

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 1 月 20 日 (20.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/012110 A1

(51) 国际专利分类号:
G06K 9/00 (2006.01)

宁锋(ZHANG, Ningfeng); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/090357

(22) 国际申请日: 2021 年 4 月 27 日 (27.04.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010689861.0 2020年7月17日 (17.07.2020) CN

(71) 申请人: 中山大学(SUN YAT-SEN UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。

(72) 发明人: 王剑波(WANG, Jianbo); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。 李伟忠(LI, Weizhong); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。 王文军(WANG, Wenjun); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。 张

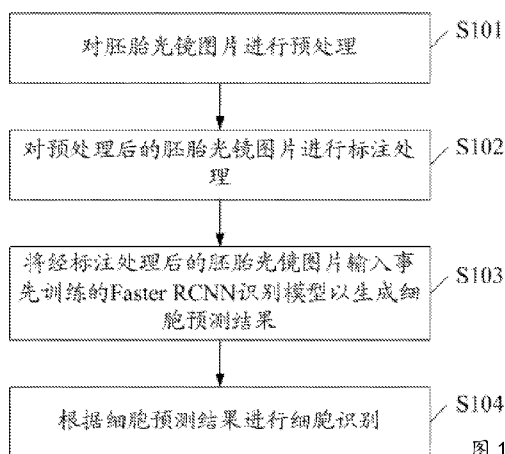
(74) 代理人: 广州三环专利商标代理有限公司(SCIHEAD PATENT AGENT CO., LTD); 中国广东省广州市越秀区先烈中路80号汇华商贸大厦1508室, Guangdong 510070 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR RECOGNIZING CELLS IN EMBRYO LIGHT MICROSCOPE IMAGE, AND DEVICE AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 胚胎光镜图像中细胞的识别方法及系统、设备及存储介质



(57) Abstract: A method for recognizing cells in an embryo light microscope image, a system (100) for recognizing cells in an embryo light microscope image, and a computer device and a computer-readable storage medium. The method comprises: pre-processing an embryo light microscope image (S101); performing marking processing on the preprocessed embryo light microscope image (S102); inputting the embryo light microscope image, subjected to marking processing, into a Faster RCNN recognition model trained in advance, so as to generate a cell prediction result (S103), wherein the Faster RCNN recognition model comprises a feature extraction network, an RPN, a Roi Align network, a classification regression network and a C-NMS network; and performing cell recognition according to the cell prediction result (S104). According to the method, deep optimization of a Faster RCNN realizes accurate extraction of cells in an embryo light microscope image; in addition, a completely new C-NMS network is also constructed, an overlapping proportion and the area proportion between tested objects are measured, and a measurement score is flexibly adjusted, thereby significantly reducing a missed detection rate.

- S101 Pre-process an embryo light microscope image
S102 Perform marking processing on the preprocessed embryo light microscope image
S103 Input the embryo light microscope image, subjected to marking processing, into a Faster RCNN recognition model trained in advance, so as to generate a cell prediction result
S104 Perform cell recognition according to the cell prediction result

图 1

NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种胚胎光镜图像中细胞的识别方法、识别系统(100)、计算机设备及计算机可读存储介质。所述方法包括：对胚胎光镜图片进行预处理(S101)；对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理(S102)；将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的Faster RCNN识别模型以生成细胞预测结果(S103)，所述Faster RCNN识别模型包括特征提取网络、RPN网络、Roi Align网络、分类回归网络及C-NMS网络；根据所述细胞预测结果进行细胞识别(S104)。所述方法通过对Faster RCNN网络的深度优化，实现了胚胎光镜图片中细胞的精准提取，同时还构建了全新的C-NMS网络，通过对被检测物体之间的重叠比例及面积比例的检测，灵活地调整检测分数，显著地降低了漏检率。

胚胎光镜图像中细胞的识别方法及系统、设备及存储介质

技术领域

本发明涉及人工智能技术领域，尤其涉及一种胚胎光镜图像中细胞的识别方法、胚胎光镜图像中细胞的识别系统、计算机设备及计算机存储介质。

背景技术

随着医学的不断进步，医院试管婴儿、体外授精的技术日趋成熟，到医院尝试试管婴儿的个案不断增多，生殖科医生的工作量和强度随之增大。生殖科医生对胚胎光镜图片进行胚胎细胞的数量检测以及质量评估，既需要高度的精准判断，也需要不断地重复的图像浏览。目前，胚胎细胞数量检测与质量评估均是由人工完成，国内外并没有相应的自动化辅助技术。如何减少医生的重复劳动，同时解决胚胎图片中细胞重叠比例高，边界不明显等问题，提高判断的准确率，是当前医疗人工智能的一个重要和必要的任务。

深度学习技术应用于类似的医疗领域的技术也有一些尝试，例如：

技术 1：Faster RCNN 模型（Ren S, He K, Girshick R, et al. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks[C]//Advances in neural information processing systems. 2015: 91-99.）是任少卿于 2017 年提出的一个通用目标检测框架，它是基于 Fast RCNN 的改进版，在相同的检测精度下，达到了更快的检测速度。Faster RCNN 是一种深度卷积神经网络模型，包括特征提取网络、RPN 网络、分类回归网络三个模块。原论文中，作者采用了 VGG16 卷积神经网络作为特征提取网络。Faster RCNN 进行目标检测的流程如下：首先，训练 Faster RCNN 模型，并且保存训练好的权重，然后进行检测，Faster RCNN 模型载入训练好的权重，图片进入特征提取网络进行特征提取，得到特征图；然后，特征图输入到 RPN 网络，进行推荐框的产生；接着，产生的推荐框进入分类回归网络，进行推荐框的筛选与边界修正，并且得到预测的框；最后，用 NMS 算法去除冗余的预测框并在图片上标出预测得到的框，输出图片。虽然，原始的 Faster RCNN 模型检测速度较快，但是，其使用的 NMS 算法对于重叠物体的检测存在较高的漏检率，导致一些高重叠的细胞被漏检。

