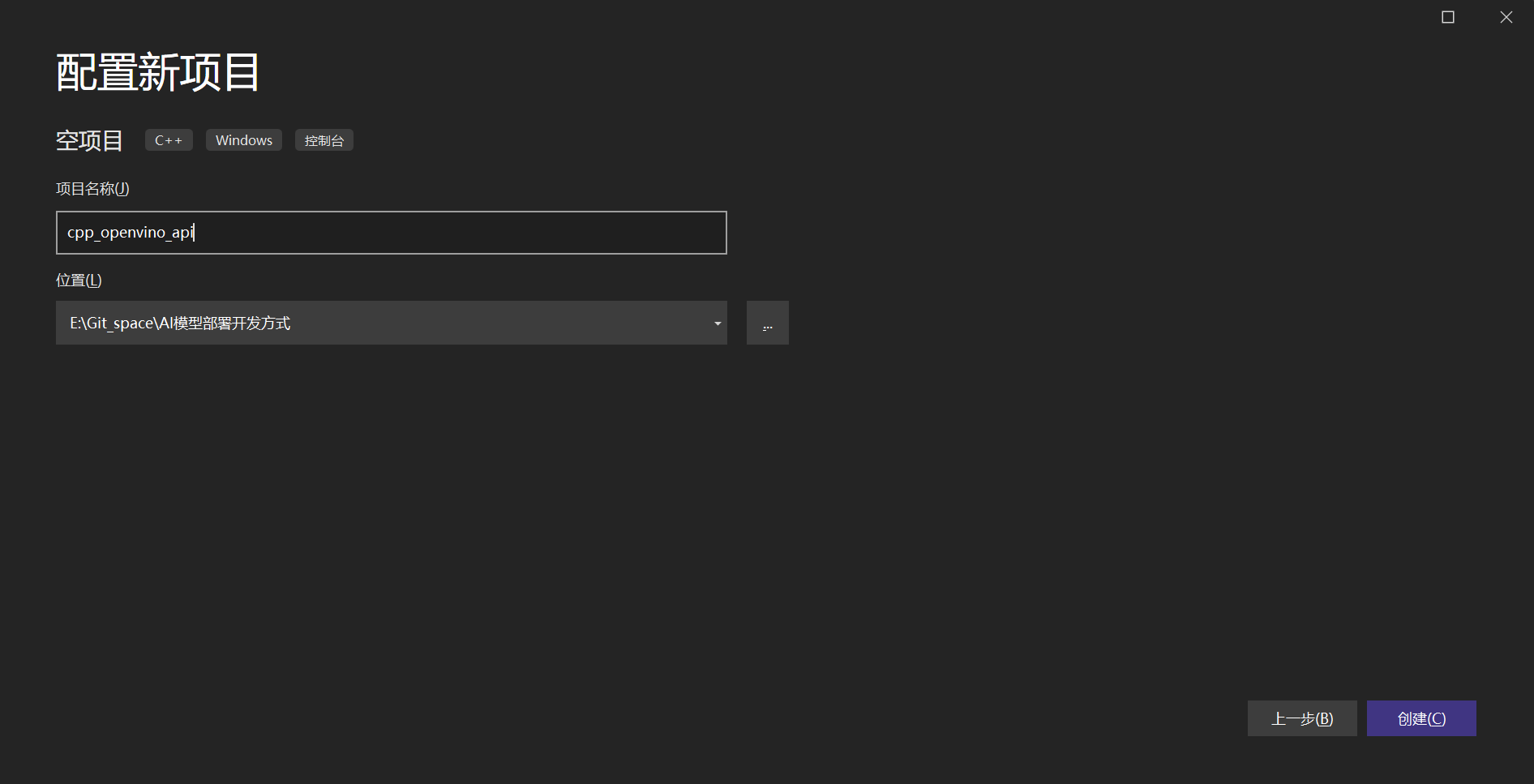
最终输出结果如所示。

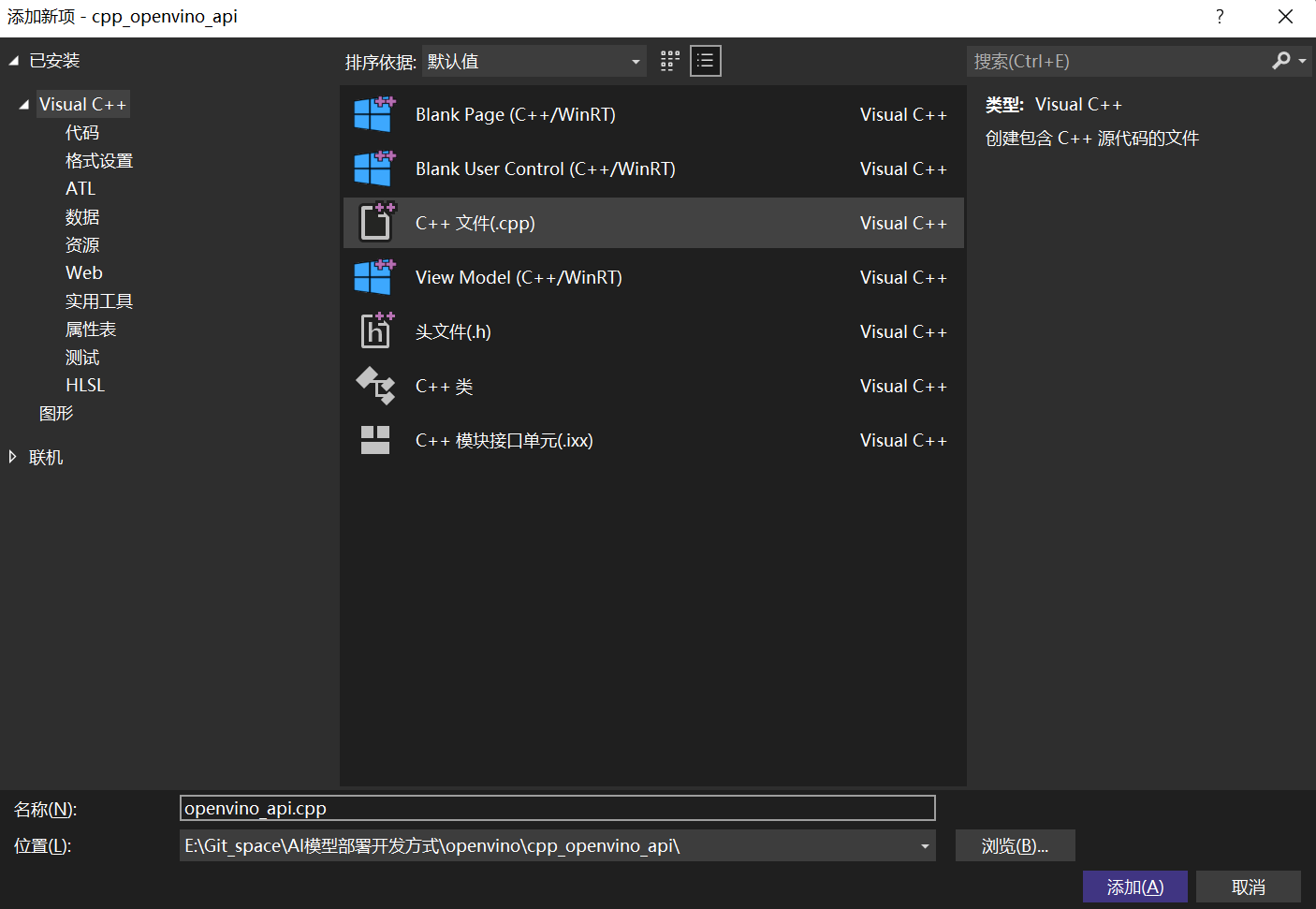


## OpenVinoSharp

### 新建OpenVINOTM 接口实现文件

右击解决方案，选择添加新建项目，添加一个C++空项目，将C++项目命名为：cpp\_openvino\_api。进入项目后，右击源文件，选择添加→新建项→C++文件(cpp)，进行的文件的添加。具体操作如所示。



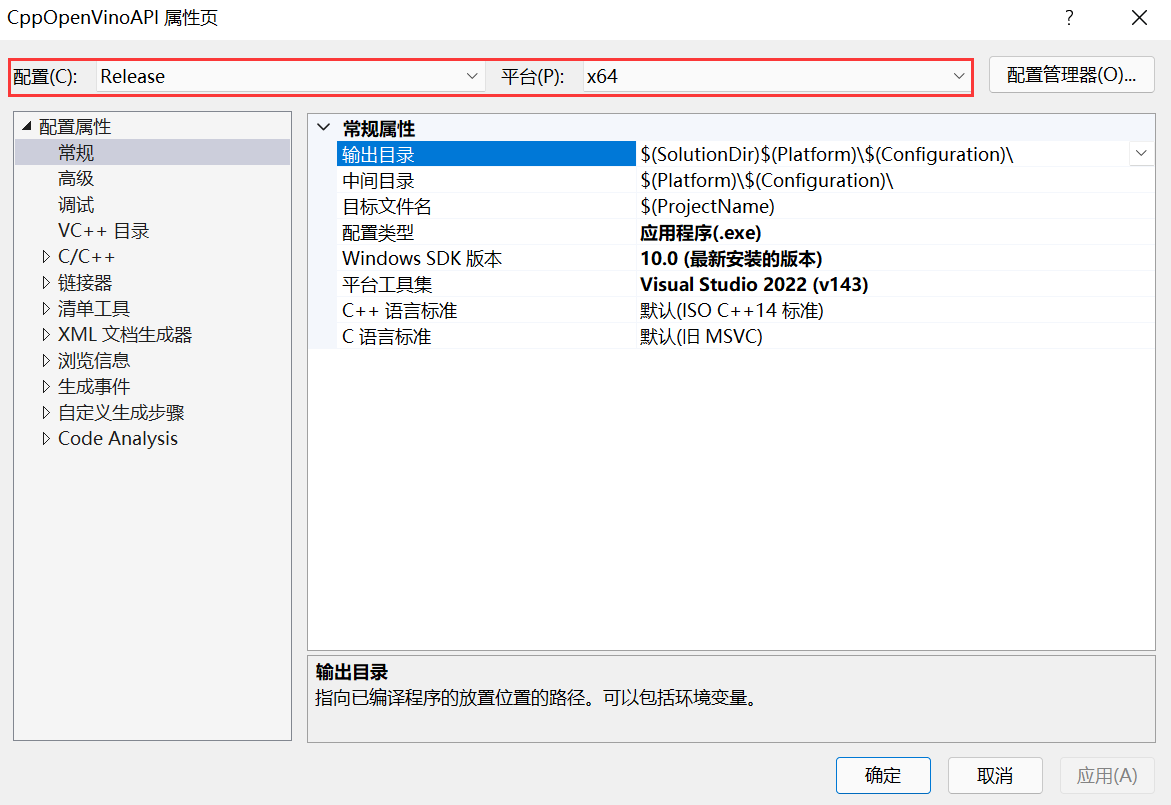
新建C++项目

### 配置C++项目属性

右击项目，点击属性，进入到属性设置，此处需要设置项目的配置类型包含目录、库目录以及附加依赖项，本次项目选择Release模式下运行，因此以Release情况进行配置。

（1）设置配置与平台

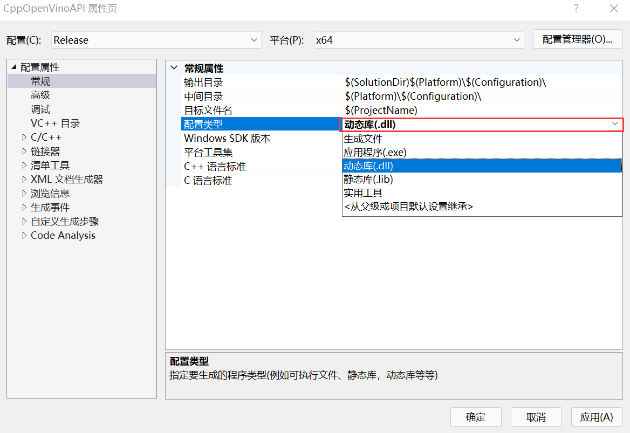
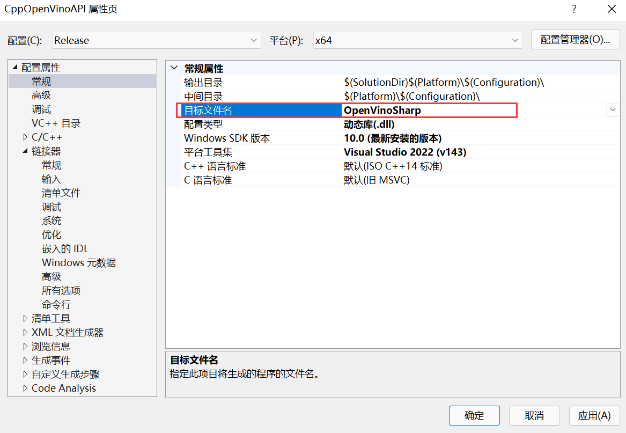
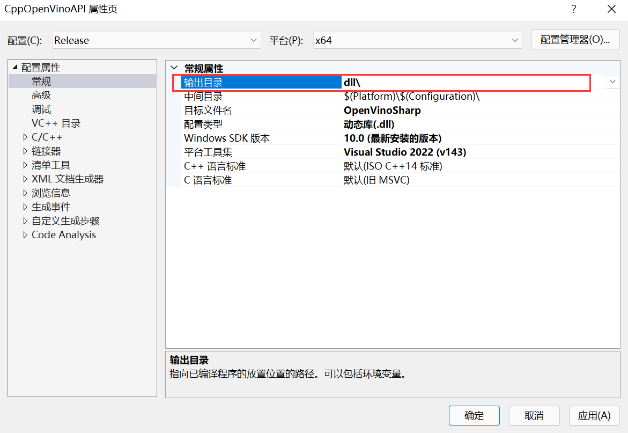
进入属性设置后，在最上面，将配置改为Release，平台改为x64。具体操作如图1- 7所示。



