

# 团 体 标 准

T/CESA 1230—2022

## 工业 AI 视觉外观检测系统通用技术规范

General technical specifications for industrial AI visual appearance inspection system

2022-11-30 发布

2022-11-30 实施





版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

# 目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	2
5 基本结构.....	3
5.1 概述.....	3
5.2 图像采集模块.....	3
5.3 AI 图像处理平台.....	3
5.4 结果输出模块.....	3
5.5 运维管理模块.....	3
6 功能要求.....	4
6.1 图像采集模块.....	4
6.2 AI 图像处理平台.....	4
6.3 结果输出模块.....	5
6.4 运维管理模块.....	5
7 性能要求.....	5
7.1 系统检测速度.....	5
7.2 系统检测精度.....	5
7.3 稼动率.....	6
7.4 成像一致性.....	6
8 测试方法.....	6
8.1 功能测试.....	6
8.2 性能测试.....	7
附录 A（规范性）缺陷定位准确率计算方法.....	10

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电子技术标准化研究院提出。

本文件由中国电子技术标准化研究院、中国电子工业标准化技术协会归口。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、腾讯云计算（北京）有限责任公司、北京旷视科技有限公司、华为技术有限公司、浙江大华技术股份有限公司、上海计算机软件技术开发中心、杭州海康机器人技术有限公司、上海依图网络科技有限公司、美的集团（上海）有限公司、上海云从企业发展有限公司、国网综合能源服务集团有限公司、国网江苏省电力有限公司、中科视语（北京）科技有限公司、北京思谋智能科技有限公司、上海燧原科技有限公司。

本文件主要起草人：董建、徐洋、马珊珊、汪铨杰、王亚彪、刘永、刘俊、徐永太、付英波、董晓超、杨滔、刘佳、于琦、方贵明、孔维生、曲翔宇、陈敏刚、丁敏捷、张驰、赵春昊、孙智宇、唐剑、李军、温浩、李娜、廖双乐、蒋承伶、周游、王金桥、朱贵波、刘枢、梅敬青。



# 工业 AI 视觉外观检测系统通用技术规范

## 1 范围

本文件规定了工业AI视觉外观检测系统的基本结构、功能和性能要求，描述了对应的测试方法。本文件适用于工业领域利用AI视觉检测系统实现产品外观缺陷检测的规划、设计、实施和检测。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**工业 AI 视觉外观检测系统** industrial AI vision appearance inspection system

应用人工智能技术，以图像视觉算法为判断方法，用于检测工业生产的产品外观质量是否合格的检测设备。

### 3.2

**正检** true positive

对有外观缺陷产品，识别为有外观缺陷的检测结果。

### 3.3

**误检** false positive

对无外观缺陷产品，识别为有外观缺陷的检测结果。

### 3.4

**漏检** false negative

对有外观缺陷产品，识别为无外观缺陷的检测结果。

### 3.5

**误检率** false positive rate

**过杀率** overkill rate

同一检验批中，误检产品的数量，与无外观缺陷产品数量的比例。

3.6

**漏检率 false negative rate**

同一检验批中，漏检产品的数量，与有外观缺陷产品数量的比例。

3.7

**工业 AI 视觉外观检测系统检测速度 industrial AI vision appearance inspection system detection speed**

样品从到达指定位置开始做图像采集，到AI图像处理进行缺陷分析，并最终输出外观检测结果所消耗的时间。

3.8

**缺陷定位准确率 accuracy of defect location detection**

对缺陷位置定位准确性的度量。

注：缺陷定位准确率，包括精确率（Precision），召回率（Recall Rate）。

3.9

**缺陷分类准确率 accuracy of defect classification**

同一检验批中，缺陷类型分类正确的数量占样本量的比例。

3.10

**缺陷程度识别准确率 accuracy of defect degree identification**

同一检验批中，缺陷程度等级判定正确的数量占样本量的比例。

3.11

**稼动率 ratio of fault and stable operation duration**

工业AI视觉外观检测系统保持无故障稳定运行的平均时长与工作总时长的比率。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AI: 人工智能 (Artificial Intelligence)

CXP: 非对称高速点对点串行通信数字接口标准 (CoaXPress)

FPS: 每秒传输帧数 (Frames Per Second)

GIGE: 千兆以太网通信协议 (GIGabit Ethernet)

IoU: 交并比 (Intersection Over Union)

IP: 互联网协议 (Internet Protocol)

RGB: 红绿蓝色彩模式 (Red Green Blue)

