

MemMat-YOLOX：一种用于 DR视频图像的焊缝缺陷智能 检测方法

汇报人：陈柏彤

日期：2026/03/18

内容来源：

- 《MemMat-YOLOX: An Intelligent Detection Method for Weld defects for DR Video Images》
(ICIBA 2024)

Huan Yao¹, Yuhang Qiu², Kun Yue², Hongquan Jiang^{2*}, Huyue Cheng²

背景与痛点

- **背景：** DR数字实时成像技术可生成连续视频数据，是检测螺旋焊管焊缝的重要方法。
- **传统检测的局限：**
 - 目前主要采用人工查看视频数据的方式识别缺陷。
 - 人工查看容易导致结果的一致性差和效率低。
- **现有深度学习模型的不足：**
 - **时序信息缺失：** 现有检测模型缺乏整合时间信息的能力，容易导致DR视频中小尺度缺陷信息的丢失。
 - **尺度适应性差：** 未熔合、未焊透等缺陷具有极端长宽比，超出常规特征金字塔处理范围。
 - **锚框失效：** 标准锚框难以匹配极端长宽比的缺陷形状。
 - **特征微弱：** 单帧DR灰度图像的特征表达能力较弱。

解决方法与核心架构总览

- 论文提出了一种基于MemMat-YOLOX的管线焊缝DR视频数据缺陷检测方法。
- 三大核心创新点：
 1. 矩阵网络模块 (MatrixNets)
 2. 多样性感知特征记忆聚合模块 (DP-FMAM)
 3. 多头注意力机制 (Multi-head attention mechanism)

MemMat-YOLOX 方法总框架图

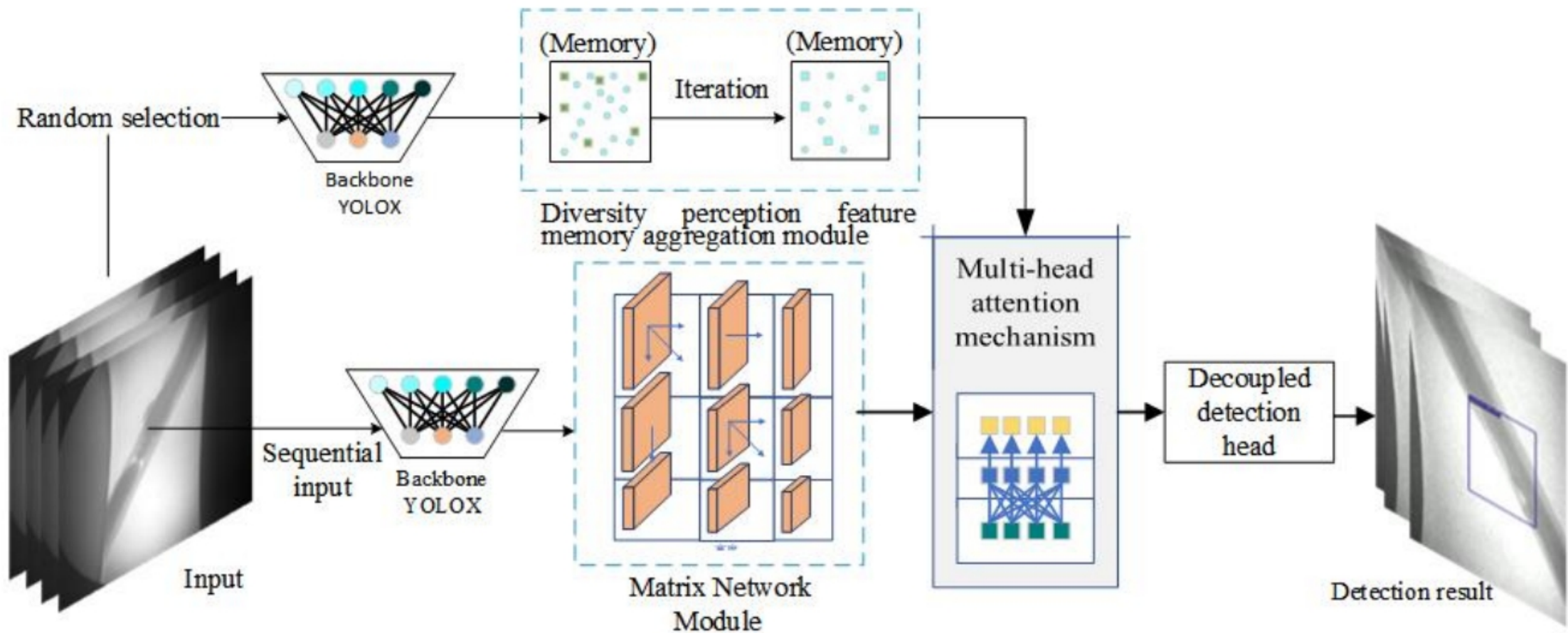


Fig. 1. The MemMat-YOLOX method framework.