C++项目属性配置与平台设置

（2）设置常规属性

常规设置下，点击输出目录，将输出位置设置为< $(SolutionDir)dll\_import/openvino >，即将生成文件放置在项目文件夹下的dll文件夹下；其次将目标文件名修改为：openvinosharp；最后将配置类型改为：动态库(.dll)，让其生成dll文件。具体操作如图1- 8所示。



C++项目常规属性设置

（3）配置附加包

此处需要使用OpenVINOTM与OpenCV两个外部依赖包，因此需要配置相关设置，具体操作方式按照第二章OpenVINOTM配置C++项目与OpenCV配置C++项目部分。

### 编写C++代码

**（1）推理引擎结构体**

Core是OpenVINOTM 工具套件里的推理核心类，该类下包含多个方法，可用于创建推理中所使用的其他类。在此处，需要在各个方法中传递的仅仅是所使用的几个变量，因此选择构建一个推理引擎结构体，用于存放各个变量。

// @brief 推理核心结构体

typedef struct openvino\_core {

ov::Core core; // core对象

std::shared\_ptr<ov::Model> model\_ptr; // 读取模型指针

ov::CompiledModel compiled\_model; // 模型加载到设备对象

ov::InferRequest infer\_request; // 推理请求对象

} CoreStruct;

其中Core是OpenVINOTM 工具套件里的推理机核心，该模块只需要初始化； shared\_ptr<ov::Model>是读取本地模型的方法，新版更新后，该方法发生了较大改动，可支持读取Paddlepaddle飞桨模型、onnx模型以及IR模型；CompiledModel指的是一个已编译的模型类，其主要是将读取的本地模型应用多个优化转换，然后映射到计算内核，由所指定的设备编译模型；InferRequest是一个推理请求类，在推理中主要用于对推理过程的操作。

**（2）接口方法规划**

经典的OpenVINOTM 进行模型推理，一般需要八个步骤，主要是：初始化Core对象、读取本地推理模型、配置模型输入&输出、载入模型到执行硬件、创建推理请求、准备输入数据、执行推理计算以及处理推理计算结果。我们根据原有的八个步骤，对步骤进行重新整合，并根据推理步骤，调整方法接口。

对于方法接口，主要设置为：推理初始化、配置输入数据形状、配置输入数据、模型推理、读取推理结果数据以及删除内存地址六个大类，其中配置输入数据形状要细分为配置图片数据形状以及普通数据形状，配置输入数据要细分为配置图片输入数据与配置普通数据输入，读取推理结果数据细分为读取float数据和int数据，因此，总共有6类方法接口，9个方法接口。

**（3）初始化推理模型**

OpenVINOTM推理引擎结构体是联系各个方法的桥梁，后续所有操作都是在推理引擎结构体中的变量上操作的，为了实现数据在各个方法之间的传输，因此在创建推理引擎结构体时，采用的是创建结构体指针，并将创建的结构体地址作为函数返回值返回。推理初始化接口主要整合了原有推理的初始化Core对象、读取本地推理模型、载入模型到执行硬件和创建推理请求步骤，并将这些步骤所创建的变量放在推理引擎结构体中。

初始化推理模型接口方法为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall core\_init(const wchar\_t\* model\_file\_wchar, const wchar\_t\* device\_name\_wchar);

该方法返回值为CoreStruct结构体指针，其中model\_file\_wchar为推理模型本地地址字符串指针，device\_name\_wchar为模型运行设备名指针，在后面使用上述变量时，需要将其转换为string字符串，利用wchar\_to\_string()方法可以实现将其转换为字符串格式：

std::string model\_file\_path = wchar\_to\_string(model\_file\_wchar);

std::string device\_name = wchar\_to\_string(device\_name\_wchar);

模型初始化功能主要包括：初始化推理引擎结构体和对结构体里面定义的其他变量进行赋值操作，其主要是利用InferEngineStruct中创建的Core类中的方法，对各个变量进行初始化操作：

CoreStruct\* p = new CoreStruct(); // 创建推理引擎指针

p->model\_ptr = p->core.read\_model(model\_file\_path); // 读取推理模型

p->compiled\_model = p->core.compile\_model(p->model\_ptr, "CPU"); // 将模型加载到设备

p->infer\_request = p->compiled\_model.create\_infer\_request(); // 创建推理请求

**（4）配置输入数据形状**

在新版OpenVINOTM 2022.1 中，新增加了对Paddlepaddle模型以及onnx模型的支持，Paddlepaddle模型不支持指定指定默认bath通道数量，因此需要在模型使用时指定其输入；其次，对于onnx模型，也可以在转化时不指定固定形状，因此在配置输入数据前，需要配置输入节点数据形状。其方法接口为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall set\_input\_image\_sharp(void\* core\_ptr, const wchar\_t\* input\_node\_name\_wchar, size\_t \* input\_size);

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall set\_input\_data\_sharp(void\* core\_ptr, const wchar\_t\* input\_node\_name\_wchar, size\_t \* input\_size);

由于需要配置图片数据输入形状与普通数据的输入形状，在此处设置了两个接口，分别设置两种不同输入的形状。该方法返回值是CoreStruct结构体指针，但该指针所对应的数据中已经包含了对输入形状的设置。第一个输入参数core\_ptr是CoreStruct指针，在当前方法中，我们要读取该指针，并将其转换为CoreStruct类型：

CoreStruct\* p = (CoreStruct\*)core\_ptr;

input\_node\_name\_wchar 为待设置网络节点名，input\_size 为形状数据数组，对图片数据，需要设置 [batch, dim, height, width] 四个维度大小，所以input\_size数组传入4个数据，其设置在形状主要使用Tensor类下的set\_shape()方法：

std::string input\_node\_name = wchar\_to\_string(input\_node\_name\_wchar); // 将节点名转为string类型

ov::Tensor input\_image\_tensor = p->infer\_request.get\_tensor(input\_node\_name); // 读取指定节点Tensor

input\_image\_tensor.set\_shape({ input\_size[0],input\_size[1],input\_size[2],input\_size[3] }); // 设置节点数据形状

**（5）配置输入数据**

在新版OpenVINOTM 中，Tensor类的T\* data()方法，其返回值为当前节点Tensor的数据内存地址，通过填充Tensor的数据内存，实现推理数据的输入。对于图片数据，其最终也是将其转为一维数据进行输入，不过为方便使用，此处提供了配置图片数据和普通数据的接口，对于输入为图片的方法接口：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall load\_image\_input\_data(void\* core\_ptr,

const wchar\_t\* input\_node\_name\_wchar, uchar \* image\_data, size\_t image\_size, int BN\_means);

该方法返回值是CoreStruct结构体指针，但该指针所对应的数据中已经包含了加载的图片数据。第一个输入参数core\_ptr是CoreStruct指针，在当前方法中，我们要读取该指针，并将其转换为CoreStruct类型；第二个输入参数input\_node\_name\_wchar为待填充节点名，先将其转为string字符串：

std::string input\_node\_name = wchar\_to\_string(input\_node\_name\_wchar);

在该项目中，我们主要使用的是以图片作为模型输入的推理网络，模型主要的输入为图片的输入。其图片数据主要存储在矩阵image\_data和矩阵长度image\_size两个变量中。需要对图片数据进行整合处理，利用创建的data\_to\_mat () 方法，将图片数据读取到OpenCV中：

cv::Mat input\_image = data\_to\_mat(image\_data, image\_size);

接下来就是配置网络图片数据输入，对于节点输入是图片数据的网络节点，其配置网络输入主要分为以下几步：

**首先，获取网络输入图片大小。**

使用InferRequest类中的get\_tensor ()方法，获取指定网络节点的Tensor，其节点要求输入大小在Shape容器中，通过获取该容器，得到图片的长宽信息：

ov::Tensor input\_image\_tensor = p->infer\_request.get\_tensor(input\_node\_name);

int input\_H = input\_image\_tensor.get\_shape()[2]; //获得"image"节点的Height

int input\_W = input\_image\_tensor.get\_shape()[3]; //获得"image"节点的Width

**其次，按照输入要求，处理输入图片。**

在这一步，我们除了要按照输入大小对图片进行放缩之外，还要根据PaddlePaddle对模型输入的要求进行处理。因此处理图片其主要分为交换RGB通道、放缩图片以及对图片进行归一化处理。在此处我们借助OpenCV来实现。

OpenCV读取图片数据并将其放在Mat类中，其读取的图片数据是BGR通道格式，PaddlePaddle要求输入格式为RGB通道格式，其通道转换主要靠一下方式实现：

cv::cvtColor(input\_image, blob\_image, cv::COLOR\_BGR2RGB);

接下来就是根据网络输入要求，对图片进行压缩处理：

cv::resize(blob\_image, blob\_image, cv::Size(input\_H, input\_W), 0, 0, cv::INTER\_LINEAR);

最后就是对图片进行归一化处理，其主要处理步骤就是减去图像数值均值，并除以方差。BN\_means为数据归一化处理方式选择，主要提供了PaddlePaddle数据处理方式以及普通数据处理方式，其中BN\_means = 1时为PaddlePaddle数据处理方式，当BN\_means = 2时，为普通数据处理方式，即将数据整除255。查询PaddlePaddle模型对图片的处理，其均值mean = [0.485, 0.456, 0.406]，方差std = [0.229, 0.224, 0.225]，利用OpenCV中现有函数，对数据进行归一化处理：

std::vector<cv::Mat> rgb\_channels(3);

cv::split(blob\_image, rgb\_channels); // 分离图片数据通道

if (BN\_means == 0) {

std::vector<float> mean\_values{ 0.485 \* 255, 0.456 \* 255, 0.406 \* 255 };

std::vector<float> std\_values{ 0.229 \* 255, 0.224 \* 255, 0.225 \* 255 };

for (auto i = 0; i < rgb\_channels.size(); i++) {

rgb\_channels[i].convertTo(rgb\_channels[i], CV\_32FC1, 1.0 / std\_values[i], (0.0 - mean\_values[i]) / std\_values[i]);

}

}

else if (BN\_means == 1){

for (auto i = 0; i < rgb\_channels.size(); i++) {

rgb\_channels[i].convertTo(rgb\_channels[i], CV\_32FC1, 1.0 / 255, 0);

}

}

**最后，将图片数据输入到模型中。**

在此处，我们重写了网络赋值方法，并将其封装到 fill\_tensor\_data\_image(ov::Tensor& input\_tensor, const cv::Mat& input\_image)方法中，input\_tensor为模型输入节点Tensor类，input\_image为处理过的图片Mat数据。因此节点赋值只需要调用该方法即可：

fill\_tensor\_data\_image(input\_image\_tensor, blob\_image);

对于普通数据的输入，其方法接口如下：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall load\_input\_data(void\* core\_ptr, const wchar\_t\* input\_node\_name\_wchar, float\* input\_data);

与配置图片数据不同点，在于输入数据只需要输入input\_data数组即可。其数据处理哦在外部实现，只需要将处理后的数据填充到输入节点的数据内存中即可，通过调用自定义的fill\_tensor\_data\_float(ov::Tensor& input\_tensor, float\* input\_data, int data\_size) 方法即可实现：

std::string input\_node\_name = wchar\_to\_string(input\_node\_name\_wchar);

ov::Tensor input\_image\_tensor = p->infer\_request.get\_tensor(input\_node\_name); // 读取指定节点tensor

int input\_size = input\_image\_tensor.get\_shape()[1]; //获得输入节点的长度

fill\_tensor\_data\_float(input\_image\_tensor,input\_data, input\_size); // 将数据填充到tensor数据内存上

**（6）模型推理**

上一步中我们将推理内容的数据输入到了网络中，在这一步中，我们需要进行数据推理，这一步中我们留有一个推理接口：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall core\_infer(void\* core\_ptr)

进行模型推理，只需要调用CoreStruct结构体中的infer\_request对象中的infer()方法即可：

CoreStruct\* p = (CoreStruct\*)core\_ptr;

p->infer\_request.infer();

**（7）读取推理数据**

上一步我们对数据进行了推理，这一步就需要查询上一步推理的结果。对于我们所使用的模型输出，主要有float数据和int数据，对此，留有了两种数据的查询接口，其方法为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void \_\_stdcall read\_infer\_result\_F32(void\* core\_ptr, const wchar\_t\* output\_node\_name\_wchar, int data\_size, float\* infer\_result);

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void \_\_stdcall read\_infer\_result\_I32(void\* core\_ptr, const wchar\_t\* output\_node\_name\_wchar, int data\_size, int\* infer\_result);

其中data\_size为读取数据长度，infer\_result 为输出数组指针。读取推理结果数据与加载推理数据方式相似，依旧是读取输出节点处数据内存的地址：

const ov::Tensor& output\_tensor = p->infer\_request.get\_tensor(output\_node\_name);

const float\* results = output\_tensor.data<const float>();

针对读取整形数据，其方法一样，只是在转换类型时，需要将其转换为整形数据即可。我们读取的初始数据为二进制数据，因此要根据指定类型转换，否则数据会出现错误。将数据读取出来后，将其放在数据结果指针中，并将所有结果赋值到输出数组中：

for (int i = 0; i < data\_size; i++) {

\*inference\_result = results[i];

inference\_result++;

}

**（8）删除推理核心结构体指针**

推理完成后，我们需要将在内存中创建的推理核心结构地址删除，防止造成内存泄露，影响电脑性能，其接口该方法为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void \_\_stdcall core\_delet(void\* core\_ptr);