ROI: 兴趣区域 (Region of Interest)

TCP: 传输控制协议 (Transmission Control Protocol)

USB: 通用串行总线 (Universal Serial Bus)

## 5 基本结构

### 5.1 概述

工业AI视觉外观检测系统基本结构见图1，包括图像采集模块、AI图像处理平台、结果输出模块、运维管理模块等。工业AI视觉外观检测系统，可与工业生产管理系统、工业生产控制系统连接，支持工业产品的外观检测。

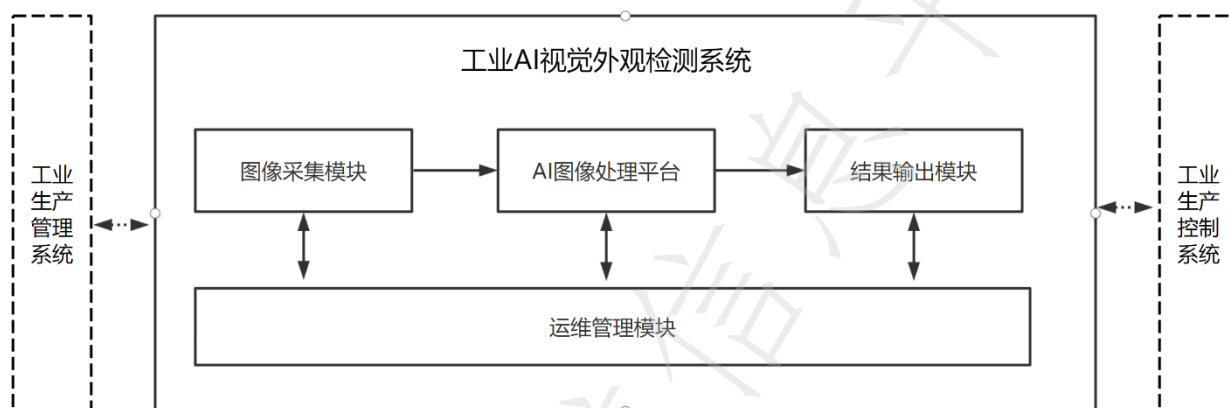


图1 工业 AI 视觉外观检测系统基本结构

### 5.2 图像采集模块

图像采集模块通常由一套或多套成像器件组成，包括工业相机与镜头、光源组件，图像采集按照实际应用需求的基础参数进行确定，如扫描方式、分辨率大小、输出信号方式、输出信号速度、响应频率范围等。

图像采集模块支持通过程序控制切换不同设备进行成像采集，或由同步控制多相机通道进行数据获取。支持多种不同光源的切换、控制，匹配机器视觉系统输入参数，保证图像数据的质量和效果。

图像采集模块将图像采集端的设备同系统整体联动，控制图像采集设备进行采集，根据图像处理结果完成对生产过程的控制。

### 5.3 AI 图像处理平台

AI图像处理平台针对图像采集模块所采集的图像进行处理，实现工业产品的外观测量和缺陷检测等图像处理。在对产品外观进行检测时，支持根据产品尺寸进行自动调整，完成外观检测和分析，实现对工业产品是否为外观无缺陷产品的判断。

### 5.4 结果输出模块

结果输出模块根据AI图像处理平台的分析数据和运维管理模块的相关配置策略，生成工业AI视觉外观检测系统的处理结果，并与工业生产控制系统互动执行。

### 5.5 运维管理模块

运维管理模块根据工业视觉外观检测应用的具体情况，对图像采集模块、AI图像处理平台以及结果输出模块进行相应的管理和配置，并对工业AI视觉外观检测系统的运行结果提供统计、搜索、调整、更新等管理功能。

## 6 功能要求

### 6.1 图像采集模块

图像采集模块应支持以下功能：

- a) 图像采集模块满足一组成像设备抓拍或多组成像设备同步抓拍成像：
  - 1) 图像传输支持TCP/IP、FTP、USB、CXP、GIGE、CAMLINK等一种或多种传输协议；
  - 2) 图像成像像素支持200万、500万、1200万、2500万等一种或多种分辨率；
  - 3) 图像成像编码格式支持Bayer8、RGB、YUV、RGB-D、Mono 8/10/12等一种或多种格式；
  - 4) 图像成像文件格式支持jpeg、tiff等一种或多种格式；
  - 5) 图像成像支持1位、8位、16位、24位、32位等；
  - 6) 图像成像支持图像融合或拼接处理等；
  - 7) 图像帧率满足业务应用需求，支持20FPS以上；
- b) 图像采集模块支持图像的ROI功能；
- c) 图像采集模块支持基础参数的配置功能。