创新点一：矩阵网络模块 (MatrixNets)

- **核心目的：** 提升对大长宽比缺陷（如未熔合）的检测能力。
- **矩阵建模：** 构建多尺度层矩阵，全面覆盖从方形到极端长宽比的特征提取。
- **关键运算一：解耦卷积** (独立计算“分类”与“回归”并拼接)

$$\widehat{F}_{i,j} = \text{squeeze}(\text{Cat}(\text{cls_conv}(F_{i,j}), \text{reg_conv}(F_{i,j}))) \quad (1)$$

- **关键运算二：特征重组** (融合25组不同长宽比的特征向量)

$$F_{cur} = \text{Concate}(\widehat{F}_{1,1}, \widehat{F}_{1,2}, \dots, \widehat{F}_{M,M}) \quad (2)$$

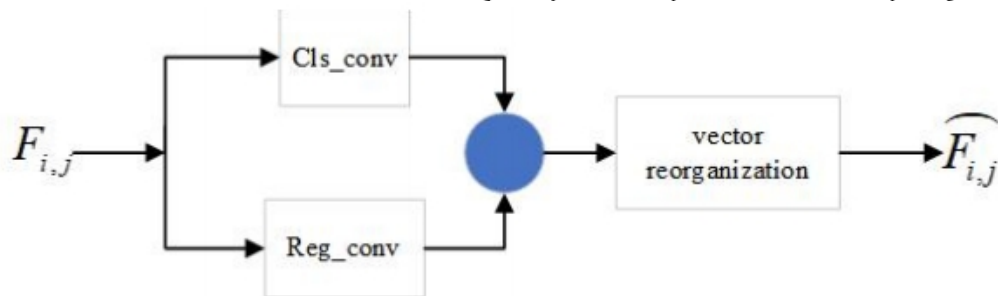


Fig. 4. Uncoupling convolution blocks.

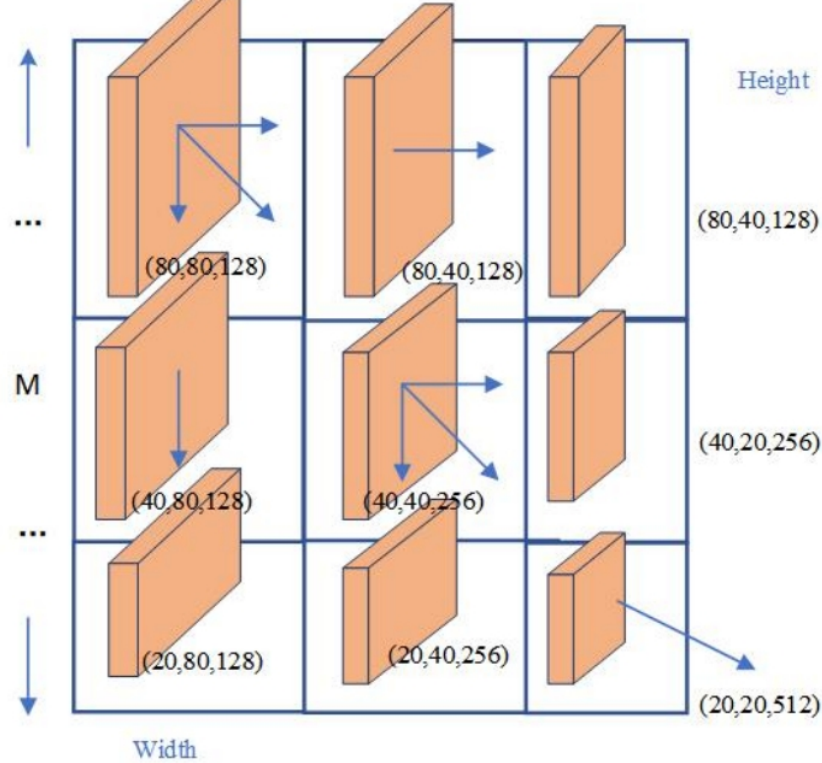


Fig. 2. MatrixNets structure.