技术 2: Soft NMS (Bodla N, Singh B, Chellappa R, et al. Soft-NMS--Improving Object Detection With One Line of Code[C]//Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. 2017: 5561-5569.) 是 2017 年提出的一种检测重叠物体的算法。NMS (非极大值抑制算法) 是 faster rcnn 的基本结构, 它用于在模型预测阶段去除冗余的重叠检测框, Soft NMS 是对原始 NMS 算法的改进, 在低重叠物体的检测中表现较好, 但是, 其在高重叠物体以及覆盖物体上表现很差, 会导致部分高重叠细胞被漏检。

因此, 现有技术并没有提出能自动化高效检测和量化评估体外授精卵胚胎发育的技术方法。

发明内容

本发明所要解决的技术问题在于, 提供一种胚胎光镜图像中细胞的识别方法、系统、计算机设备及计算机存储介质, 可显著地降低了漏检率。

为了解决上述技术问题, 本发明提供了一种胚胎光镜图像中细胞的识别方法, 包括: 对胚胎光镜图片进行预处理; 对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理; 将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster RCNN 识别模型以生成细胞预测结果, 所述 Faster RCNN 识别模型包括特征提取网络、RPN 网络、Roi Align 网络、分类回归网络及 C-NMS 网络; 根据所述细胞预测结果进行细胞识别。

作为上述方案的改进, 所述将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster RCNN 识别模型以生成细胞预测结果的步骤包括: 将经标注处理后的胚胎光镜图片输入特征提取网络进行特征提取, 获得特征图; 将所述特征图输入 RPN 网络进行识别及筛选处理, 获得推荐框; 将所述特征图及推荐框输入 Roi Align 网络进行映射及池化处理, 获得推荐特征图; 将所述推荐特征图输入分类回归网络进行分类回归处理, 获得预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度; 将所述预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络进行筛选处理, 获得预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度。

作为上述方案的改进, 所述将预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络进行筛选处理, 获得预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度的步骤包括: 将所述预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS

网络；将所述初始置信度最大的预测框作为基准预测框；根据所述初始坐标分别计算每一预测框与所述基准预测框的重叠比；将所述重叠比大于或等于预设置信度阈值的预测框作为待调整预测框；根据所述待调整预测框与基准预测框的重叠比及面积比更新所述待调整预测框的初始置信度；所述预测框将所述初始坐标作为目标坐标，将所述初始类别作为目标类别，将更新后的初始置信度作为目标置信度。

作为上述方案的改进，所述根据待调整预测框与基准预测框的重叠比及面积比更新所述待调整预测框的初始置信度的步骤包括：根据公式 $s_i = s_i f(\text{iou}(M, b_i), \text{ar}(M, b_i))$ ，更新所述待调整预测框的初始置信度，其中，所述 s_i 为初始置信度，所述 f 为分值惩罚函数且 $f = \frac{1}{2\pi} \exp(-\frac{a^2}{2} - \frac{b^2}{2})$ ，所述 $a = \text{iou}(M, b_i)$ ，所述 $\text{iou}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的重叠比，所述 $b = \text{ar}(M, b_i)$ ，所述 $\text{ar}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的面积比。

作为上述方案的改进，所述特征提取网络为 ResNet50 全卷积网络。

作为上述方案的改进，所述 RPN 网络包括三种推荐框，所述三种推荐框的长宽比例分别为 1:1.5，1:1 及 1.5:1，所述推荐框的最大数量为 80-120 个。

作为上述方案的改进，采用邻域直方图均衡方法对所述胚胎光镜图片进行预处理。

相应地，本发明还提供了一种胚胎光镜图像中细胞的识别系统，包括：预处理模块，用于对胚胎光镜图片进行预处理；标注模块，用于对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理；预测模块，用于将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster RCNN 识别模型以生成细胞预测结果，所述 Faster RCNN 识别模型包括特征提取网络、RPN 网络、Roi Align 网络、分类回归网络及 C-NMS 网络；识别模块，用于根据所述细胞预测结果进行细胞识别。

相应地，本发明还提供了一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现上述识别方法的步骤。

相应地，本发明还提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述识别方法的步骤。

实施本发明，具有如下有益效果：

本发明通过对 Faster RCNN 网络的深度优化，实现了胚胎光镜图片中细胞的精准提取，可有效辅助医生确定发育最优的胚胎。具体地：

本发明构建了全新的 C-NMS 网络，C-NMS 网络采用适用于拥挤检测物体的非极大值抑制算法，依据预测框的初始置信度的大小、预测框之间的重叠比例以及预测框之间的面积比，对预测框进行筛选，显著地降低了漏检率；

同时，本发明摒弃了原模型使用的 ROI Pooling 网络的取整操作，而是使用 Roi Align 网络的双线性插值的方法估计推荐框非整数点的坐标值，然后再通过池化操作统一推荐框的尺寸，大大地提高了预测框位置的准确性。

本发明还在特征提取网络中引入 ResNet50 全卷积网络，层数更深，且具有残差结构，大大地提升了在特征提取的功能；

本发明还针对胚胎细胞的独特物理状态，对 RPN 网络的参数做了优化，提高了特征提取的效率。

附图说明

图 1 是本发明胚胎光镜图像中细胞的识别方法的第一实施例流程图；

图 2 是本发明胚胎光镜图像中细胞的识别方法的第二实施例流程图；

图 3 是本发明中 Faster RCNN 识别模型的示意图；

图 4 是本发明胚胎光镜图像中细胞的识别系统的结构示意图；

图 5 是本发明中预测模块的结构示意图。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本发明作进一步地详细描述。