在该方法中，我们只需要调用delete命令，将结构体指针删除即可。

### 编写模块定义文件

我们在定义接口方法时，在原有方法的基础上，增加了extern "C" 、 \_\_declspec(dllexport) 以及\_\_stdcall 三个标识，其主要原因是为了让编译器识别我们的输出方法。其中，extern "C"是指示编译器这部分代码按C语言（而不是C++）的方式进行编译；\_\_declspec(dllexport)用于声明导出函数、类、对象等供外面调用；\_\_stdcall是一种函数调用约定。通过上面三个标识，我们在C++种所写的接口方法，会在dll文件中暴露出来，并且可以实现在C#中的调用。

不过上面所说内容，我们在编辑器中可以通过模块定义文件(.def)所实现，在模块定义文件中，添加以下代码：

LIBRARY

"openvinosharp"

EXPORTS

core\_init

set\_input\_image\_sharp

set\_input\_data\_sharp

load\_image\_input\_data

load\_input\_data

core\_infer

read\_infer\_result\_F32

read\_infer\_result\_I32

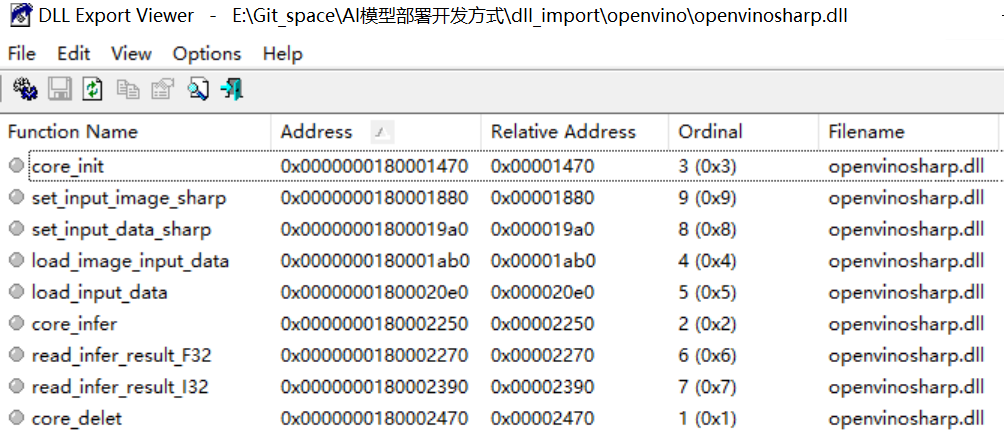
core\_delet

LIBRARY后所跟的为输出文件名，EXPORTS后所跟的为输出方法名。仅需要以上语句便可以替代extern "C" 、 \_\_declspec(dllexport) 以及\_\_stdcall的使用。

### 生成dll文件

前面我们将项目配置输出设置为了生成dll文件，因此该项目不是可以执行的exe文件，只能生成不能运行。右键项目，选择重新生成/生成。在没有错误的情况下，会看到项目成功的提示。可以看到dll文件在解决方案同级目录下.\dll\_import\openvino\文件夹下。

使用dll文件查看器打开dll文件，如所示；可以看到，我们创建的四个方法接口已经暴露在dll文件中。



openvino.dll文件方法输出目录

## C#构建Core类

### 新建C#类库

右击解决方案，添加->新建项目，选择添加C#类库，项目名命名为csharp\_openvino\_class，项目框架根据电脑中的框架选择，此处使用的是.NET 5.0。新建完成后，然后右击项目，选择添加->新建项，选择类文件，添加Core.cs和NativeMethods.cs两个类文件。

### 引入dll文件中的方法

在NativeMethods.cs文件下，我们通过[DllImport()]方法，将dll文件中所有的方法读取到C#中。读取方式如下：

[DllImport(openvino\_dll\_path, CharSet = CharSet.Unicode, CallingConvention = CallingConvention.Cdecl)]

public extern static IntPtr core\_init(string model\_file, string device\_name);

其中openvino\_dll\_path为dll文件路径，CharSet = CharSet.Unicode代表支持中文编码格式字符串，CallingConvention = CallingConvention.Cdecl指示入口点的调用约定为调用方清理堆栈。

上述所列出的为初始化推理模型，dlii文件接口在匹配时，是通过方法名字匹配的，因此，方法名要保证与dll文件中一致。其次就是方法的参数类型要进行对应，在上述方法中，函数的返回值在C++中为void\* ，在C#中对应的为IntPtr类型，输入参数中，在C++中为wchar\_t\* 字符指针，在C#中对应的为string字符串。通过方法名与参数类型一一对应，在C#可以实现对方法的调用。其他方法的引用类似，在此处不在一一赘述，具体可以参照项目提供的源代码。

### 创建Core类

为了更方便地调用我们通过dll引入的OpenVINOTM 方法，减少使用时的函数方法接口，我们在C#中重新组建我们自己的推理类，命名为Class Core，其主要成员变量和方法如图1- 12所示。

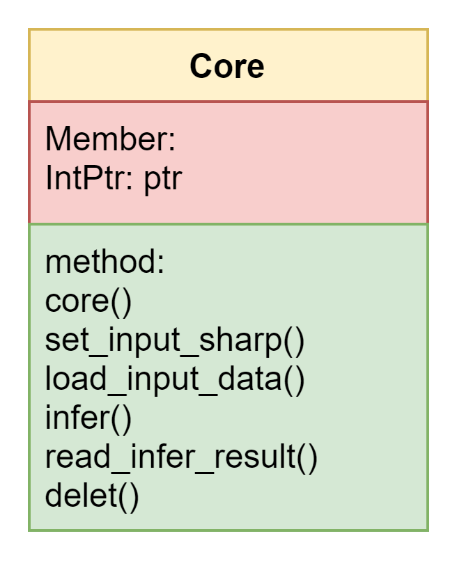


图1- 5 Core类图

（1）成员变量

在Core.类中，我们只需要创建一个地址变量，作为Core类的成员变量，用于接收接口函数返回的推理核心指针，该成员变量我们只需要在当前类下访问，因此将其设置为私有变量：

private IntPtr ptr = new IntPtr();

（2）构造函数

在类的初始化时，我们需要输入模型地址以及设备类型，通过掉用dll文件中引入的方法，获取初始化指针，对成员变量进行赋值，实现类的初始化：

public Core(string model\_file, string device\_name) {

ptr = NativeMethods.core\_init(model\_file, device\_name);

}

（3）节点形状设置方法

在构建设置数据输入形状时，我们需要提供的为节点名以及形状数据，为了简化该方法，我们合并了图片形状设置与普通数据形状设置接口，通过判断输入数组的长度，来确定是对那一个形状的设置。

public void set\_input\_sharp(string input\_node\_name, ulong[] input\_size){

// 获取输入数组长度

int length = input\_size.Length;

if (length == 4) {// 长度为4，判断为设置图片输入的输入参数，调用设置图片形状方法

ptr = NativeMethods.set\_input\_image\_sharp(ptr, input\_node\_name, ref input\_size[0]);

}

else if (length == 2){// 长度为2，判断为设置普通数据输入的输入参数，调用设置普通数据形状方法

ptr = NativeMethods.set\_input\_data\_sharp(ptr, input\_node\_name, ref input\_size[0]);

}

else{ // 为防止输入发生异常，直接返回

return;

}

}

（4）加载推理数据

在这一步，我们除了要加载图片数据，还需要加载普通的数据，因此为了简化接口名，我们使用函数重载的方式，配置加载推理数据方法，主要是通过方法输入数据的不同来区分。

public void load\_input\_data(string input\_node\_name, float[] input\_data) {

ptr = NativeMethods.load\_input\_data(ptr, input\_node\_name, ref input\_data[0]);

}

public void load\_input\_data(string input\_node\_name, byte[] image\_data, ulong image\_size, int BN\_means){

ptr = NativeMethods.load\_image\_input\_data(ptr, input\_node\_name, ref image\_data[0], image\_size, BN\_means);

}

（5）模型推理方法

public void infer(){

ptr = NativeMethods.core\_infer(ptr);

}

（6）读取结果数据

在读取结果数据这一步，我们提供了整形数据与浮点型数据的支持，因此在此处使用泛型编程的思想，将两种方式写在一起，通过设定的数据类型来指定待读取数据类型，来调用相关的接口。

public T[] read\_infer\_result<T>(string output\_node\_name, int data\_size){

// 获取设定类型

string t = typeof(T).ToString();

// 新建返回值数组

T[] result = new T[data\_size];

if (t == "System.Int32"){ // 读取数据类型为整形数据

int[] inference\_result = new int[data\_size];

NativeMethods.read\_infer\_result\_I32(ptr, output\_node\_name, data\_size, ref inference\_result[0]);

result = (T[])Convert.ChangeType(inference\_result, typeof(T[]));

return result;

}

else{ // 读取数据类型为浮点型数据

float[] inference\_result = new float[data\_size];

NativeMethods.read\_infer\_result\_F32(ptr, output\_node\_name, data\_size, ref inference\_result[0]);

result = (T[])Convert.ChangeType(inference\_result, typeof(T[]));

return result;

}

}

（7）内存销毁

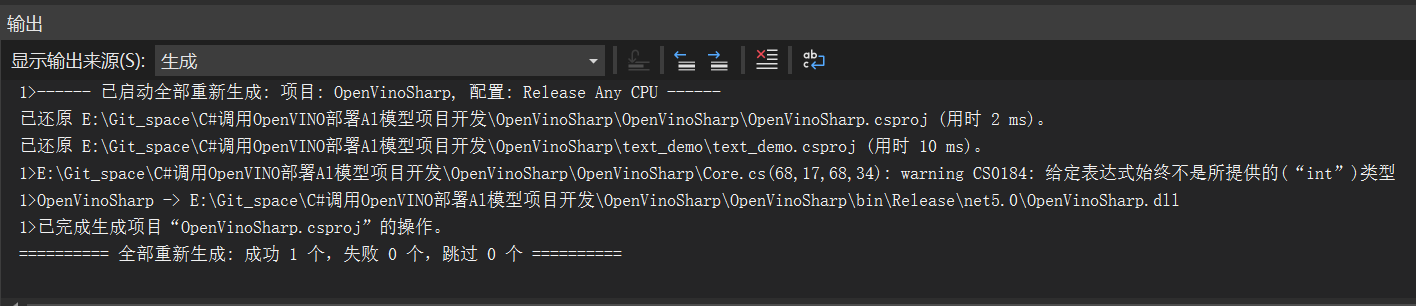
public void delet(){

NativeMethods.core\_delet(ptr);

}

### 编译Core类库

右击项目，点击生成/重新生成，出现如下所示，表示编译成功。



Core类编译输出

## OpenVINOTM部署模型C#实现

### C#项目配置

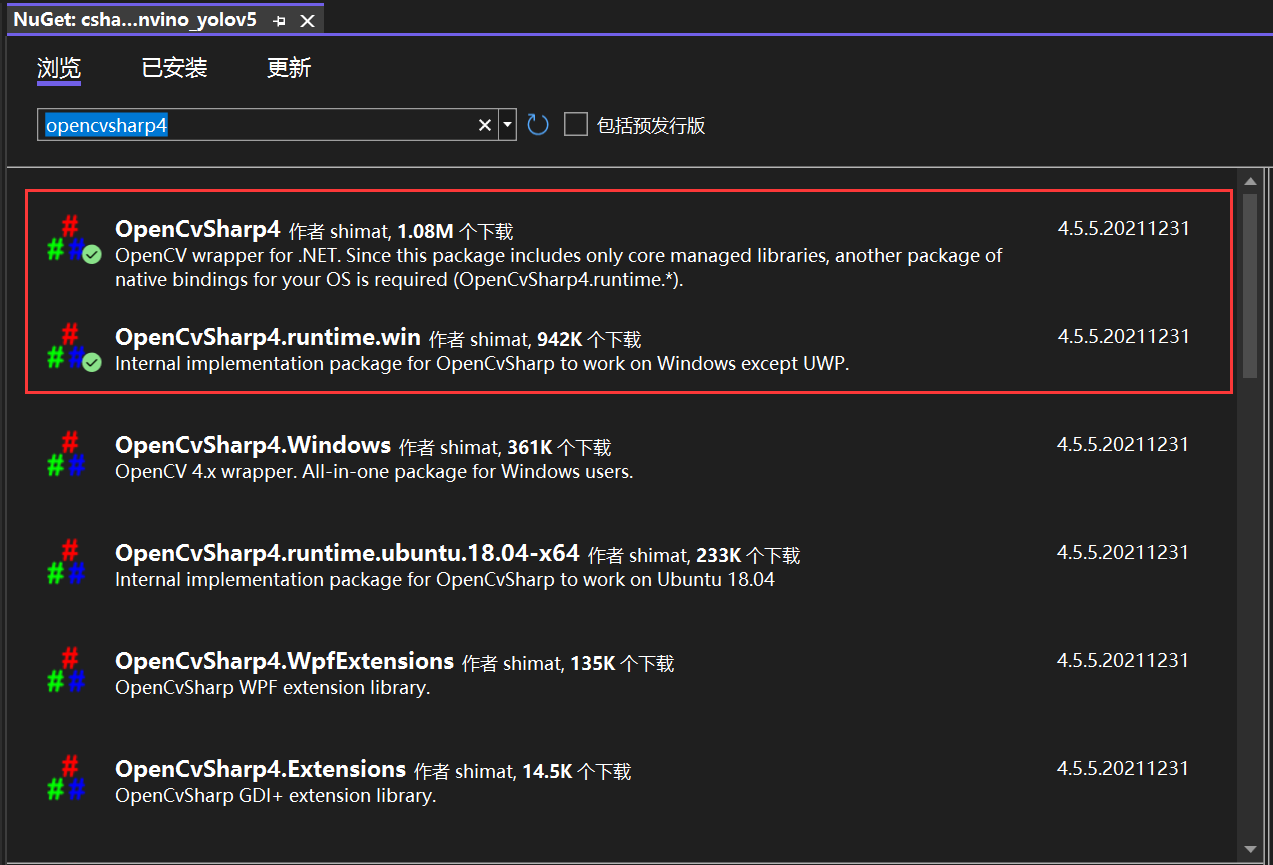
（1）配置OpenVinoSharp

新建项目后，右击项目，添加->项目引用，选择我们上一步创建的csharp\_openvino\_class类库项目，点击确定。csharp\_process\_infer\_result为我们创建的一个模型结果处理类，此处不做过多讲解。