### 6.2 AI 图像处理平台

AI图像处理平台应支持以下功能：

- a) 对被测样品成像图片的外观测量；
- b) 被测样品的缺陷检测，包括整体判定、缺陷区域定位的能力：
  - 1) 整体判定能力：应用机器视觉技术依据图片或外观信息，整体判断工业生产产品外观是否有缺陷；
  - 2) 缺陷区域定位能力：对出现在工业产品上的缺陷进行位置定位。如图2所示，AI图像处理平台应支持图像上的两种位置标识方式，包括坐标框级位置（记为box）、像素级位置（记为mask），形状可任意；



图2 图像中两种位置标识示意图

- c) 缺陷类型识别能力，能够识别缺陷分类及其严重程度：
  - 1) 支持对不同的缺陷加以区分，通过置信度判定类别，判断有无缺陷，并判断缺陷类别；
  - 2) 支持对缺陷的严重程度进行等级分类，缺陷程度等级可根据缺陷类别，从数量、深度、密度、可见性、面积、长度等维度来判定；
  - 3) 根据实际应用情况，可增加设置缺陷待定的判定，即置信度判定范围在外观有缺陷产品和外观无缺陷产品间的区间，无法直接判定产品有无外观缺陷，需引入复检。
- d) 模型的训练和部署；

注：AI算法模型的训练，宜在云端进行。

- e) 小样本算法的迭代和更新等。

### 6.3 结果输出模块

结果输出模块应支持以下功能：

- a) 评估检测速度、检测精度；
- b) 数据的统计分析，包括支持对已完成检测的产品数量、产品缺陷的相关数据进行统计分析、对比分析和趋势分析；
- c) 关键成像数据、分析结果的结构化或格式化处理；
- d) 关键成像数据、结果缺陷的可视化。

### 6.4 运维管理模块

运维管理模块应支持如下功能：

- a) 缺陷统计功能：
  - 1) 系统统计输出缺陷数量以及良率占比，并支持按照多种维度进行筛选统计；
  - 2) 筛选维度不限于指定具体时间段、模具编号、载台工位编号、相机编号、拍摄点位编号、真实位置编号等。
- b) 缺陷搜索功能：
  - 1) 通过输入一张具体点位图以及指定缺陷，系统返回历史推理库中所有相似缺陷图并按照相似度排序输出；
  - 2) 支持无特定编号零件的缺陷回溯，如当前零件漏检，系统回溯还原对应推理日志；
  - 3) 支持针对特殊特征的缺陷进行数目统计，可根据统计，针对性改善工艺或生产策略等。
- c) 在线调整功能：
  - 1) 在系统应用生产推理过程中，当遇到特殊情况支持实时对系统阈值策略进行热更新调整；
  - 2) 调整功能不限于按类别全局阈值调整、按类别特殊拍摄点位阈值调整、按类别特殊点位中特定区域位置调整等；
  - 3) 阈值调整不限于对类别置信度阈值、类别面积阈值、类别计数阈值、类别程度阈值等。
- d) 版本更新功能：
  - 1) 系统应支持版本切换热更新；
  - 2) 版本更新包括模型迭代更新、算法处理逻辑更新等。
- e) 成像一致性评估和成像监控功能；