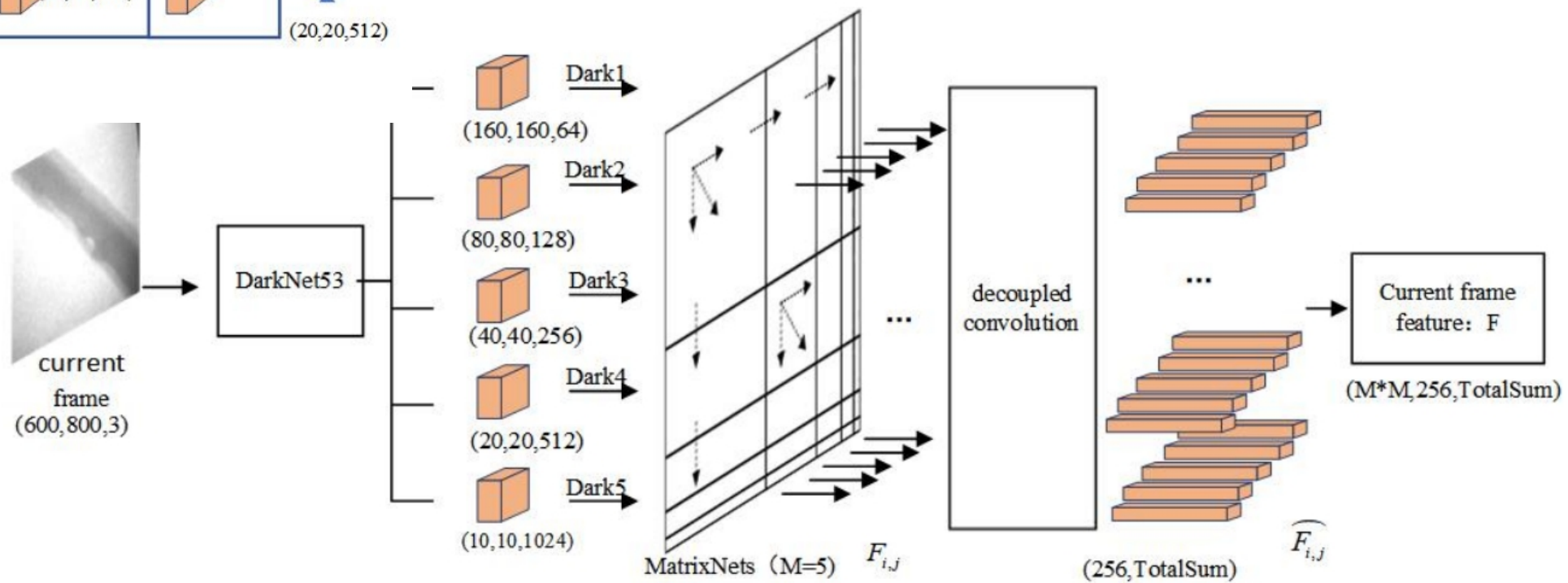


Fig. 3. Obtaining the current frame feature method steps.

创新点二：多样性感知特征记忆聚合模块 (DP-FMAM)

- **核心目的：**解决小尺度缺陷丢失问题，充分利用视频的全局和局部信息。
- **机制原理：**在整个视频范围内感知并记忆多样性特征。
- **特征筛选：**计算特征向量间的欧氏距离衡量多样性，保留冗余度最低的样本更新记忆库。