参见图 1，图 1 显示了本发明胚胎光镜图像中细胞的识别方法的第一实施例流程图，其包括：

S101，对胚胎光镜图片进行预处理。

胚胎光镜图片由光镜拍摄，并未做染色处理，所以胚胎光镜图片整体呈现灰色。由于细胞的透明性，严重的重叠性，使得细胞的边界模糊，同时，胚胎光镜图片之间的亮度差异小，前景与背景颜色区分度的不足，这都给细胞识别造成了很大的困难。

为了提升前景与背景，以及各个细胞之间的颜色差异，本发明采用邻域直方图均衡方法对所述胚胎光镜图片进行预处理，从而提升胚胎光镜图片的对比度及各个胚胎光镜图片之间的亮度差异，使得胚胎光镜图片中细胞的边界更加清晰，细胞识别准确率提升将近 3%。

S102，对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理。

在进入 Faster RCNN 识别模型之前，每一张训练集、验证集及测试集的胚胎光镜图片都需要进行标注。具体地：

训练集的标注信息用于计算损失，然后计算梯度进行求解；

验证集的标注信息用于计算当前训练条件下，验证集的准确率，评估当前模型是否收敛，是否过拟合；

测试集的标注信息用于与最终得到的模型的预测结果比较，计算得到最终模型的准确率。

S103，将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster RCNN 识别模型以生成细胞预测结果。

现有的 Faster RCNN 框架由特征提取网络、RPN 网络及分类回归网络 3 部分组成。与现有技术不同的是，本发明中，所述 Faster RCNN 识别模型对检测胚胎细胞的任务做了深度的优化，其包括特征提取网络、RPN 网络、Roi Align 网络、分类回归网络及 C-NMS 网络。同时，本发明还引入了全新的 C-NMS 方法，专门用于胚胎光镜图片中高重叠物体的检测，使得细胞的漏检率显著降低。

进一步，Faster RCNN 识别模型的训练方式有三种：交替训练、近似联合训练和非近似联合训练。

本发明使用的是近似联合训练方式。首先，将特征提取网络初始化为 ImageNet 上的预训练 ResNet50 网络权重；然后，将其他网络的权重随机初始化为均值为 0.1，方差为 0.01 的正态分布；再使用 Keras 和 Tensorflow 作为深度学习框架，在反向传播中使用的优化算法为 SGD（Stochastic Gradient Descent）、学习率为 0.025（学习率随迭代步数衰减至 0.001），总共做了 70000 次迭代。

S104，根据细胞预测结果进行细胞识别。

由上可知，本发明使用人工智能学习的技术，采用深度优化后的 Faster RCNN 识别模型自动检测体外授精卵的胚胎光镜图片，获得正常分裂的细胞个数，以辅助医生确定发育最优的胚胎。

参见图 2 及图 3, 图 2 及图 3 显示了本发明胚胎光镜图像中细胞的识别方法的第二实施例流程图, 其包括:

S201, 对胚胎光镜图片进行预处理。

S202, 对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理。

S203, 将经标注处理后的胚胎光镜图片输入特征提取网络进行特征提取, 获得特征图。

现有技术中, 特征提取网络一般选用 VGG 网络。与现有技术不同的是, 本发明中, 所述特征提取网络为 ResNet50 全卷积网络。ResNet50 网络比原来的 VGG 网络层数更深, 而且具有残差结构, 在特征提取的功能上更胜一筹。

ResNet50 是一个全卷积网络, 总共有 50 个卷积层。ResNet50 全卷积网络的输入是 RGB 三通道的胚胎光镜图片, 胚胎光镜图片大小不做要求, 输出是 1024 个通道的张量, 包含了胚胎光镜图片的全部特征, 张量大小取决于输入胚胎光镜图片的大小, 张量的长宽会缩小为胚胎光镜图片长宽的 1/16。

S204, 将所述特征图输入 RPN 网络进行识别及筛选处理, 获得推荐框。

RPN (Region Proposal Network) 网络是一个三层的卷积网络, 其作用是针对特征图产生一些感兴趣的推荐区域 (也称作推荐框), 并且对这些推荐区域做一个初步的筛选, 这些推荐区域可能代表着原始图像上的细胞的位置。

实际应用时, 用户在特征图上滑动一个小窗口, 这个窗口与特征图是全连接的。每一个滑动窗口得到一个低维的向量, 这个向量将被用于推荐区域的分类和回归。事实上, 滑动窗口的尺寸选取为 3×3 , 滑动窗口的中心点将被映射到特征图上, 用于在特征图上提取推荐框。每个中心点在特征图上提取 9 个不同的推荐框 (含 3 种尺寸及 3 种比例)。这 9 个不同的推荐框将会送入 RPN 网络内部的分类网络及回归网络中, 其中, 分类网络用于判断这些推荐框是否属于细胞, 而回归网络用于对推荐框的边界进行修正, 使得推荐框准确的框住的细胞。分类网络是一个 1×1 卷积核的卷积网络, 对每个推荐框都产生一个得分, 得分越高则是细胞的概率越高。回归网络也是一个 1×1 卷积核的卷积网络, 对每个推荐框都做 4 个位置的回归, 包括推荐框的中心点坐标 (x, y) 以及推荐框的长与宽。在整个特征图上, 大概会产生 20000 个推荐框, 这些推荐框在进入分类网络以及回归网络之前, 会进行一个筛选, 筛选过后大概会留下 100 个推荐框。

所述 RPN 网络包括三种推荐框，现有技术中，RPN 网络中三种推荐框的长宽比例一般为 1:2，1:1 及 2:1，推荐框的最大数量为 300。针对胚胎细胞的独特物理状态（细胞的形状偏圆形），个数在 11 个以下等特点，本发明对 RPN 网络的一些超参数做了优化。具体地，本发明将 RPN 网络中三种推荐框的长宽比由现有的(1:2, 1:1, 2:1)改为(1:1.5, 1:1, 1.5:1)，将推荐框的最大个数由 300 改为 80-120 个（优选为 100 个），大大地提高了特征提取的效率。