## 7 性能要求

### 7.1 系统检测速度

工业AI视觉外观检测系统的检测速度，应小于200 s。

### 7.2 系统检测精度

#### 7.2.1 系统漏检率

工业AI视觉外观检测系统的漏检率，应不大于10%。

#### 7.2.2 系统误检率（过杀率）

工业AI视觉外观检测系统的误检率，应不大于15%。

### 7.2.3 缺陷定位准确率

工业AI视觉外观检测系统的缺陷定位准确率中的精确率，应不低于95%。

工业AI视觉外观检测系统的缺陷定位准确率中的召回率，应不低于90%。

### 7.2.4 缺陷分类准确率

工业AI视觉外观检测系统的缺陷分类准确率，应不低于95%。

### 7.2.5 缺陷程度识别准确率

工业AI视觉外观检测系统的缺陷程度识别准确率，应不低于95%。

注：缺陷程度识别，可根据缺陷类别，从数量、深度、密度、可见性、面积、长度等维度进行识别。

## 7.3 稼动率

工业AI视觉外观检测系统的稼动率，应超过90%的要求。

## 7.4 成像一致性

工业AI视觉外观检测系统的成像一致性，应对来源于不同设备不同相机的同一点位成像图片数据在旋转、偏移、缩放、亮度等参数上与标准黄金模版图片保持一致。

注：标准黄金模板，通过标准相机采样形成的图片，在旋转、偏移、缩放、亮度等方面是标准参数。

## 8 测试方法

### 8.1 功能测试

#### 8.1.1 图像采集模块

图像采集模块测试方法如下：

- a) 在工业 AI 视觉外观检测系统中运行图像采集模块；
- b) 检查图像采集模块是否具备一组成像设备抓拍或多组成像设备同步抓拍成像；
- c) 检查图像采集模块是否解析 TCP/IP、FTP、USB、CXP、GIGE、CAMLINKE 等一种或多种传输协议；
- d) 检查成像图像是否正确显示 200 万、500 万、1200 万、2500 万等一种或多种分辨率的成像图像；
- e) 检查成像图像是否正确显示 Bayer8、RGB、YUV、RGB-D、Mono 8/10/12 等一种或多种格式的成像图像；
- f) 检查成像图像的图片格式是否包括 jpeg、tiff 等一种或多种格式；
- g) 检查成像图像的位数是否包括 1 位、8 位、16 位、24 位、32 位等；
- h) 检查成像图像是否进行图像融合或拼接处理等；
- i) 检查成像图像的帧率是否在 20FPS 以上；
- j) 检查图像采集模块是否支持图像的 ROI (Region of Interest) 功能；
- k) 检查图像采集模块是否支持基础参数的配置。

#### 8.1.2 AI 图像处理平台

AI图像处理平台测试方法如下：

- a) 当被测样品在工业 AI 视觉外观检测系统中运行时，运行 AI 图像处理平台；
- b) 检查 AI 图像处理平台是否支持对被测样品成像图片的外观测量；
- c) 检查 AI 图像处理平台是否支持对被测样品的缺陷进行整体判定；
- d) 检查 AI 图像处理平台是否支持进行被测样品的缺陷区域定位，包括坐标框级、像素级；
- e) 检查 AI 图像处理平台是否支持对被测样品的缺陷类型进行识别；
- f) 检查 AI 图像处理平台是否支持对被测样品的缺陷严重程度进行判定；
- g) 在模型训练和部署阶段，运行 AI 图像处理平台，检查 AI 图像处理平台是否支持模型的训练和部署；检查 AI 算法模型的训练，是否在云端进行；
- h) 在模型训练和部署阶段，运行 AI 图像处理平台，检查 AI 图像处理平台是否支持小样本算法，算法是否能够正常迭代、更新。

### 8.1.3 结果输出模块

结果输出模块测试方法如下：

- a) 运行工业 AI 视觉外观检测系统结果输出模块；
- b) 检查结果输出模块是否支持正确评估检测速度、检测精度；
- c) 检查结果输出模块是否支持对已完成检测的产品数量、产品缺陷及性能数据统计分析；
- d) 检查结果输出模块是否支持对成像数据、分析结果的结构化或格式化处理；
- e) 检查结果输出模块是否支持将关键成像数据、结果缺陷可视化。

### 8.1.4 运维管理模块

运维管理模块测试方法如下：

- a) 运行工业 AI 视觉外观检测系统运维管理模块；
- b) 检查运维管理模块是否支持缺陷统计；
- c) 检查运维管理模块是否支持缺陷搜索；
- d) 检查运维管理模块是否支持在线调整；
- e) 检查运维管理模块是否支持版本更新；
- f) 检查运维管理模块是否支持成像一致性评估和成像监控。

## 8.2 性能测试

### 8.2.1 系统检测速度

系统检测速度测试方法如下：

- a) 运行工业 AI 视觉外观检测系统，将被测样品运行到系统指定位置，记录时间为  $t_1$ ；
- b) 统计从样品到达系统指定位置开始，到最终输出外观检测结果的时间，记录时间为  $t_2$ ；
- c) 通过公式（1）计算工业 AI 视觉外观检测系统的检测速度（检测耗时） $t$ 。

$$t = t_2 - t_1 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- $t$ ——检测速度（检测耗时）；  
 $t_1$ ——样品运行到系统制定位置的时刻；  
 $t_2$ ——最终输出样品外观检测结果的时刻。