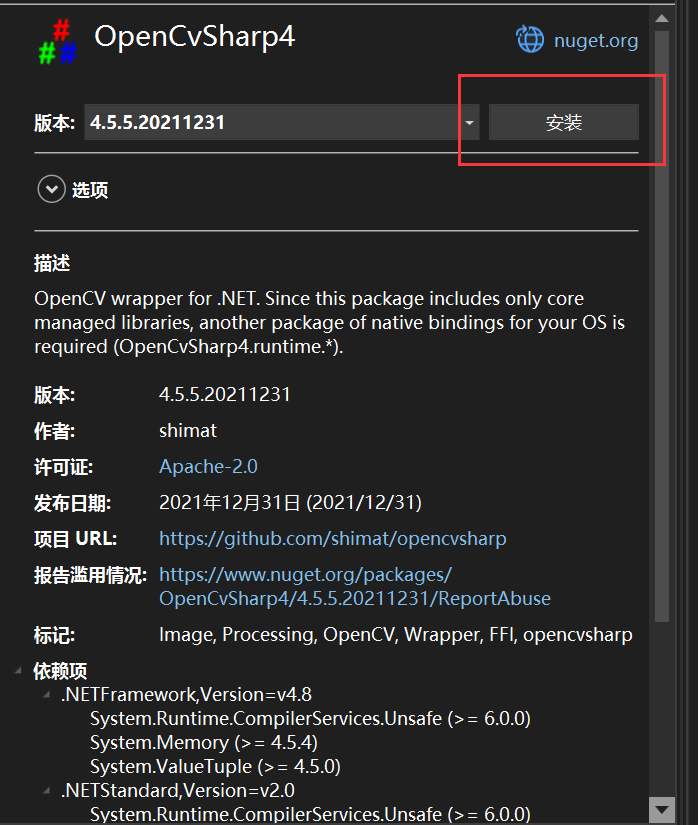


（2）配置OpenCvSharp

右击项目，点击管理NuGet程序包，在出现的页面，点击浏览，在搜索况中输入opencvsharp4，点击搜索后，会看到OpenCvSharp4以及OpenCvSharp4.runtime.win两个程序包。



点击OpenCvSharp4安装包后，在右侧会出现如下页面，点击安装，然后默认选择安装即可。OpenCvSharp4.runtime.win也是默认安装即可。



### OpenVINOTM部署Yolov5模型

（1）引入模型相关信息

string model\_path = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.onnx";

string image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

string input\_node\_name = "images";

string output\_node\_name = "output";

（2）初始化推理核心类

Core core = new Core(model\_path, "CPU");

（3）加载推理图片数据

由于Yolov5模型已经固定输入数据大小，因此此处不需要在设置大小，根据Yolov5模型要求输入，进行图片预处理。

Mat image = new Mat(image\_path);

// 将图片放在矩形背景下

Mat max\_image = Mat.Zeros(new Size(1024, 1024), MatType.CV\_8UC3);

Rect roi = new Rect(0, 0, image.Cols, image.Rows);

image.CopyTo(new Mat(max\_image, roi));

此处通过OpenCvSharp将图片数据读取到内存中，并将图片放置在正方形背景下，后续的其他数据处理会在封装的C++程序中实现，因此此处不需要再做进一步处理。接下来将图片转为矩阵数据，方便数据能在C++与C#之间传输。

byte[] image\_data = new byte[2048 \* 2048 \* 3];

ulong image\_size = new ulong();

image\_data = max\_image.ImEncode(".bmp");

image\_size = Convert.ToUInt64(image\_data.Length);

接下来直接调用load\_input\_data()加载输入数据方法，加载输入数据。

core.load\_input\_data(input\_node\_name, image\_data, image\_size, 1);

（4）模型推理

core.infer();

（5）结果处理

首先是读取输出结果，yolov5模型数据输出为浮点型数据，因此只需要调用read\_infer\_result()方法读取数据即可。

float[] result\_array = core.read\_infer\_result<float>(output\_node\_name, 25200 \* 85);

然后就是处理读取后的数据，在此处我们提供了一个专门针对Yolov5结果处理类，用于处理结果，此处我们只需要调用该类，便可以实现。

ResultYolov5 result = new ResultYolov5();

result.read\_class\_names(lable\_path);

result.factor = (float)(image.Cols > image.Rows ? image.Cols : image.Rows) / (float)640;

Mat result\_image = result.process\_resule(image,result\_array);

最终输出结果为处理完的结果图片。

# TensorRT部署AI模型实现

## TensorRT部署模型C++实现

### TensorRT部署模型基本步骤

经典的一个TensorRT部署模型步骤为：onnx模型转engine、读取本地模型、创建推理引擎、创建推理上下文、创建GPU显存缓冲区、配置输入数据、模型推理以及处理推理结果。

（1）onnx模型转engine

TensorRT支持多种模型文件，不过随着onnx模型的发展，目前多种模型框架都将onnx模型当作中间转换格式，是的该模型结构变得越来越通用，因此TensorRT目前主要在更新的就是针对该模型的转换。TensorRT是可以直接读取engine文件，对于onnx模型需要进行一些列转换配置，转为engine引擎才可以进行后续的推理，因此在进行模型推理前，需要先进行模型的转换。项目中已经提供了转换方法接口，此处不作详细赘述。

（2）读取本地模型

此处读取本地模型为读取上一步保存在本地的engine二进制文件，将模型文件信息读取到内存中。该文件保存了模型的所有信息以及电脑的配置信息，因此该模型文件不支持在不同电脑上使用。

std::ifstream file\_ptr(model\_path\_engine, std::ios::binary);

size\_t size = 0;

file\_ptr.seekg(0, file\_ptr.end); // 将读指针从文件末尾开始移动0个字节

size = file\_ptr.tellg(); // 返回读指针的位置，此时读指针的位置就是文件的字节数

file\_ptr.seekg(0, file\_ptr.beg); // 将读指针从文件开头开始移动0个字节

char\* model\_stream = new char[size];

file\_ptr.read(model\_stream, size);

file\_ptr.close();

（3）创建推理引擎

首先需要初始化日志记录接口类，该类用于创建后续反序列化引擎使用；然后创建反序列化引擎，其主要作用是允许对序列化的功能上不安全的引擎进行反序列化，接下调用反序列化引擎来创建推理引擎，这一步只需要输入上一步中读取的模型文件数据以及长度即可。

// 日志记录接口

Logger logger;

// 反序列化引擎

nvinfer1::IRuntime\* runtime = nvinfer1::createInferRuntime(logger);

// 推理引擎

nvinfer1::ICudaEngine\* engine = runtime->deserializeCudaEngine(model\_stream, size);

（4）创建推理上下文

这里的推理上下文与OpenVINO中的推理请求相似，为后面进行模型推理的类。

nvinfer1::IExecutionContext\* context = engine->createExecutionContext();

（5）创建GPU显存缓冲区

TensorRT是利用英伟达显卡进行模型推理的，但是我们的推理数据以及后续处理数据是在内存中实现的，因此需要创建显存缓冲区，用于输入推理数据以及读取推理结果数据。

// 创建GPU显存缓冲区

void\*\* data\_buffer = new void\* [num\_ionode];

// 创建GPU显存输入缓冲区

int input\_node\_index = engine->getBindingIndex(input\_node\_name);

cudaMalloc(&(data\_buffer[input\_node\_index]), input\_data\_length \* sizeof(float));

// 创建GPU显存输出缓冲区

int output\_node\_index = engine->getBindingIndex(output\_node\_name);

cudaMalloc(&(data\_buffer[output\_node\_index]), output\_data\_length \* sizeof(float));

（6）配置输入数据

配置输入数据时只需要调用cudaMemcpyAsync()方法，便可将cuda流数据加载到与i里模型上。但数据需要根据模型要求进行预处理，除此以外需要将数据结果加入到cuda流中。

// 创建输入cuda流

cudaStream\_t stream;

cudaStreamCreate(&stream);

std::vector<float> input\_data(input\_data\_length);

memcpy(input\_data.data(), BN\_image.ptr<float>(), input\_data\_length \* sizeof(float));

// 输入数据由内存到GPU显存

cudaMemcpyAsync(data\_buffer[input\_node\_index], input\_data.data(), input\_data\_length \* sizeof(float), cudaMemcpyHostToDevice, stream);

（7）模型推理

context->enqueueV2(data\_buffer, stream, nullptr);

（8）处理推理结果

我们最后处理数据是在内存上实现的，首先需要将数据由显存读取到内存中。

float\* result\_array = new float[output\_data\_length];

cudaMemcpyAsync(result\_array, data\_buffer[output\_node\_index], output\_data\_length \* sizeof(float), cudaMemcpyDeviceToHost, stream);

接下来就是根据模型输出结果进行数据处理，不同的模型会有不同的数据处理方式。

### TensorRT部署Yolov5模型

（1）新建C++项目

右击解决方案，选择添加新建项目，添加一个C++空项目，将C++项目命名为：cpp\_tensorrt\_yolov5。进入项目后，右击源文件，选择添加→新建项→C++文件(cpp)，进行的文件的添加。

右击当前项目，进入属性设置，配置TensorRT以及OpenCV的属性。

（2）定义yolov5模型相关信息

const char\* model\_path\_onnx = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.onnx";

const char\* model\_path\_engine = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.engine";

const char\* image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

std::string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

const char\* input\_node\_name = "images";

const char\* output\_node\_name = "output";

int num\_ionode = 2;

（3）读取本地模型信息

std::ifstream file\_ptr(model\_path\_engine, std::ios::binary);

if (!file\_ptr.good()) {

std::cerr << "文件无法打开，请确定文件是否可用！" << std::endl;

}

size\_t size = 0;

file\_ptr.seekg(0, file\_ptr.end); // 将读指针从文件末尾开始移动0个字节

size = file\_ptr.tellg(); // 返回读指针的位置，此时读指针的位置就是文件的字节数

file\_ptr.seekg(0, file\_ptr.beg); // 将读指针从文件开头开始移动0个字节

char\* model\_stream = new char[size];

file\_ptr.read(model\_stream, size);

file\_ptr.close();

（4）初始化推理引擎

在此处我们需要初始化反序列化引擎以及推理引擎，并创建用于推理的上下文。

Logger logger;

// 反序列化引擎

nvinfer1::IRuntime\* runtime = nvinfer1::createInferRuntime(logger);

// 推理引擎

nvinfer1::ICudaEngine\* engine = runtime->deserializeCudaEngine(model\_stream, size);

// 上下文

nvinfer1::IExecutionContext\* context = engine->createExecutionContext();

（5）创建GPU显存缓冲区

GPU显存缓冲区的数量主要与模型的输入输出节点有关，我们在此处只需要按照模型输入输出的节点数量进行设置。

void\*\* data\_buffer = new void\* [num\_ionode];

// 创建GPU显存输入缓冲区

int input\_node\_index = engine->getBindingIndex(input\_node\_name);

nvinfer1::Dims input\_node\_dim = engine->getBindingDimensions(input\_node\_index);

size\_t input\_data\_length = input\_node\_dim.d[1]\* input\_node\_dim.d[2] \* input\_node\_dim.d[3];

cudaMalloc(&(data\_buffer[input\_node\_index]), input\_data\_length \* sizeof(float));

// 创建GPU显存输出缓冲区

int output\_node\_index = engine->getBindingIndex(output\_node\_name);

nvinfer1::Dims output\_node\_dim = engine->getBindingDimensions(output\_node\_index);

size\_t output\_data\_length = output\_node\_dim.d[1] \* output\_node\_dim.d[2] ;

cudaMalloc(&(data\_buffer[output\_node\_index]), output\_data\_length \* sizeof(float));

（6）配置模型输入

首先对输入图片按照模型数据输入要求进行处理，首先是将图片数据复制到正方形背景中，然后交换RGB通道、缩放至指定大小以及归一化处理，在OpenCV中，blobFromImage()方法可以直接实现上述功能。

// 图象预处理 - 格式化操作

cv::Mat image = cv::imread(image\_path);

int max\_side\_length = std::max(image.cols, image.rows);

cv::Mat max\_image = cv::Mat::zeros(cv::Size(max\_side\_length, max\_side\_length), CV\_8UC3);

cv::Rect roi(0, 0, image.cols, image.rows);

image.copyTo(max\_image(roi));

// 将图像归一化，并放缩到指定大小

cv::Size input\_node\_shape(input\_node\_dim.d[2], input\_node\_dim.d[3]);

cv::Mat BN\_image = cv::dnn::blobFromImage(max\_image, 1 / 255.0, input\_node\_shape, cv::Scalar(0, 0, 0), true, false);

接下来创建cuda流，将处理后的数据放置在input\_data容器里；最后直接使用cudaMemcpyAsync()方法，将输入数据输送到显存。

// 创建输入cuda流

cudaStream\_t stream;

cudaStreamCreate(&stream);

std::vector<float> input\_data(input\_data\_length);

memcpy(input\_data.data(), BN\_image.ptr<float>(), input\_data\_length \* sizeof(float));