S205，将所述特征图及推荐框输入 Roi Align 网络进行映射及池化处理，获得推荐特征图。

Roi Align 网络的输入有两个，一个是特征提取网络输出的特征图，另一个是 RPN 网络输出的推荐框。特征图及推荐框输入 Roi Align 网络后，先通过所述 Roi Align 网络将所述推荐框映射至所述特征图上，再通过所述 Roi Align 网络在所述特征图上对所述推荐框进行池化处理，生成固定大小的推荐特征图(proposal feature maps)。

需要说明的是，RPN 层输出的推荐框尺寸不一致，没法输入到全连接层进行推荐框类别的判定，而 ROI Align 网络的作用是将输入的推荐框池化到同一种尺寸(14×14)。与现有技术不同的是，本发明摒弃了原模型使用的 ROI Pooling 网络的取整操作，而是使用双线性插值的方法估计推荐框非整数点的坐标值，然后再通过池化操作统一推荐框的尺寸，这提高了预测框位置的准确性。

S206，将所述推荐特征图输入分类回归网络进行分类回归处理，获得预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度。

分类回归网络的输入是 Roi Align 网络输出的大小相同的推荐特征图，分类回归网络对推荐特征图再次进行边界框回归的操作，获得更高精度的推荐框，其中，所述分类回归网络包括分类网络及回归网络，具体地：所述分类网络对所述推荐特征图进行识别判断，生成预测框初始类别及预测框初始置信度；所述回归网络对所述推荐特征图进行边界修正，生成预测框初始坐标。

S207，将所述预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络进行筛选处理，获得预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度。

传统的物体检测流程常常采用多尺度滑动窗口，根据每个物体类别的前景/背景分数对每个窗口计算其特征。然而，相邻窗口往往具有相关的分数（即置信度），这会增加检测结果的假阳性。为了避免这样的问题，通常会采用 NMS

(非极大值抑制方法)对预测框进行后续处理来得到最终的预测框。

NMS 是目标检测模型在预测阶段剔除冗余目标的标准方法,其针对特定物体类别分别设定重叠阈值来解决这个问题。NMS 首先在被检测图片中产生一系列的检测框以及对应的分数。当选中最大分数的检测框后,任何与该检测框的重叠部分大于重叠阈值的相邻检测框也将随之移除。非极大值抑制算法中的最大问题就是它将相邻检测框的分数均强制归零。在这种情况下,如果一个真实物体在重叠区域出现,则将导致对该物体的检测失败并降低了算法的平均检测率。由于 NMS 仅仅用到检测物体之间的重叠比例,没有用到物体本身的特性,使得 NMS 在普通的物体检测问题的表现优异,但是在检测目标重叠率较高时,NMS 容易漏检。

因此,本发明引入了全新、独特的 C-NMS 网络。C-NMS 网络采用适用于拥挤检测物体的非极大值抑制算法,依据预测框的初始置信度的大小、预测框之间的重叠比例以及预测框之间的面积比,对预测框进行筛选,输出最终筛选得到的预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度。

具体地,所述将预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络进行筛选处理,获得预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度的步骤包括:

- (1)将所述预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络;
- (2)将所述初始置信度最大的预测框作为基准预测框;
- (3)根据所述初始坐标分别计算每一预测框与所述基准预测框的重叠比;
- (4)将所述重叠比大于或等于预设置信度阈值的预测框作为待调整预测框;
- (5)根据所述待调整预测框与基准预测框的重叠比及面积比更新所述待调整预测框的初始置信度;

因此,本发明中的 C-NMS 不仅使用了被检测物体之间的重叠比例,而且使用了被检测物体自身所占的面积之间的比例,重叠比例越高,面积差距越大的细胞,被抑制的可能性就越大,该算法在胚胎细胞检测这种超高重叠比例的检测中,显著降低了漏检率。

具体地,所述根据待调整预测框与基准预测框的重叠比及面积比更新所述待调整预测框的初始置信度的方法为:

根据公式 $s_i = s_i f(\text{iou}(M, b_i), \text{ar}(M, b_i))$,更新所述待调整预测框的初始置信度,其中,

所述 s_i 为初始置信度, 所述 f 为分值惩罚函数且 $f = \frac{1}{2\pi} \exp(-\frac{a^2}{2} - \frac{b^2}{2})$;

所述 $a = \text{iou}(M, b_i)$, 所述 $\text{iou}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的重叠比, 即 $\text{iou}(M, b_i) = M$ 与 b_i 的交集面积/ M 与 b_i 的并集面积;

所述 $b = \text{ar}(M, b_i)$, 所述 $\text{ar}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的面积比, 即 $\text{ar}(M, b_i) = \min(M, b_i) / \max(M, b_i)$ 。

需要说明的是, $\text{iou}(M, b_i)$ 越大, 待调整预测框 b_i 的分值降低的越多; $\text{ar}(M, b_i)$ 越大, 待调整预测框 b_i 的分值降低的也越多。而且 $\text{iou}(M, b_i)$ 与 $\text{ar}(M, b_i)$ 是独立的。

综上所述, C-NMS 基于重叠部分的大小以及相邻检测框之间的面积比, 为相邻检测框设置一个分值惩罚函数, 而非彻底将其分数置为零, 该分值惩罚函数的变量是相邻检测框之间的重叠比例以及相邻检测框之间的面积比。简单来讲, 如果一个检测框与基准预测框有大部分重叠, 而且他们的面积比接近于 1, 则它会有很低的分数; 而如果检测框与基准预测框只有小部分重叠, 或者他们之间的面积比低于某一个阈值, 那么它的原有检测分数不会受太大影响。而且, C-NMS 不需要额外的训练且易于实现。