### 8.2.2 系统检测精度

#### 8.2.2.1 系统漏检率

系统漏检率测试方法如下：

- a) 将同一检验批的被测样品运行至工业 AI 视觉外观检测系统，并开始统计；
- b) 统计正检样品数量、漏检样品数量，通过公式（2）计算工业 AI 视觉外观检测系统的漏检率。

$$FNR = \frac{FN}{TP + FN} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- FNR* ——漏检率；
- FN* ——漏检数；
- TP* ——正检数。

### 8.2.2.2 系统误检率/过杀率

系统误检率/过杀率测试方法如下：

- a) 将同一检验批的被测样品运行至工业 AI 视觉外观检测系统，并开始统计；
- b) 统计正检样品数量、误检样品数量，通过公式（3）计算工业 AI 视觉外观检测系统的误检率/过杀率。

$$FPR = \frac{F}{TP + F} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

式中：

- FPR* ——误检率/过杀率；
- F* ——误检数；
- TP* ——正检数。

### 8.2.2.3 系统缺陷定位准确率

系统缺陷定位准确率测试方法如下：

- a) 将同一检验批的被测样品运行至工业 AI 视觉外观检测系统，并开始统计；
- b) 统计缺陷定位情况，按附录 A 计算精确率、召回率。

### 8.2.2.4 系统缺陷分类准确率

系统缺陷分类准确率测试方法如下：

- a) 将同一检验批的被测样品运行至工业 AI 视觉外观检测系统，并开始统计；
- b) 统计缺陷样本总数、缺陷样本分类正确数，通过公式（4）计算缺陷分类准确率。

$$ADC = \frac{Y_1}{Y} \dots \dots \dots (4)$$

式中：

- ADC* ——缺陷分类准确率；
- Y<sub>1</sub>* ——缺陷样本分类真确的数量；
- Y* ——缺陷样本总数。

### 8.2.2.5 系统缺陷程度识别准确率

系统缺陷程度识别准确率测试方法如下：

- a) 将同一检验批的被测样品运行至工业 AI 视觉外观检测系统，并开始统计；
- b) 统计不同等级的缺陷样本总数、缺陷样本等级识别正确数，通过公式（5）计算缺陷程度识别准确率。

$$ADDI = \frac{Z_1}{Z} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$ADDI$  ——缺陷程度识别准确率;

$Z_1$  ——等级识别正确的缺陷样本数量;

$Z$  ——不同等级缺陷样本总数。

### 8.2.3 稼动率

稼动率测试方法如下:

a) 运行工业 AI 视觉外观检测系统, 达到统计稼动率所需时长;

b) 统计系统工作总时长、无故障稳定运行时长, 通过公式 (6) 计算稼动率。

$$FTR = \frac{T_s}{T_t} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$FTR$  ——稼动率;

$T_s$  ——无故障稳定运行时长;

$T_t$  ——系统工作总时长。

### 8.2.4 成像一致性

成像一致性测试方法如下:

a) 将被测样品运行至工业 AI 视觉外观检测系统;

b) 比对不同设备、不同相机在同一点位的成像图片;

c) 确认在旋转、偏移、缩放、亮度等参数上与标准黄金模版图片基本一致。

附 录 A  
(规范性)  
缺陷定位准确率计算方法

缺陷定位准确率的计算方法如下：

当输出为坐标框级位置 (box) 时，对于两个坐标框A和B的交并比 (IoU)，IoU计算见公式 (A.1)，交并比计算示意图见图A.1：

$$IoU = \frac{A \cap B}{A \cup B} \dots \dots \dots (A.1)$$

式中：

*IoU* ——交并比。

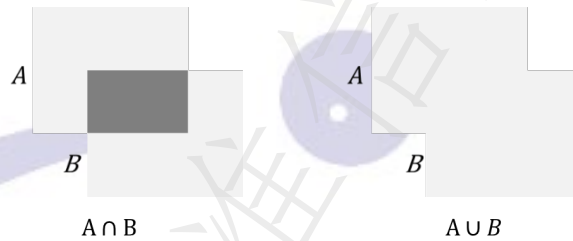


图 A.1 缺陷定位准确率中交并比计算示意图

对于某一类缺陷，模型在图像上的预测框集合为{*P<sub>i</sub>*}，总量为*M*；图像上缺陷的真实框集合为{*G<sub>j</sub>*}，总量为*N*。预测框和真实框之间的IoU大于阈值*T<sub>u</sub>*认为预测正确，否则预测错误。