// 输入数据由内存到GPU显存

cudaMemcpyAsync(data\_buffer[input\_node\_index], input\_data.data(), input\_data\_length \* sizeof(float), cudaMemcpyHostToDevice, stream);

（7）模型推理

context->enqueueV2(data\_buffer, stream, nullptr);

（8）处理推理结果

首先读取推理结果数据，主要是将GPU显存上的推理数据结果赋值到内存上，方便后续对数据的进一步处理。

float\* result\_array = new float[output\_data\_length];

cudaMemcpyAsync(result\_array, data\_buffer[output\_node\_index], output\_data\_length \* sizeof(float), cudaMemcpyDeviceToHost, stream);

接下来就是处理数据，Yolov5输出结果为85x25200大小的数组，其中没85个数据为一组，在该项目中我们提供了专门用于处理yolov5数据结果的结果处理类，因此在此处我们只需要调用该结果类即可：

ResultYolov5 result;

result.factor = max\_side\_length / (float) input\_node\_dim.d[2];

result.read\_class\_names(lable\_path);

cv::Mat result\_image = result.yolov5\_result(image, result\_array);

## TensorRTSharp

### 新建TensorRT接口实现文件

右击解决方案，选择添加新建项目，添加一个C++空项目，将C++项目命名为：cpp\_tensorrt\_api。进入项目后，右击源文件，选择添加→新建项→C++文件(cpp)，进行的文件的添加。具体操作如所示。

### 配置C++项目属性

右击项目，点击属性，进入到属性设置，此处需要设置项目的配置类型包含目录、库目录以及附加依赖项，本次项目选择Release模式下运行，因此以Release情况进行配置。

（1）设置常规属性

进入属性设置后，在最上面，将配置改为Release，平台改为x64。

常规设置下，点击输出目录，将输出位置设置为< $(SolutionDir)dll\_import/tensorrt >，即将生成文件放置在项目文件夹下的dll文件夹下；其次将目标文件名修改为：tensorrtsharp；最后将配置类型改为：动态库(.dll)，让其生成dll文件。

（2）配置附加包

此处需要使用TensorRT与OpenCV两个外部依赖包，因此需要配置相关设置，具体操作方式按照第二章TensorRT配置C++项目与OpenCV配置C++项目部分。

### 编写C++代码

**（1）推理引擎结构体**

Logger是TensorRT工具套件用于创建IBuilder、IRuntime或IRefitter实例的记录器，该类中log()方法未进行实例化，因此需要将其实例化，重写该类中的log()方法。

class Logger : public nvinfer1::ILogger{

void log(Severity severity, const char\* message) noexcept{

if (severity != Severity::kINFO)

std::cout << message << std::endl;

}

} gLogger;

为了实现模型推理能在各个接口中传递推理的相关配置信息，所以将相关重要类或结构体整合到NvinferStruct结构体中，如下：

typedef struct tensorRT\_nvinfer {

Logger logger;

nvinfer1::IRuntime\* runtime;

nvinfer1::ICudaEngine\* engine;

nvinfer1::IExecutionContext\* context;

cudaStream\_t stream;

void\*\* data\_buffer;

} NvinferStruct;

Iruntime为TensorRT反序列化引擎，允许对序列化的功能上不安全的引擎进行反序列化，该类中deserializeCudaEngine()方法可以重构本地保存的模型推理文件；IcudaEngine为创建的网络上执行推理的引擎，保存了网络模型的相关信息； IexecutionContext为用于模型推理的上下文，是最终执行推理类；cudaStream\_t为CUDA stream标志，主要用于后面在GPU显存上传输数据使用；data\_buffer为GPU显存输入/输出缓冲内存位置，用于在显存上读取和输入数据。

**（2）接口方法规划**

TensorRT进行模型推理，一般需要十个步骤，主要是：初始化Logger对象、创建反序列化引擎、读取本地推理模型并初始化推理引擎、创建用于推理上下文、创建GPU显存输入/输出缓冲区、准备输入数据、将输入数据从内存加载到显存、执行推理计算以、从显存读取推理结果到内存和处理推理计算结果。我们根据原有的十个步骤，对步骤进行重新整合，并根据推理步骤，调整方法接口。

对于方法接口，主要设置为：推理引擎初始化、创建GPU显存输入/输出缓冲区、加载图片输入数据到缓冲区、模型推理、读取推理结果数据以及删除内存地址六个接口，目前 TensorRT模型推理接口只允许图片输入，暂不支持其他数据的配置。

**（3）ONNX模型转换**

TensorRT几乎可以支持所有常用的深度学习框架，对于caffe和TensorFlow来说，TensorRT可以直接解析他们的网络模型；对于caffe2，pytorch，mxnet，chainer，CNTK等框架则是首先要将模型转为 ONNX 的通用深度学习模型，然后对ONNX模型做解析。目前TensorRT主要是在更新的是ONNX模型转换，通过内置API将ONNX模型转换为TensorRT可以直接读取的engine文件；engine文件既包含了模型的相关信息，又包含了转换设备的配置信息，因此转换后的engine文件不可以跨设备使用。

模型转换接口方法为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void \_\_stdcall onnx\_to\_engine(const wchar\_t\* onnx\_file\_path\_wchar,

const wchar\_t\* engine\_file\_path\_wchar, int type);

onnx\_file\_path\_wchar为ONNX格式的本地模型地址，engine\_file\_path\_wchar为转换后的模型保存地址，type为模型保存的精度类型，当type = 1时保存为FP16格式，type = 2时保存为INT8格式。

首先创建构建器，用于创建config、network、engine的其他对象的核心类，获取cuda内核目录以获取最快的实现。

nvinfer1::IBuilder\* builder = nvinfer1::createInferBuilder(gLogger);

其次就是将ONNX模型解析为TensorRT网络定义的对象，explicit\_batch为指定与按位或组合的网络属性，network本地定义的网络结构，该结构支持直接读取ONNX网络结构到TensorRT格式。

const auto explicit\_batch = 1U << static\_cast<uint32\_t>(nvinfer1::NetworkDefinitionCreationFlag::kEXPLICIT\_BATCH);

nvinfer1::INetworkDefinition\* network = builder->createNetworkV2(explicit\_batch);

nvonnxparser::IParser\* parser = nvonnxparser::createParser(\*network, gLogger);

parser->parseFromFile(onnx\_file\_path.c\_str(), 2);

接下来就是创建生成器配置对象，config主要需要设置工作空间长度以及模型的精度，此处提供FP16以及INT8格式。

nvinfer1::IBuilderConfig\* config = builder->createBuilderConfig();

config->setMaxWorkspaceSize(16 \* (1 << 20));

if (type == 1) {

config->setFlag(nvinfer1::BuilderFlag::kFP16);

}

if (type == 2) {

config->setFlag(nvinfer1::BuilderFlag::kINT8);

}

在读取完本地模型和配置完成相关设置后，就可以构建模型推理引擎，通过调用builder构建器下的buildEngineWithConfig()方法实现。

nvinfer1::ICudaEngine\* engine = builder->buildEngineWithConfig(\*network, \*config);

此处只需要模型转换，因此接下载将推理引擎转为文件流，保存到本地，后续模型推理时只需要直接读取本地保存的推理引擎文件即可。

nvinfer1::IHostMemory\* model\_stream = engine->serialize();

file\_ptr.write(reinterpret\_cast<const char\*>(model\_stream->data()), model\_stream->size());

最后一步就是销毁前面所创建的地址对象，销毁的时候需要按照创建的先后顺序销毁。

model\_stream->destroy();

engine->destroy();

network->destroy();

parser->destroy();

**（4）初始化推理模型**

TensorRT推理引擎结构体是联系各个方法的桥梁，后续实现模型信息以及配置相关参数进行传递都是在推理引擎结构上实现的，为了实现数据在各个方法之间的传输，因此在创建推理引擎结构体时，采用的是创建结构体指针，并将创建的结构体地址作为函数返回值返回。推理初始化接口主要整合了原有推理的初始化NvinferStruct对象、读取本地推理模型、初始化反序列化引擎、初始化推理引擎、创建上下文以及创建创建GPU数据缓冲区，并将这些步骤所创建的变量放在推理引擎结构体中。

初始化推理模型接口方法为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall nvinfer\_init(const wchar\_t\* engine\_filename\_wchar, int num\_ionode);

该方法返回值为NvinferStruct结构体指针，其中engine\_filename\_wchar为推理模型本地地址字符串指针，在后面使用上述变量时，需要将其转换为string字符串，利用wchar\_to\_string()方法可以实现将其转换为字符串格式：

std::string engine\_filename = wchar\_to\_string(engine\_filename\_wchar);

首先第一步通过文件流方式读取本地模型文件，将模型文件读取到内存中：

std::ifstream file\_ptr(engine\_filename, std::ios::binary);

if (!file\_ptr.good()) {

std::cerr << "文件无法打开，请确定文件是否可用！" << std::endl;

}

size\_t size = 0;

file\_ptr.seekg(0, file\_ptr.end); // 将读指针从文件末尾开始移动0个字节

size = file\_ptr.tellg(); // 返回读指针的位置，此时读指针的位置就是文件的字节数

file\_ptr.seekg(0, file\_ptr.beg); // 将读指针从文件开头开始移动0个字节

char\* model\_stream = new char[size];

file\_ptr.read(model\_stream, size);

// 关闭文件

file\_ptr.close();

其次对模型进行初始化，模型初始化功能主要包括：初始化推理引擎结构体和对结构体里面定义的其他变量进行赋值操作，其主要是NvinferStruct中各个变量进行初始化操作：

NvinferStruct\* p = new NvinferStruct(); // 创建推理核心结构体，初始化变量

p->runtime = nvinfer1::createInferRuntime(gLogger); // 初始化反序列化引擎

p->engine = p->runtime->deserializeCudaEngine(model\_stream, size); // 初始化推理引擎

p->context = p->engine->createExecutionContext(); // 创建上下文

p->data\_buffer = new void\* [num\_ionode]; // 创建gpu数据缓冲区

最后一步就是删除文件流数据，防止出现内存泄漏。

**（5）创建GPU显存输入/输出缓冲区**

TensorRT主要是使用英伟达显卡CUDA在显存上进行模型推理的，因此需要在显存上创建输入输出的缓存区。其创建创建GPU显存输入/输出缓冲区方法接口为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall creat\_gpu\_buffer(void\* nvinfer\_ptr,

const wchar\_t\* node\_name\_wchar, size\_t data\_length);

其中nvinfer\_ptr为NvinferStruct结构体指针，为第一步初始化后返回的指针，在该方法中，只需要重新将其转换为NvinferStruct类型即可：

NvinferStruct\* p = (NvinferStruct\*)nvinfer\_ptr;

node\_name\_wchar为输入或输出节点名字符串，在此处我们只需要配置输入和输出的节点数据缓存区，并利用getBindingIndex()方法获取节点的序号，用于指定缓存区的位置：

const char\* node\_name = wchar\_to\_char(node\_name\_wchar);

int node\_index = p->engine->getBindingIndex(node\_name);

data\_length为缓存区数据的长度，其数据长度为节点数据大小，然后直接调用cudaMalloc()方法创建GPU显存输入/输出缓冲区

cudaMalloc(&(p->data\_buffer[node\_index]), data\_length \* sizeof(float));

**（6）配置图片输入数据**

TensorRT将数据加载到网络输入比较简便，只需要调用cudaMemcpyAsync()方法便可实现，对于此处，我们只设置了图片数据输入的情况，其实现方法接口为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall load\_image\_data(void\* nvinfer\_ptr,

const wchar\_t\* node\_name\_wchar, uchar \* image\_data, size\_t image\_size, int BN\_means)；

该方法返回值是NvinferStruct结构体指针，但该指针所对应的数据中已经包含了加载的图片数据。第一个输入参数nvinfer\_ptr是NvinferStruct指针，在当前方法中，我们要读取该指针，并将其转换为CoreStruct类型；第二个输入参数node\_name\_wchar为待填充节点名，先将其转为char指针，并查询该节点的序列号：

const char\* node\_name = wchar\_to\_char(node\_name\_wchar);

int node\_index = p->engine->getBindingIndex(node\_name);

在该项目中，我们主要使用的是以图片作为模型输入的推理网络，模型主要的输入为图片的输入。其图片数据主要存储在矩阵image\_data和矩阵长度image\_size两个变量中。需要对图片数据进行整合处理，利用创建的data\_to\_mat () 方法，将图片数据读取到OpenCV中：

cv::Mat input\_image = data\_to\_mat(image\_data, image\_size);

接下来就是配置网络图片数据输入，对于节点输入是图片数据的网络节点，其配置网络输入主要分为以下几步：

**首先，获取网络输入图片大小。**

使用engine中的getBindingDimensions ()方法，获取指定网络节点的维度信息，其节点要求输入大小在node\_dim容器中，通过读取得到图片的长宽信息：

nvinfer1::Dims node\_dim = p->engine->getBindingDimensions(node\_index);

int node\_shape\_w = node\_dim.d[2];

int node\_shape\_h = node\_dim.d[3];

cv::Size node\_shape(node\_shape\_w, node\_shape\_h);

size\_t node\_data\_length = node\_shape\_w \* node\_shape\_h;

**其次，按照输入要求，处理输入图片。**

在这一步，我们除了要按照输入大小对图片进行放缩之外，还要对输入数据进行归一化处理。因此处理图片其主要分为交换RGB通道、放缩图片以及对图片进行归一化处理。在此处我们借助OpenCV来实现。