(6) 所述预测框将所述初始坐标作为目标坐标, 将所述初始类别作为目标类别, 将更新后的初始置信度作为目标置信度。

因此, 通过步骤 S207 可进一步确定预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度。

S208, 根据细胞预测结果进行细胞识别。

由上可知, 本发明通过对 Faster RCNN 网络的深度优化, 实现了胚胎光镜图片中细胞的精准提取, 可有效辅助医生确定发育最优的胚胎。具体地: 本发明构建了 C-NMS 网络, 通过对被检测物体之间的重叠比例及面积比例的检测, 灵活地调整检测分数, 显著地降低了漏检率; 同时, 本发明在特征提取网络中引入 ResNet50 全卷积网络, 层数更深, 且具有残差结构, 大大地提升了在特征提取的功能; 另外, 本发明还针对胚胎细胞的独特物理状态, 对 RPN 网络的参数做了优化, 提高了特征提取的效率。

参见图 4, 图 4 显示了本发明胚胎光镜图像中细胞的识别系统 100 的具体结构, 其包括:

预处理模块 1, 用于对胚胎光镜图片进行预处理。预处理模块 1 采用邻域直

方图均衡方法对所述胚胎光镜图片进行预处理，从而提升胚胎光镜图片的对比度及各个胚胎光镜图片之间的亮度差异，使得胚胎光镜图片中细胞的边界更加清晰。

标注模块 2，用于对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理。在进入 Faster RCNN 识别模型之前，每一张训练集、验证集及测试集的胚胎光镜图片都需要通过标注模块 2 进行标注，其中，训练集的标注信息用于计算损失，然后计算梯度进行求解；验证集的标注信息用于计算当前训练条件下，验证集的准确率，评估当前模型是否收敛，是否过拟合；测试集的标注信息用于与最终得到的模型的预测结果比较，计算得到最终模型的准确率。

预测模块 3，用于将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster RCNN 识别模型以生成细胞预测结果。所述 Faster RCNN 识别模型包括特征提取网络、RPN 网络、Roi Align 网络、分类回归网络及 C-NMS 网络。

识别模块 4，用于根据所述细胞预测结果进行细胞识别。

因此，本发明通过计算机辅助的手段，使用人工智能学习的技术，采用深度优化后的 Faster RCNN 识别模型自动检测体外授精卵的胚胎光镜图片，获得正常分裂的细胞个数，以辅助医生确定发育最优的胚胎。

如图 5 所示，预测模块 3 包括：

特征提取单元 31，用于将经标注处理后的胚胎光镜图片输入特征提取网络进行特征提取，获得特征图。所述特征提取单元 31 引入 ResNet50 全卷积网络，比原来的 VGG 网络层数更深，而且具有残差结构，在特征提取的功能上更胜一筹。

RPN 单元 32，用于将所述特征图输入 RPN 网络进行识别及筛选处理，获得推荐框。RPN 单元 32 对 RPN 网络的一些超参数做了优化。具体地，RPN 单元将 RPN 网络中三种推荐框的长宽比由现有的(1:2, 1:1, 2:1)改为(1:1.5, 1:1, 1.5:1)，将推荐框的最大个数由 300 改为 80-120 个（优选为 100 个），大大地提高了特征提取的效率。

Roi Align 单元 33，用于将所述特征图及推荐框输入 Roi Align 网络进行映射及池化处理，获得推荐特征图。

分类回归单元 34，用于将所述推荐特征图输入分类回归网络进行分类回归处理，获得预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度；

C-NMS 单元 35, 用于将所述预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络进行筛选处理, 获得预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度。

需要说明的是, C-NMS 单元 35 中引入了独特的 C-NMS 网络。C-NMS 网络采用适用于拥挤检测物体的非极大值抑制算法, 依据预测框的初始置信度的大小、预测框之间的重叠比例以及预测框之间的面积比, 对预测框进行筛选, 输出最终筛选得到的预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度。

工作时, C-NMS 单元 35 先将所述初始置信度最大的预测框作为基准预测框; 再根据所述初始坐标分别计算每一预测框与所述基准预测框的重叠比; 并将所述重叠比大于或等于预设置信度阈值的预测框作为待调整预测框; 然后, 根据所述待调整预测框与基准预测框的重叠比及面积比更新所述待调整预测框的初始置信度, 具体地, 根据公式 $s_i = s_i f(\text{iou}(M, b_i), \text{ar}(M, b_i))$, 更新所述待调整预测框的初始置信度, 其中, 所述 s_i 为初始置信度, 所述 f 为分值惩罚函数且 $f = \frac{1}{2\pi} \exp(-\frac{a^2}{2} - \frac{b^2}{2})$; 所述 $a = \text{iou}(M, b_i)$, 所述 $\text{iou}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的重叠比, 即 $\text{iou}(M, b_i) = M$ 与 b_i 的交集面积 / M 与 b_i 的并集面积; 所述 $b = \text{ar}(M, b_i)$, 所述 $\text{ar}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的面积比, 即 $r(M, b_i) = \min(M, b_i) / \max(M, b_i)$ 。

相应地, 本发明还提供了一种计算机设备, 包括存储器和处理器, 所述存储器存储有计算机程序, 所述处理器执行所述计算机程序时实现上述识别方法的步骤。同时, 本发明还提供了一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现上述识别方法的步骤。

以上所述是本发明的优选实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也视为本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1、一种胚胎光镜图像中细胞的识别方法，其特征在于，包括：

对胚胎光镜图片进行预处理；

对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理；

将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster RCNN 识别模型以生成细胞预测结果，所述 Faster RCNN 识别模型包括特征提取网络、RPN 网络、Roi Align 网络、分类回归网络及 C-NMS 网络；

根据所述细胞预测结果进行细胞识别。

2、如权利要求 1 所述的胚胎光镜图像中细胞的识别方法，其特征在于，所述将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster RCNN 识别模型以生成细胞预测结果的步骤包括：