模型正确预测框的总数为*RTP* (Repetitive True Positive)，模型错误预测框的总数为*FP*，*RTP*与*FP*的和为*M*；总交并比*SIoU* (Summation Intersection Over Union) 为正确预测框中总的IoU值；*GP*为缺陷真实框被召回的总数。

缺陷定位准确率中*RTP*、*FP*、*GP*的详细计算方式，如图A.2所示，其中同一真实框，被多个预测框命中，均按正确预测处理。

精确率 (Precision) 计算见公式 (8)，召回率 (Recall Rate) 计算见公式 (A.2) 如下：

$$Precision = \frac{RTP}{M} \dots \dots \dots (A.2)$$

式中：

*Precision* ——精确率；

*RTP* ——对于某一类缺陷，模型正确预测框的总数；

*M* ——对于某一类缺陷，模型在图像上的预测框总数。

$$Recall Rate = \frac{GP}{N} \dots \dots \dots (A.3)$$

式中：

*Recall Rate* ——召回率；

*GP* ——对于某一类缺陷，模型图像上缺陷真实框被召回的总数；

*N* ——对于某一类缺陷，模型图像上缺陷的真实框集合总数。

注：设置不同的预测框置信度阈值，则可得到精确率 (Precision) 和召回率 (Recall Rate) 变化的曲线。

当输出为像素级位置 (mask) 时, IoU 的计算方式, 应修改为两个像素级位置 (mask) 的 IoU。精确率 (Precision) 和召回率 (Recall Rate) 的计算方法, 与输出为坐标框级位置 (box) 的方法一致。

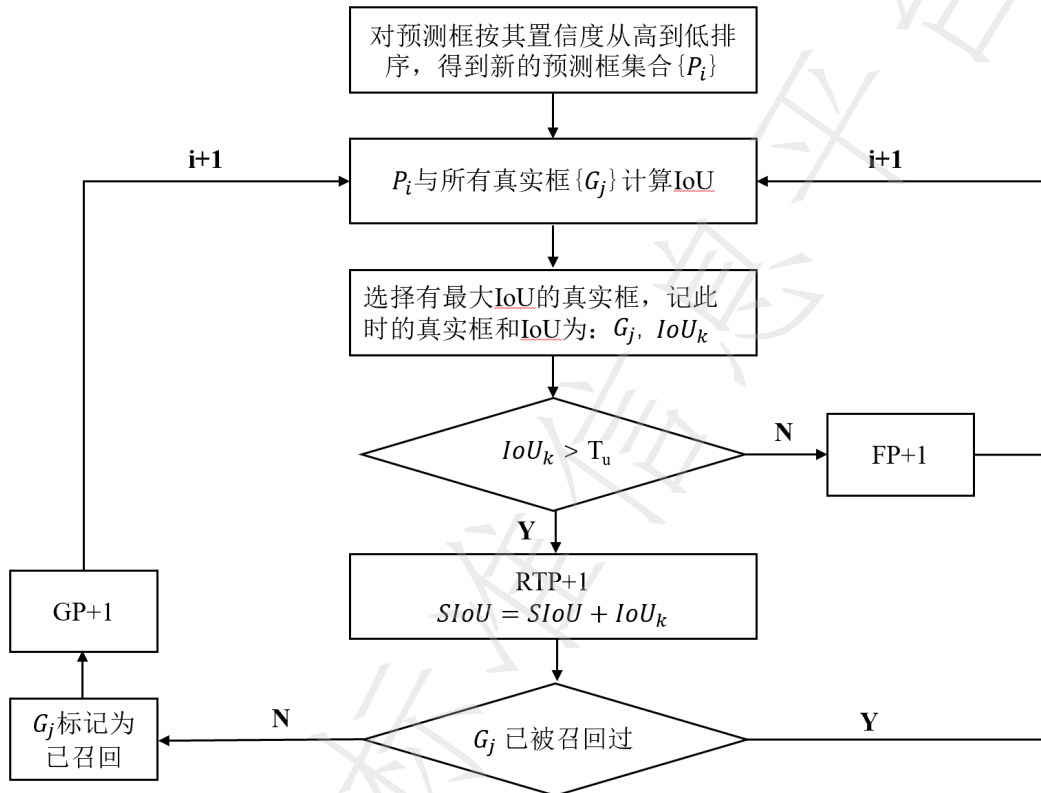


图 A.2 RTP、TP、FP 计算流程图