对与数据归一化处理方式，我们在此处提供了两种处理方式，一种是百度飞桨归一化处理方式，另一种为普通数据处理方式，主要通过BN\_means指定实现。对于普通数据处理方式，方式比较简单，OpenCV中有专门的方法可以实现，该方法可以直接实现交换RGB通道、放缩图片以及对图片进行归一化处理，我们通过调用该方式：

BN\_image = cv::dnn::blobFromImage(input\_image, 1 / 255.0, node\_shape, cv::Scalar(0, 0, 0), true, false);

另一种为百度飞桨归一化处理处理方式，第一部需要交换RGB通道

cv::cvtColor(input\_image, input\_image, cv::COLOR\_BGR2RGB);

接下来就是根据网络输入要求，对图片进行压缩处理：

cv::resize(input\_image, BN\_image, node\_shape, 0, 0, cv::INTER\_LINEAR);

最后就是对图片进行归一化处理，其主要处理步骤就是减去图像数值均值，并除以方差。查询PaddlePaddle模型对图片的处理，其均值mean = [0.485, 0.456, 0.406]，方差std = [0.229, 0.224, 0.225]，利用OpenCV中现有函数，对数据进行归一化处理：

std::vector<cv::Mat> rgb\_channels(3);

cv::split(BN\_image, rgb\_channels); // 分离图片数据通道

std::vector<float> mean\_values{ 0.485 \* 255, 0.456 \* 255, 0.406 \* 255 };

std::vector<float> std\_values{ 0.229 \* 255, 0.224 \* 255, 0.225 \* 255 };

for (auto i = 0; i < rgb\_channels.size(); i++) {

rgb\_channels[i].convertTo(rgb\_channels[i], CV\_32FC1, 1.0 / std\_values[i], (0.0 - mean\_values[i]) / std\_values[i]);

}

cv::merge(rgb\_channels, BN\_image);

**最后，将图片数据输入到模型中。**

TensorRT将输入数据加载到显存中需要通过cuda流方式，首先船舰一个异步流，并将输入数据赋值到输入流中：

cudaStreamCreate(&p->stream);

std::vector<float> input\_data(node\_data\_length \* 3);

memcpy(input\_data.data(), BN\_image.ptr<float>(), node\_data\_length \* 3 \* sizeof(float));

然后直接调用cudaMemcpyAsync()方法，将输入数据加载到显存上：

cudaMemcpyAsync(p->data\_buffer[node\_index], input\_data.data(), node\_data\_length \* 3 \* sizeof(float), cudaMemcpyHostToDevice, p->stream);

**（7）模型推理**

上一步中我们将推理内容的数据输入到了网络中，在这一步中，我们需要进行数据推理，实现模型推理的方法接口为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void\* \_\_stdcall infer(void\* nvinfer\_ptr)

进行模型推理，只需要调用NvinferStruct结构体中的context对象中的enqueueV2 ()方法即可：

NvinferStruct\* p = (NvinferStruct\*)nvinfer\_ptr;

p->context->enqueueV2(p->data\_buffer, p->stream, nullptr);

**（8）读取推理数据**

上一步我们对数据进行了推理，这一步就需要查询上一步推理的结果。对于我们所使用的模型输出，主要有float数据，其方法为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void \_\_stdcall read\_infer\_result(void\* nvinfer\_ptr,

const wchar\_t\* node\_name\_wchar, float\* output\_result, size\_t node\_data\_length)；

其中node\_data\_length为读取数据长度，output\_result 为输出数组指针。读取推理结果数据与加载推理数据方式相似，主要是将显存上数据赋值到内存上。首先需要获取输入节点的索引值：

const char\* node\_name = wchar\_to\_char(node\_name\_wchar);

int node\_index = p->engine->getBindingIndex(node\_name);

接下来在本地创建内存放置结果数据，然后调用cudaMemcpyAsync()方法，将显存上数据赋值到内存上：

std::vector<float> output\_data(node\_data\_length \* 3);

cudaMemcpyAsync(output\_data.data(), p->data\_buffer[node\_index], node\_data\_length \* sizeof(float), cudaMemcpyDeviceToHost, p->stream);

将数据读取出来后，将其放在数据结果指针中，并将所有结果赋值到输出数组中：

for (int i = 0; i < node\_data\_length; i++) {

\*output\_result = output\_data[i];

output\_result++;

}

**（8）删除推理核心结构体指针**

推理完成后，我们需要将在内存中创建的推理核心结构地址删除，防止造成内存泄露，影响电脑性能，其接口该方法为：

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void \_\_stdcall nvinfer\_delete(void\* nvinfer\_ptr);

在该方法中，我们只需要调用delete命令，将结构体指针删除即可。

### 编写模块定义文件

在模块定义文件中，添加以下代码：

LIBRARY

"tensorrtsharp"

EXPORTS

onnx\_to\_engine

nvinfer\_init

creat\_gpu\_buffer

load\_image\_data

infer

read\_infer\_result

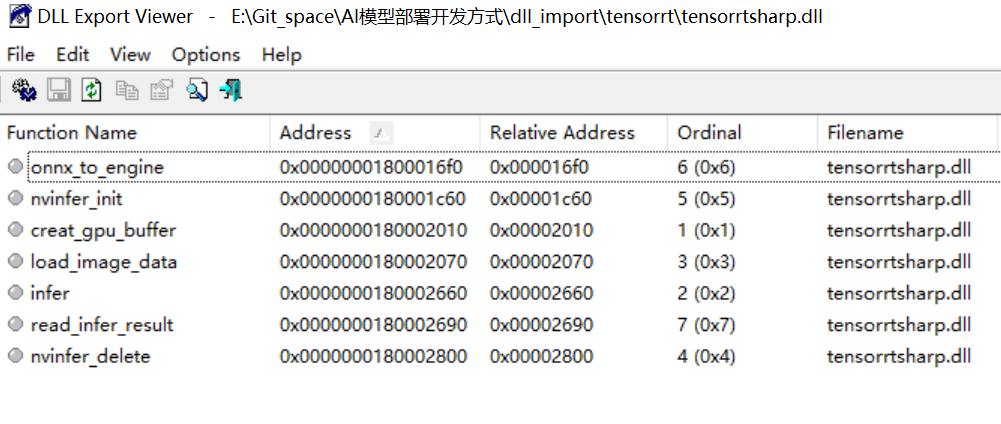
nvinfer\_delete

LIBRARY后所跟的为输出文件名，EXPORTS后所跟的为输出方法名。仅需要以上语句便可以替代extern "C" 、 \_\_declspec(dllexport) 以及\_\_stdcall的使用。

### 生成dll文件

前面我们将项目配置输出设置为了生成dll文件，因此该项目不是可以执行的exe文件，只能生成不能运行。右键项目，选择重新生成/生成。在没有错误的情况下，会看到项目成功的提示。可以看到dll文件在解决方案同级目录下\x64\Release\文件夹下。

使用dll文件查看器打开dll文件，如图1- 11所示；可以看到，我们创建的四个方法接口已经暴露在dll文件中。



tensorrt.dll文件方法输出目录

## C#构建Nvinfer类

### 新建C#类库

右击解决方案，添加->新建项目，选择添加C#类库，项目名命名为csharp\_tensorrt\_class，项目框架根据电脑中的框架选择，此处使用的是.NET 5.0。新建完成后，然后右击项目，选择添加->新建项，选择类文件，添加Nvinfer.cs和NativeMethods.cs两个类文件。

### 引入dll文件中的方法

在NativeMethods.cs文件下，我们通过[DllImport()]方法，将dll文件中所有的方法读取到C#中。模型转换方法读取方式如下：

[DllImport(tensorrt\_dll\_path, CharSet = CharSet.Unicode, CallingConvention = CallingConvention.Cdecl)]

public extern static void onnx\_to\_engine(string onnx\_file\_path, string engine\_file\_path, int type);

其中openvino\_dll\_path为dll文件路径，CharSet = CharSet.Unicode代表支持中文编码格式字符串，CallingConvention = CallingConvention.Cdecl指示入口点的调用约定为调用方清理堆栈。

上述所列出的为初始化推理模型，dlii文件接口在匹配时，是通过方法名字匹配的，因此，方法名要保证与dll文件中一致。其次就是方法的参数类型要进行对应，在上述方法中，函数的返回值在C++中为void\* ，在C#中对应的为IntPtr类型，输入参数中，在C++中为wchar\_t\* 字符指针，在C#中对应的为string字符串。通过方法名与参数类型一一对应，在C#可以实现对方法的调用。其他方法在C#重写后如下：

// 读取本地engine模型，并初始化NvinferStruct

public extern static IntPtr nvinfer\_init(string engine\_filename, int num\_ionode);

// 创建GPU显存输入/输出缓冲区

public extern static IntPtr creat\_gpu\_buffer(IntPtr nvinfer\_ptr, string node\_name, ulong data\_length);

// 加载图片输入数据到缓冲区

public extern static IntPtr load\_image\_data(IntPtr nvinfer\_ptr, string node\_name, ref byte image\_data, ulong image\_size, int BN\_means);

// 模型推理

public extern static IntPtr infer(IntPtr nvinfer\_ptr);

// 读取推理数据

public extern static void read\_infer\_result(IntPtr nvinfer\_ptr, string node\_name\_wchar, ref float result, ulong data\_length);

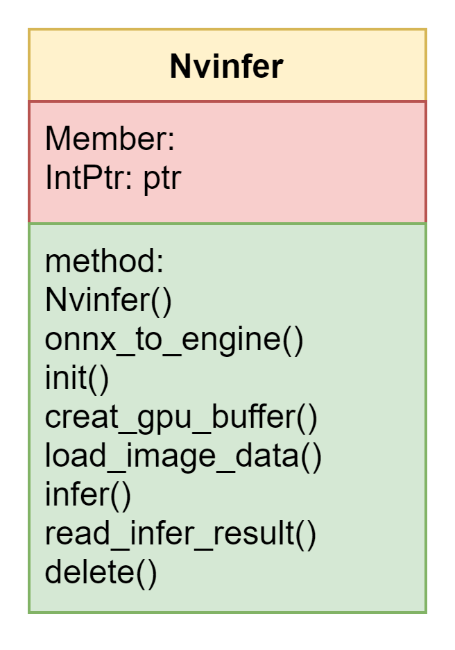
// 删除内存地址

public extern static void nvinfer\_delete(IntPtr nvinfer\_ptr);

### 创建Nvinfer类

为了更方便地调用我们通过dll引入的TensorRT 方法，减少使用时的函数方法接口，我们在C#中重新组建我们自己的推理类，命名为Class Nvinfer，其主要成员变量和方法如所示。

public class Nvinfer{}



Nvinfer类图

在Nvinfer类中，我们只需要创建一个地址变量，作为Nvinfer类的成员变量，用于接收接口函数返回的推理核心指针，该成员变量我们只需要在当前类下访问，因此将其设置为私有变量：

private IntPtr ptr = new IntPtr();

首先封装模型转换方法onnx\_to\_engine()，该方法主要用于将onnx模型转为engine格式，因为engine为基于本机配置转换的推理模型文件，因此该模型文件不具备通用性，需要自行转换。在该方法中，只需要输入本地onnx模型文件、转换后的engine本地保存路径以及转换后的模型精度类型，通过调用重写的NativeMethods.onnx\_to\_engine()方法即可。

public void onnx\_to\_engine(string onnx\_file\_path, string engine\_file\_path, AccuracyFlag type){

NativeMethods.onnx\_to\_engine(onnx\_file\_path, engine\_file\_path, (int)type);

}

接下来，构建推理模型初始化方法init()，我们只需要输入engine模型文件路径地址以及输入输出节点数量即可，然后调用NativeMethods.nvinfer\_init()方法，该方法可以实现本地读取engine模型，并初始化推理引擎结构体中的相关下成员变量。

public void init(string engine\_filename, int num\_ionode){

ptr = NativeMethods.nvinfer\_init(engine\_filename, num\_ionode);

}

creat\_gpu\_buffer()主要实现在GPU显存创建输入/输出缓冲区，此处需要指定输入/输出节点名以及输入输出节点数据大小。

public void creat\_gpu\_buffer(string node\_name, ulong data\_length){

ptr = NativeMethods.creat\_gpu\_buffer(ptr, node\_name, data\_length);

}

load\_image\_data()该方法主要是是将带推理数据加载到推理模型中，该方法输入图片数据为转为矩阵的图片数据，方便图片数据在C++与C#之间进行传递，该方法中已经包括了图片数据预处理等步骤，因此在此处我们不需要再进行数据预处理。

public void load\_image\_data(string node\_name, byte[] image\_data, ulong image\_size, BNFlag BN\_means){

ptr = NativeMethods.load\_image\_data(ptr, node\_name, ref image\_data[0], image\_size, (int)BN\_means);

}

infer()步骤主要是调用模型推理方法将配置好的数据进行模型推理。

public void infer(){

ptr = NativeMethods.infer(ptr);

}

read\_infer\_result()主要实现了模型推理后推理结果数据的读取，目前对于结果的数据类型只支持浮点型数据的读取，后续如果有其他数据读取的要求，会根据需求进行更改。

public float[] read\_infer\_result(string node\_name\_wchar,ulong data\_length){

float[] result = new float[data\_length];

NativeMethods.read\_infer\_result(ptr, node\_name\_wchar, ref result[0], data\_length);

return result;

}

最后一步主要实现对内存数据的删除，放置占用太多的内存导致内存泄露。

public void delete(){

NativeMethods.nvinfer\_delete(ptr);