将经标注处理后的胚胎光镜图片输入特征提取网络进行特征提取，获得特征图；

将所述特征图输入 RPN 网络进行识别及筛选处理，获得推荐框；

将所述特征图及推荐框输入 Roi Align 网络进行映射及池化处理，获得推荐特征图；

将所述推荐特征图输入分类回归网络进行分类回归处理，获得预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度；

将所述预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络进行筛选处理，获得预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度。

3、如权利要求 2 所述的胚胎光镜图像中细胞的识别方法，其特征在于，所述将预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络进行筛选处理，获得预测框的目标坐标、目标类别及目标置信度的步骤包括：

将所述预测框的初始坐标、初始类别及初始置信度输入 C-NMS 网络；

将所述初始置信度最大的预测框作为基准预测框；

根据所述初始坐标分别计算每一预测框与所述基准预测框的重叠比；

将所述重叠比大于或等于预设置信度阈值的预测框作为待调整预测框；

根据所述待调整预测框与基准预测框的重叠比及面积比更新所述待调整预测框的初始置信度；

所述预测框将所述初始坐标作为目标坐标，将所述初始类别作为目标类别，将更新后的初始置信度作为目标置信度。

4、如权利要求 3 所述的胚胎光镜图像中细胞的识别方法，其特征在于，所述根据待调整预测框与基准预测框的重叠比及面积比更新所述待调整预测框的初始置信度的步骤包括：

根据公式 $s_i = s_i f(\text{iou}(M, b_i), \text{ar}(M, b_i))$ ，更新所述待调整预测框的初始置信度，其中，

所述 s_i 为初始置信度，所述 f 为分值惩罚函数且 $f = \frac{1}{2\pi} \exp(-\frac{a^2}{2} - \frac{b^2}{2})$ ，

所述 $a = \text{iou}(M, b_i)$ ，所述 $\text{iou}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的重叠比，

所述 $b = \text{ar}(M, b_i)$ ，所述 $\text{ar}(M, b_i)$ 为待调整预测框 b_i 与基准预测框 M 的面积比。

5、如权利要求 2 所述的胚胎光镜图像中细胞的识别方法，其特征在于，所述特征提取网络为 ResNet50 全卷积网络。

6、如权利要求 2 所述的胚胎光镜图像中细胞的识别方法，其特征在于，所述 RPN 网络包括三种推荐框，所述三种推荐框的长宽比例分别为 1:1.5，1:1 及 1.5:1，所述推荐框的最大数量为 80-120 个。

7、如权利要求 1 所述的胚胎光镜图像中细胞的识别方法，其特征在于，采用邻域直方图均衡方法对所述胚胎光镜图片进行预处理。

8、一种胚胎光镜图像中细胞的识别系统，其特征在于，包括：

预处理模块，用于对胚胎光镜图片进行预处理；

标注模块，用于对预处理后的胚胎光镜图片进行标注处理；

预测模块，用于将经标注处理后的胚胎光镜图片输入事先训练的 Faster

RCNN 识别模型以生成细胞预测结果, 所述 Faster RCNN 识别模型包括特征提取网络、RPN 网络、Roi Align 网络、分类回归网络及 C-NMS 网络;

识别模块, 用于根据所述细胞预测结果进行细胞识别。

9、一种计算机设备, 包括存储器和处理器, 所述存储器存储有计算机程序, 其特征在于, 所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法的步骤。

10、一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于, 所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法的步骤。