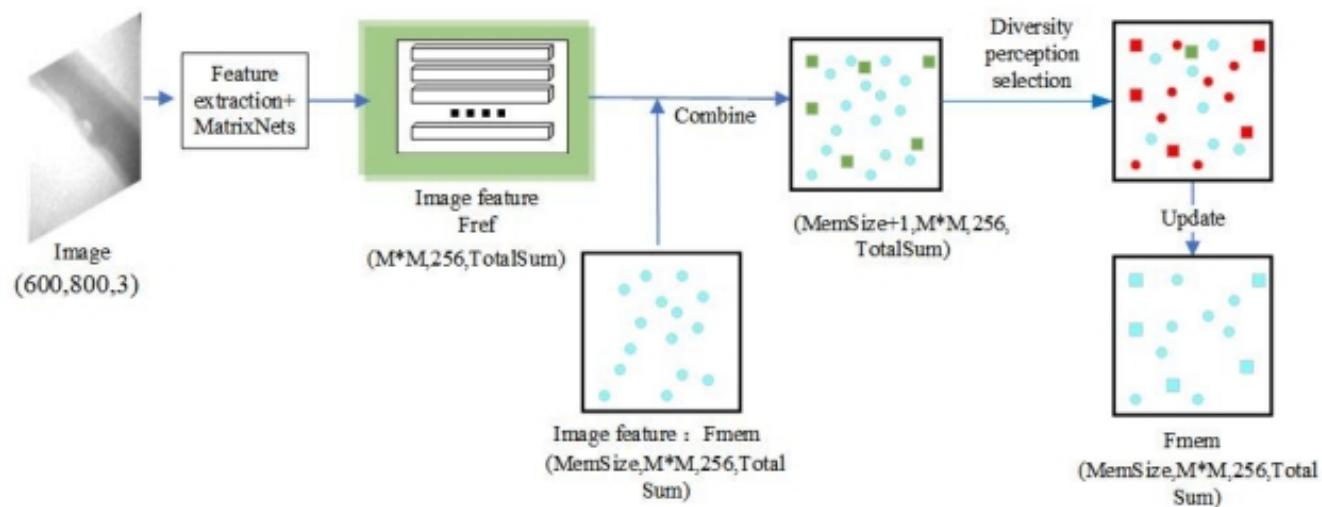


Fig. 5. Update process of diversity perception feature memory.

创新点三：多头注意力机制的应用

- **核心目的：** 克服单帧DR灰度图像特征表达能力弱的问题。
- **特征融合：** 将DP-FMAM模块存储的全局增强特征，与当前帧特征通过多头注意力深度融合。
- 输出至解耦检测头，获取最终精确结果。

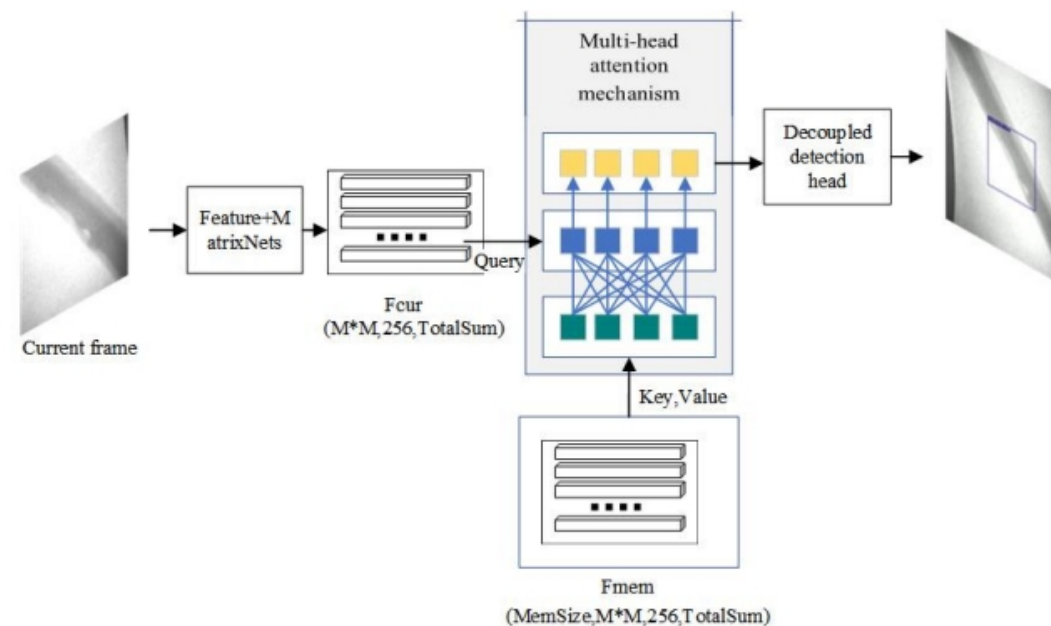


Fig. 6. Diversity perception feature memory aggregation module

实验效果验证

- 在企业实际管线数据集上进行了验证。
- **精度提升：** MemMat-YOLOX的平均精度（mAP50）达到92.5%，显著优于单图模型YOLOX的77.6%。
- **漏检率下降：** 小尺度缺陷漏检率降至2.24%，大长宽比缺陷漏检率降至3.15%。

双击此处添加标题

TABLE I. VIDEO DEFECTS DETECTION AND COMPARISON RESULTS

<i>metric</i> <i>method</i>				
	<i>mAP50</i>	<i>average recall</i>	<i>Small scale defects lost</i>	<i>Large aspect ratio defects lost</i>
YOLOX	77.6%	77.4%	12.44%	15.32%
SELSA	90.7%	90.1%	4.62%	6.35%
RDN	87.2%	88.7%	9.55%	11.21%
The method of this paper	92.5%	95.3%	2.24%	3.15%