}

### 编译Nvinfer类库

右击项目，点击生成/重新生成，出现如下所示，表示编译成功。

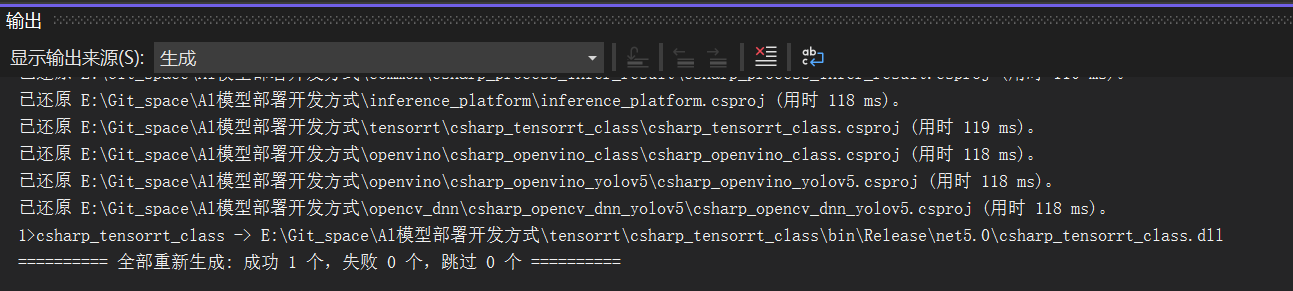


图1- 6 Core类编译输出

## TensorRT部署模型C#实现

### C#项目配置

在该项目中，我们需要添加csharp\_tensorrt\_class项目引用，以及OpenCvsharp程序包，具体操作方式参考OpenVINOTM部署模型C#实现——C#项目配置。

### TensorRT部署Yolov5模型

（1）引入模型相关信息

string engine\_path = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s1.engine";

string image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

string input\_node\_name = "images";

string output\_node\_name = "output";

（2）初始化推理核心类

由于有些情况下我们需要先一步进行模型转换，所以不能再模型初始化的时候直接读取转换好的模型文件，所以在此处多加一步进行模型的初始化。

// 创建模型推理类

Nvinfer nvinfer = new Nvinfer();

// 读取模型信息

nvinfer.init(engine\_path, 2);

（3）配置输入输出gpu缓存区

在此处我们分别创建输入与输出节点的缓存区，并且需要指定输入与输出数据的数据长度。

nvinfer.creat\_gpu\_buffer(input\_node\_name, 640 \* 640 \* 3);

nvinfer.creat\_gpu\_buffer(output\_node\_name, 25200 \* 85);

（4）加载推理图片数据

由于Yolov5模型已经固定输入数据大小，因此此处不需要在设置大小，根据Yolov5模型要求输入，进行图片预处理。

Mat image = new Mat(image\_path);

// 将图片放在矩形背景下

Mat max\_image = Mat.Zeros(new Size(1024, 1024), MatType.CV\_8UC3);

Rect roi = new Rect(0, 0, image.Cols, image.Rows);

image.CopyTo(new Mat(max\_image, roi));

此处通过OpenCvSharp将图片数据读取到内存中，并将图片放置在正方形背景下，后续的其他数据处理会在封装的C++程序中实现，因此此处不需要再做进一步处理。接下来将图片转为矩阵数据，方便数据能在C++与C#之间传输。

byte[] image\_data = new byte[2048 \* 2048 \* 3];

ulong image\_size = new ulong();

image\_data = max\_image.ImEncode(".bmp");

image\_size = Convert.ToUInt64(image\_data.Length);

接下来直接调用load\_image\_data ()加载输入数据方法，加载输入数据。

nvinfer.load\_image\_data(input\_node\_name, image\_data, image\_size, BNFlag.Normal);

（5）模型推理

nvinfer.infer();

（6）结果处理

首先是读取输出结果，yolov5模型数据输出为浮点型数据，因此只需要调用read\_infer\_result()方法读取数据即可。

float[] result\_array = nvinfer.read\_infer\_result(output\_node\_name, 25200 \* 85);

然后就是处理读取后的数据，在此处我们提供了一个专门针对Yolov5结果处理类，用于处理结果，此处我们只需要调用该类，便可以实现。

ResultYolov5 result = new ResultYolov5();

result.read\_class\_names(lable\_path);

result.factor = (float)(image.Cols > image.Rows ? image.Cols : image.Rows) / (float)640;

Mat result\_image = result.process\_resule(image,result\_array);

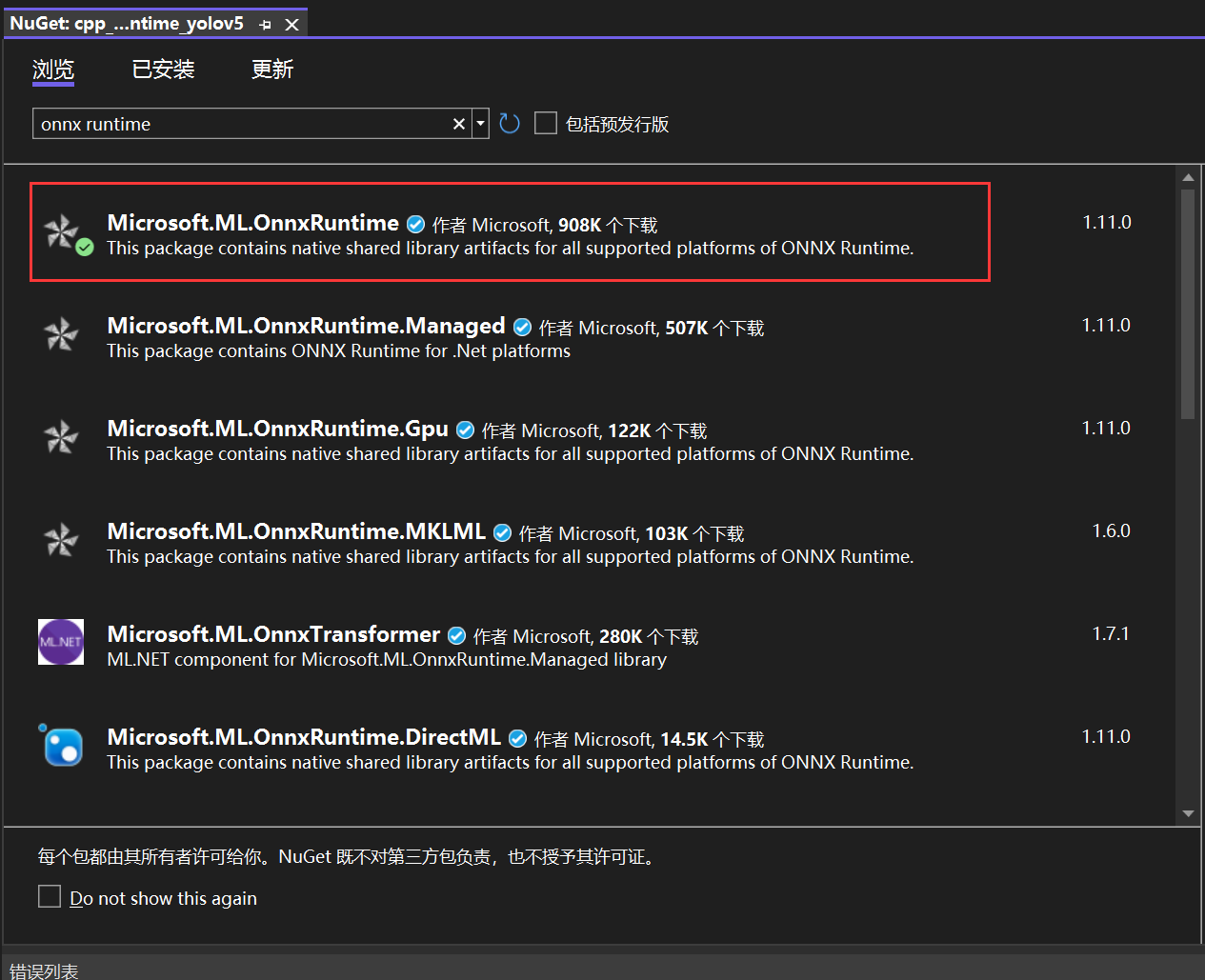
最终输出结果为处理完的结果图片。

# ONNX runtime部署AI模型实现

## ONNX runtime部署模型C++实现

### 部署工具配置

右击项目，点击管理NuGet程序包，在出现的页面，点击浏览，在搜索况中输入onnx runtime，点击搜索后，会看到Microsoft.ML.OnnxRuntime程序包。



点击该程序包，会看到下图所示的程序包信息，点击安装，将程序包安装到该项目下。



该程序包头文件为：<onnxruntime\_cxx\_api.h>，命名空间为Ort。

### 部署Yolov5模型

（1）引入模型的相关信息

const char\* model\_path\_onnx = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.onnx";

const char\* image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

std::string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

const char\* input\_node\_name = "images";

const char\* output\_node\_name = "output";

（2）设置推理环境

// 推理环境设置

Ort::Env env(ORT\_LOGGING\_LEVEL\_VERBOSE, "OnnxModel");

// 设置推理会话

Ort::SessionOptions session\_options;

// 设置线程数，使用1个线程执行，若想提升速度，增加线程数

session\_options.SetIntraOpNumThreads(1);

session\_options.SetGraphOptimizationLevel(GraphOptimizationLevel::ORT\_ENABLE\_ALL);

（3）初始化本地模型

初始化推理类，并直接读取本地模型。

Ort::Session session(env, multiByteToWideChar(model\_path\_onnx), session\_options);

（4）配置模型输入信息

首先将输入输出节点放置到vector容器中；

// 输入/输出名字容器

// 将名字放在容器中输入数据时会更方便

std::vector<const char\*> input\_names{ input\_node\_name };

std::vector<const char\*> output\_names = { output\_node\_name };

接下来获取模型输入与输出的节点形状信息；

auto input\_dims = session.GetInputTypeInfo(0).GetTensorTypeAndShapeInfo().GetShape();

auto output\_dims = session.GetOutputTypeInfo(0).GetTensorTypeAndShapeInfo().GetShape();

0为输入输出的节点序号，可以通过以下方法获取输出与输入节点数量；

size\_t num\_input\_nodes = session.GetInputCount();

size\_t num\_output\_nodes = session.GetOutputCount();

查询玩数量后，通过下面方式查询对应输出节点；

Ort::AllocatorWithDefaultOptions allocator;

const char\* input\_name = session.GetInputName(0, allocator);

const char\* output\_name = session.GetOutputName(0, allocator);

然后就是按照模型输入要求与处理数据，数据处理的方式与前面测试模型时处理方式基本相似；

cv::Mat image = cv::imread(image\_path);

//将图片的放入到方型背景中

int max\_side\_length = std::max(image.cols, image.rows);

cv::Mat max\_image = cv::Mat::zeros(cv::Size(max\_side\_length, max\_side\_length), CV\_8UC3);

cv::Rect roi(0, 0, image.cols, image.rows);

image.copyTo(max\_image(roi));

// 将图像归一化，转换RGB通道，并放缩到指定大小

cv::Mat normal\_image = cv::dnn::blobFromImage(max\_image, 1 / 255.0,

cv::Size(input\_dims[2], input\_dims[3]), cv::Scalar(0, 0, 0), true, false);

最后是将数据转化为模型输入类型。ONNX runtime要求的数据类型为Ort::Value类型，该型数据可以通过CreateTensor()进行创建。

Ort::MemoryInfo memory\_info = Ort::MemoryInfo::CreateCpu(OrtAllocatorType::OrtArenaAllocator,

OrtMemType::OrtMemTypeDefault);

// 创建输入数据容器

std::vector<Ort::Value> input\_tensors;

// 将输入数据加载到容器中

input\_tensors.emplace\_back(Ort::Value::CreateTensor<float>(memory\_info, normal\_image.ptr<float>(),

normal\_image.total(), input\_dims.data(), input\_dims.size()));

（5）模型推理

ONNX runtime加载输入数据、模型推理以及读取推理结果数据合并在了一步中，通过以下方法进行实现：

std::vector<Ort::Value> output\_tensors = session.Run(Ort::RunOptions{ nullptr }, input\_names.data(),

input\_tensors.data(), input\_names.size(), output\_names.data(), output\_names.size());

（6）推理结果处理

上一步我们读取出来的数据为Ort::Value数据类型，我们首先将其转化为普通的数组类型，然后再做进一步处理。

float\* result\_array = output\_tensors[0].GetTensorMutableData<float>();

接下来直接调用Yolov5结果处理类，进行最后的结果处理。

ResultYolov5 result;

result.factor = max\_side\_length / (float)640;

result.read\_class\_names(lable\_path);

// 处理输出结果

cv::Mat result\_image = result.yolov5\_result(image, result\_array);

## ONNX runtime部署模型C#实现

### C#环境设置

ONNX runtime环境设置与C++中实现一致，都是通过NuGet程序包安装，具体可以参考上一步中C++环境配置；除此以外，此处我们还需要使用OpenCvsharp，所以还需要安装OpenCvsharp4.