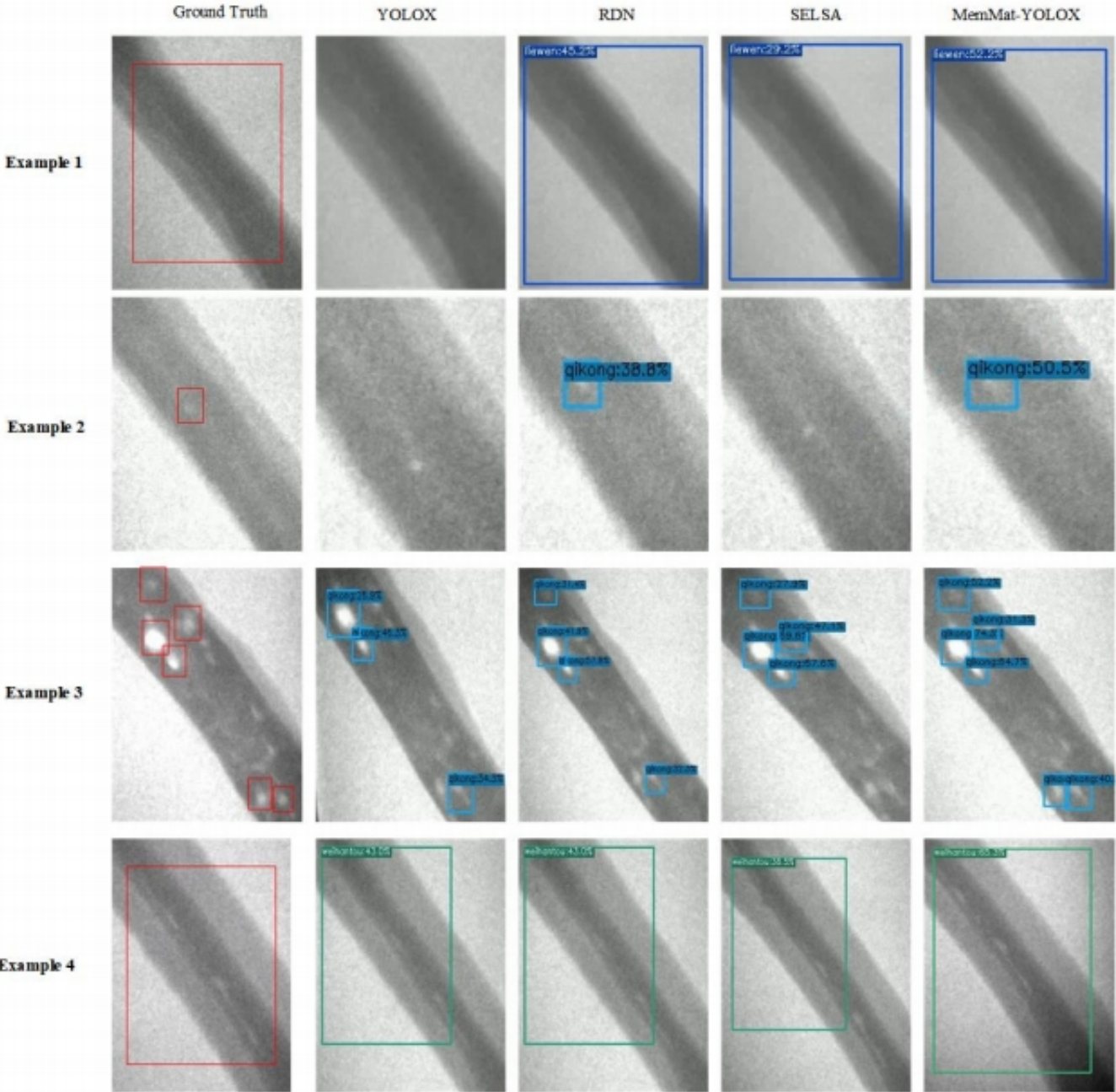


Fig. 7. Qualitative comparison diagram of weld defects detection.

论文总结

- MemMat-YOLOX有效提高了检测精度 (mAP达92.5%) 并显著减少了漏检
- 成功解决了小尺度和大长宽比缺陷的检测难题。
- **未来展望：**结合物理模型和深度学习, 以更精确地补偿电子噪声和运动模糊等复杂退化现象。

思考与启示

- **动态时序锁定 (借鉴 DP-FMAM):** 针对飞溅、熔池波动等高频瞬态特征，可建立类似的“特征记忆库”，跨帧锁定高价值熔池状态，滤除弧光与烟尘冗余。
- **极端形态提取 (借鉴 MatrixNets / 公式1与2):** OCT深熔孔或CMOS细长轨迹具有极端长宽比。采用分类与回归“解耦卷积”再“特征重组”的策略，能比正方形锚框更锐利地提取深熔孔边界。