### 部署Yolov5模型

（1）引入模型相关信息

string model\_path = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.onnx";

string image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

string input\_node\_name = "images";

string output\_node\_name = "output";

（2）创建会话与基本环境设置

SessionOptions options = new SessionOptions();

options.LogSeverityLevel = OrtLoggingLevel.ORT\_LOGGING\_LEVEL\_INFO;

// 设置为CPU上运行

options.AppendExecutionProvider\_CPU(0);

（3）初始化模型推理

InferenceSession onnx\_session = new InferenceSession(model\_path, options);

（4）配置模型输入

首先是预处理数据，在此处我们先进行数据的除归一化之外其他预处理，将归一化放在创建推理数据中。

Mat image = new Mat(image\_path);

// 将图片放在矩形背景下

Mat max\_image = Mat.Zeros(new Size(1024, 1024), MatType.CV\_8UC3);

Rect roi = new Rect(0, 0, image.Cols, image.Rows);

image.CopyTo(new Mat(max\_image, roi));

// 将图片转为RGB通道

Mat image\_rgb = new Mat();

Cv2.CvtColor(max\_image, image\_rgb, ColorConversionCodes.BGR2RGB);

Mat resize\_image = new Mat();

Cv2.Resize(image\_rgb, resize\_image, new Size(640, 640));

创建Tensor数据，Tensor为ONNX runtime模型推理的数据类型，此处如果是多输入的模型，就要分开创建。

Tensor<float> input\_tensor = new DenseTensor<float>(new[] { 1, 3, 640, 640 });

for (int y = 0; y < resize\_image.Height; y++){

for (int x = 0; x < resize\_image.Width; x++) {

input\_tensor[0, 0, y, x] = resize\_image.At<Vec3b>(y, x)[0] / 255f;

input\_tensor[0, 1, y, x] = resize\_image.At<Vec3b>(y, x)[1] / 255f;

input\_tensor[0, 2, y, x] = resize\_image.At<Vec3b>(y, x)[2] / 255f;

}

}

最后就是创建输入容器，然后将输入数据放置在输入容器中，并制定输入节点名称，此处是通过节点名称指定节点输入的。

List<NamedOnnxValue> input\_ontainer = new List<NamedOnnxValue>();

input\_ontainer.Add(NamedOnnxValue.CreateFromTensor(input\_node\_name, input\_tensor));

（5）模型推理

IDisposableReadOnlyCollection<DisposableNamedOnnxValue> result\_infer = onnx\_session.Run(input\_ontainer);

（6）读取模型结果

上一步我们在模型推理时已经将结果数据放在了result\_infer中，不过该数据类型我们不能直接读取使用，通过以下转换，将其转为float数组。

DisposableNamedOnnxValue[] results\_array = result\_infer.ToArray();

// 读取第一个节点输出并转为Tensor数据

Tensor<float> tensors = results\_array[0].AsTensor<float>();

// 将数据转为float数组

float[] result\_array = tensors.ToArray();

然后就是处理读取后的数据，在此处我们提供了一个专门针对Yolov5结果处理类，用于处理结果，此处我们只需要调用该类，便可以实现。

ResultYolov5 result = new ResultYolov5();

result.read\_class\_names(lable\_path);

result.factor = (float)(image.Cols > image.Rows ? image.Cols : image.Rows) / (float)640;

Mat result\_image = result.process\_resule(image,result\_array);

最终输出结果为处理完的结果图片。

# OpenCV Dnn部署AI模型实现

## OpenCV Dnn部署模型C++实现

### C++环境配置

OpenCV Dnn为OpenCV下的一个用于部署深度学习模型的库，配置OpenCV的时候已经引入了Dnn的库。

### 部署Yolov5模型

（1）引入模型相关信息

const char\* model\_path\_onnx = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.onnx";

const char\* model\_path\_engine = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.engine";

const char\* image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

std::string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

const char\* input\_node\_name = "images";

const char\* output\_node\_name = "output";

（2）初始化网络、读取本地模型信息

OpenCV Dnn支持多种模型格式文件的读取，针对不同的模型使用不同的读取方法。

cv::dnn::Net net = cv::dnn::readNetFromONNX(model\_path\_onnx);

（3）配置模型输入

此处的模型输入数据处理与前面相似，不在做过多解释

// 图象预处理 - 格式化操作

cv::Mat image = cv::imread(image\_path);

// 将图片数据放置在方形背景上

int max\_side\_length = std::max(image.cols, image.rows);

cv::Mat max\_image = cv::Mat::zeros(cv::Size(max\_side\_length, max\_side\_length), CV\_8UC3);

cv::Rect roi(0, 0, image.cols, image.rows);

image.copyTo(max\_image(roi));

// 将图像归一化，并放缩到指定大小

cv::Size input\_node\_shape(640, 640);

cv::Mat BN\_image = cv::dnn::blobFromImage(max\_image, 1 / 255.0, input\_node\_shape, cv::Scalar(0, 0, 0), true, false);

接下来就是将处理完的数据加载到模型上，只需要调用setInput()方法即可，该方法可以指定模型名字进行数据加载。

net.setInput(BN\_image, input\_node\_name);

（4）模型推理

cv::Mat result\_mat= net.forward();

（5）推理结果处理

上一步在模型推理后，已将将推理结果存储到Mat数据中，我们首先将Mat数据转为数组数据。

float\* result\_array = (float\*)result\_mat.data;

接下来直接调用Yolov5结果处理类，进行最后的结果处理。

ResultYolov5 result;

result.factor = max\_side\_length / (float)640;

result.read\_class\_names(lable\_path);

// 处理输出结果

cv::Mat result\_image = result.yolov5\_result(image, result\_array);

## OpenCV Dnn部署模型C++实现

### C++环境配置

OpenCV Dnn为OpenCV下的一个用于部署深度学习模型的库，所以在此处只需要通过NuGet功能，安装OpenCvSharp4即可。

### 部署Yolov5模型

（1）引入模型相关信息

string model\_path = "E:/Text\_Model/yolov5/yolov5s.onnx";

string image\_path = "E:/Text\_dataset/YOLOv5/0001.jpg";

string lable\_path = "E:/Git\_space/Al模型部署开发方式/model/yolov5/lable.txt";

string input\_node\_name = "images";

string output\_node\_name = "output";

（2）初始化网络、读取本地模型信息

OpenCV Dnn支持多种模型格式文件的读取，针对不同的模型使用不同的读取方法。

Net net = CvDnn.ReadNetFromOnnx(model\_path);

（3）配置模型输入

此处的模型输入数据处理与前面相似，不在做过多解释

Mat image = new Mat(image\_path);

// 将图片放在矩形背景下

Mat max\_image = Mat.Zeros(new Size(1024, 1024), MatType.CV\_8UC3);

Rect roi = new Rect(0, 0, image.Cols, image.Rows);

image.CopyTo(new Mat(max\_image, roi));

// 数据归一化处理

Mat BN\_image = CvDnn.BlobFromImage(max\_image, 1 / 255.0, new Size(640, 640), new Scalar(0, 0, 0), true, false);

接下来就是将处理完的数据加载到模型上，只需要调用setInput()方法即可，该方法可以指定模型名字进行数据加载。

net.SetInput(BN\_image);

（4）模型推理

Mat result\_mat = net.Forward();

（5）推理结果处理

上一步在模型推理后，已将将推理结果存储到Mat数据中，我们首先将Mat数据转为数组数据。

Mat result\_mat\_to\_float = new Mat(25200, 85, MatType.CV\_32F, result\_mat.Data);

float[] result\_array = new float[result\_mat.Cols\* result\_mat.Rows];

接下来直接调用Yolov5结果处理类，进行最后的结果处理。

ResultYolov5 result = new ResultYolov5();

// 读取本地模型类别信息

result.read\_class\_names(lable\_path);

// 图片加载缩放比例

result.factor = (float)(image.Cols > image.Rows ? image.Cols : image.Rows) / (float)640;

// 处理输出数据

Mat result\_image = result.process\_resule(image, result\_array);

# AI模型部署平台软件开发

## 8.1 Winform环境搭建

# AI模型部署平台对比

## 基本信息对比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | OpenVINO | TensorRT | ONNX runtime | OpenCV Dnn |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

## API接口对比

## 推理时间对比

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试环境 | 部署平台 | 程序各过程运行时间/(ms) | | | |
| 总时间 | 前处理 | 推理运算 | 后处理 |
| Shape：[1, 3, 224 ,224]  Net：ResNet50 CPU：AMD R7 5800H  GPU：RTX 3060 | OpenVINO | 313.20 | 288.20 | 24.56 | 0.44 |
| TensorRT | 67.23 | 56.46 | 6.38 | 4.39 |
| ONNX runtime | 321.65 | 290.02 | 31.25 | 0.37 |
| OpenCV Dnn | 257.86 | 153.13 | 104.06 | 0.66 |
| Shape：[1, 3, 640 ,640]  Net：Yolov5 CPU：AMD R7 5800H  GPU：RTX 3060 | OpenVINO | 212.47 | 150.73 | 56.47 | 5.26 |
| TensorRT | 90.38 | 51.84 | 22.81 | 15.72 |
| ONNX runtime | 229.57 | 63.66 | 162.25 | 3.65 |
| OpenCV Dnn | 180.52 | 43.47 | 132.39 | 4.66 |

# 模型量化实现

## 模型量化

这些年来，深度学习在众多领域的表现使其成为了如今机器学习的主流方向，但其巨大的计算量严重影响了模型推理的速度；并且随着越来越多基于深度神经网络在端侧上的智能应用，深度神经网络巨大计算量成为了部署模型时的巨大挑战。究其原因，主要是模型训练时为了保证较高的精度，大部分的运算都是采用浮点型进行计算，常见的是32位浮点型和64位浮点型，即float32和double64。但模型推理没有反向传播，网络中存在很多不重要的参数，或者并不需要太细的精度来表示它们。为了弥补端侧智能应用的算力需求与端侧的算力能力的鸿沟，近几年来模型压缩成为了业界的热点之一。而模型量化属于非常实用的模型压缩技术，并且当前已经在工业界发展非常成熟。

模型量化就是将训练好的深度神经网络的权值、激活值等从高精度转化成低精度的操作过程，例如将32位浮点数转化成8位整型数int8，同时我们转换后的模型准确率与转化前相近。在经过模型量化后，可以减少内存和存储占用，降低功耗以及提升运算速度。

## ResNet50量化OpenVINOTM实现

OpenVINOTM提供了专门的模型量化工具pot工具包，以及模型精度检查工具accuracy\_checker工具包，不过该工具包在使用时会出现一些问题，所以我们在此处结合OpenVINOTM官方提供的案例，实现ResNet50量化。

### 模型转换

如果我们拿到的模型为onnx格式，我们首先要将模型转为IR格式才可以进行下一步，使用的mo工具就可以实现。

首先打开openvino虚拟环境，切换到tools目录下

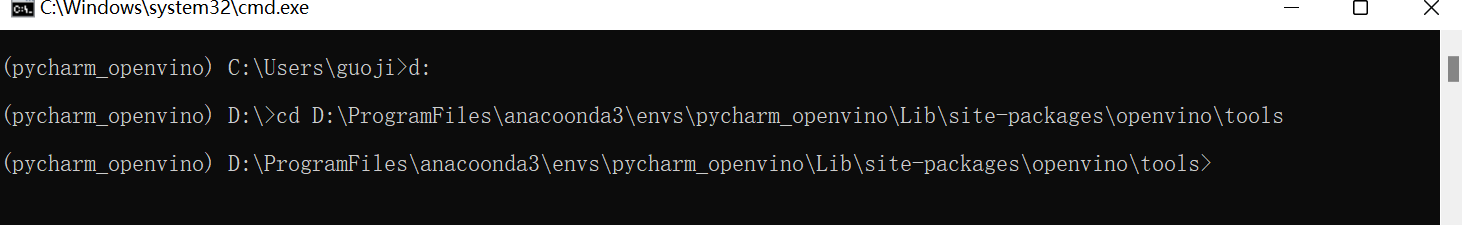


图10- 1 命令运行窗口

接下来输入以下命令：

mo --framework**=**onnx --data\_type**=**FP16 --input\_shape**=[**1,3,224,224**]**

-m E:\Text\_Model\flowerclas20220427\flower\_clas.onnx

--output\_dir E:\Text\_Model\flowerclas20220427

其中framework指的是输入模型格式为onnx格式，data\_type指的是模型输出精度，-m指的是输入模型的路径地址，output\_dir指的是输出模型位置

运行最后输出如图10- 2所示，在指定文件夹中可以查看到转换成功的对应文件。

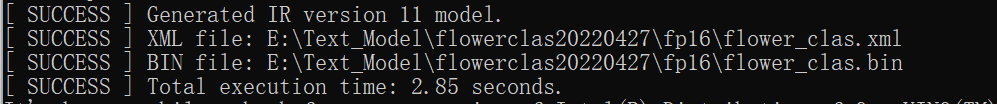


图10- 2 IR模型转换结果

### 数据集读取类

本次转换过程通过python实现，首先我们先编写本地数据集读取以及预处理类，新建dataloader.py文件。

首先引入相关程序包：

from openvino.tools.pot.api import DataLoader, Metric

import cv2

然后定义数据集加载类：

class DataLoader(DataLoader):

接下来定义一下相关的初始化函数：

def \_\_init\_\_(self, config):

path = config['data\_path']

file = config['data\_file']

self.indexes, self.pictures, self.labels = self.load\_data(path,file)

def \_\_len\_\_(self):

return len(self.labels)

def \_\_getitem\_\_(self, index):

if index >= len(self):

raise IndexError

return (self.indexes[index], self.labels[index]), self.pictures[index]

主要是初始化函数，初始化函数返回的值为序列号、图片数据以及图片标签列表，主要通过调用load\_data()成员方法实现。load\_data()成员方法为：

def load\_data(self, path,file):

pictures, pictures\_path, labels, indexes = [], [], [],[]

with open(path+file, 'r') as f:

for line in f:

line = line.split()

pictures\_path.append(line[0])

labels.append(int(line[1]))

       idx = 0

       for pic\_path in pictures\_path:

          src = cv2.imread(path+pic\_path)

          image = cv2.cvtColor(src, cv2.COLOR\_BGR2RGB)

          image = image/255.0

          image -= [0.485, 0.456, 0.406]

          image /= [0.229, 0.224, 0.225]

          image = cv2.resize(image, (224, 224), interpolation=cv2.INTER\_AREA)  # [82 202 255]>[51 228 254]

           image = image.transpose(2, 0, 1)

           pictures.append(image)

           indexes.append(idx)

           idx = idx+1

       return indexes, pictures, labels

该方法主要是s