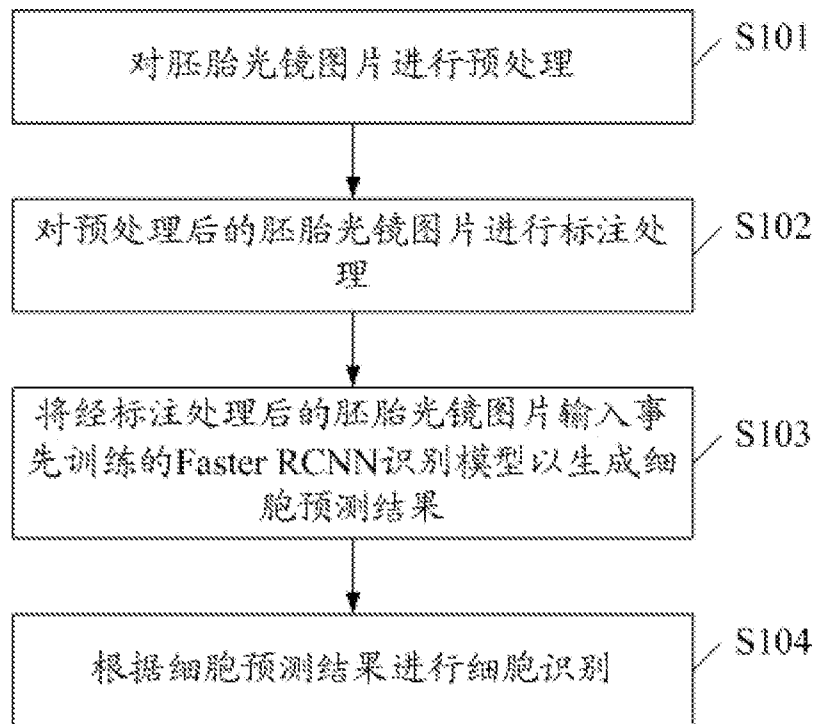


图 1

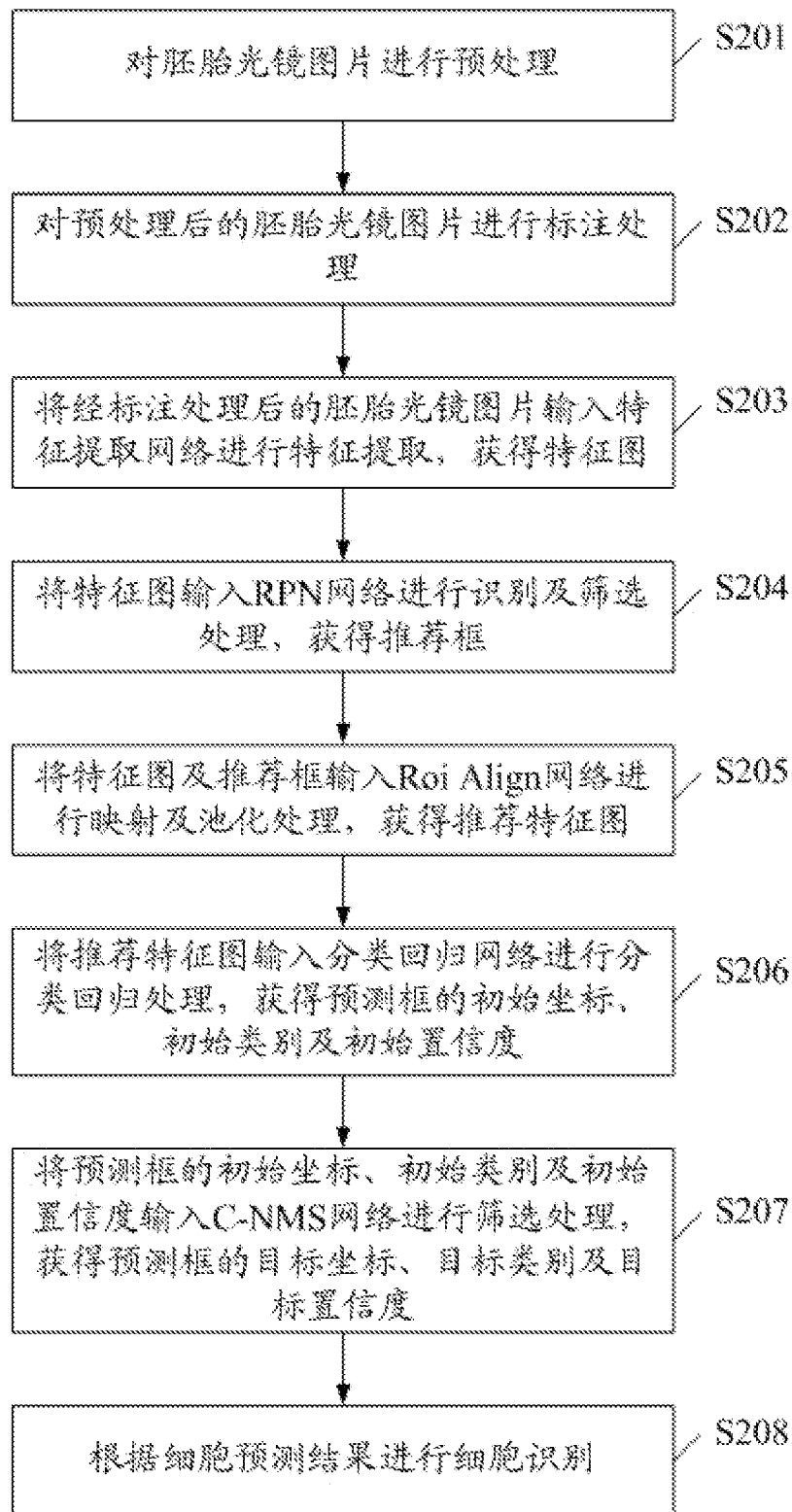


图 2

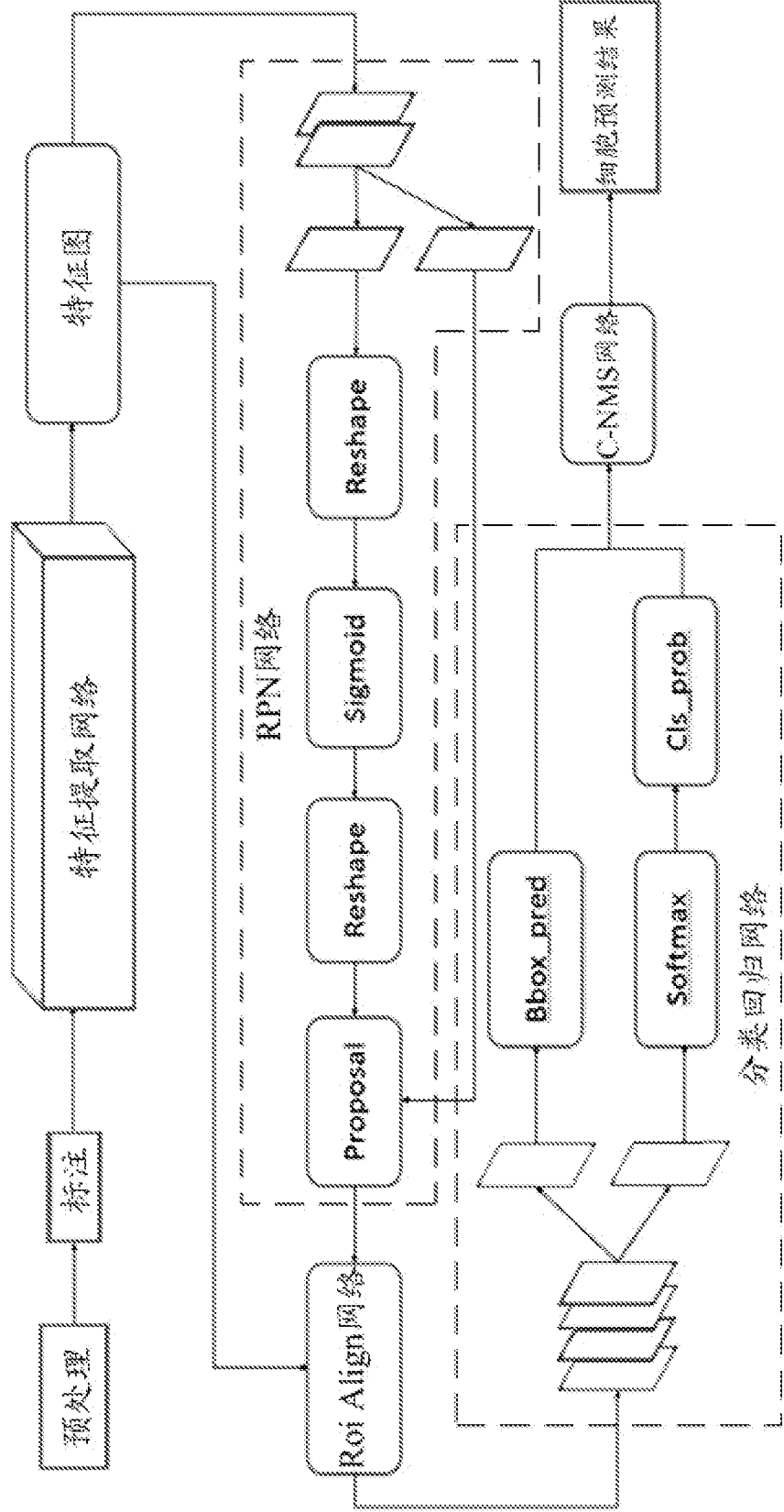


图 3

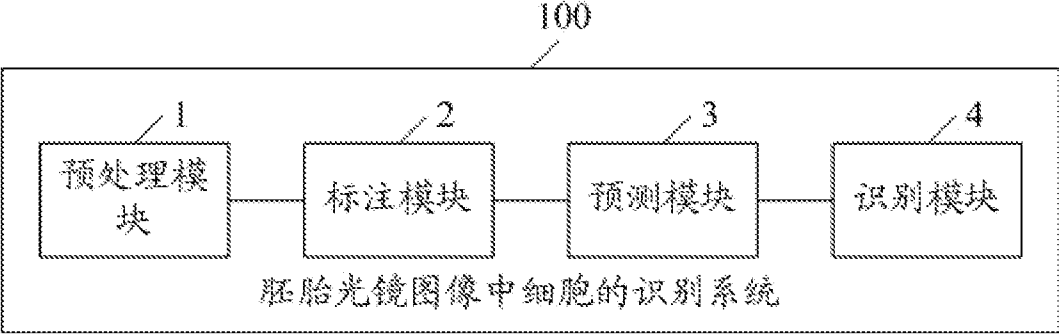


图 4

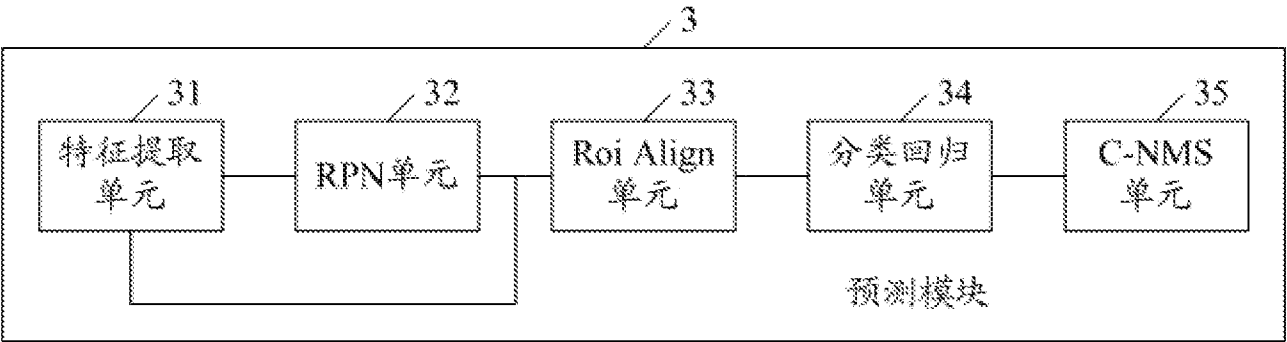


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/090357

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06K 9/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 图像, 细胞, 识别, 分类, 预处理, 标注, 区域, 卷积, 神经网络, 特征, 提取, 回归, 非极大值, 抑制, image, cell, recogni+, class+, preprocess+, label, region, convolution+, neural, network, RCNN, R-CNN, faster, RPN, feature, character, extract+, regression, non-maximum, suppression, NMS, C-NMS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112069874 A (SUN YAT-SEN UNIVERSITY) 11 December 2020 (2020-12-11) claims 1-10	1-10
A	CN 109598224 A (WEDOCTOR CLOUD (HANGZHOU) HOLDINGS CO., LTD.) 09 April 2019 (2019-04-09) description, paragraphs [0062]-[0078]	1-10
A	CN 110110799 A (GUANGZHOU F.Q. PATHOTECH CO., LTD.) 09 August 2019 (2019-08-09) entire document	1-10
A	CN 110363218 A (ZHANG, Xiaodong) 22 October 2019 (2019-10-22) entire document	1-10
A	US 2017206431 A1 (MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC.) 20 July 2017 (2017-07-20) entire document	1-10
A	US 2019065817 A1 (KONICA MINOLTA LABORATORY U.S.A., INC.) 28 February 2019 (2019-02-28) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 July 2021

Date of mailing of the international search report

26 July 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/090357

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	112069874	A	11 December 2020	None	
CN	109598224	A	09 April 2019	None	
CN	110110799	A	09 August 2019	None	
CN	110363218	A	22 October 2019	None	
US	2017206431	A1	20 July 2017	None	
US	2019065817	A1	28 February 2019	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/090357

A. 主题的分类

G06K 9/00 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

G06K

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 图像, 细胞, 识别, 分类, 预处理, 标注, 区域, 卷积, 神经网络, 特征, 提取, 回归, 非极大值, 抑制, image, cell, recogni+, class+, preprocess+, label, region, convolution+, neural, network, RCNN, R-CNN, faster, RPN, feature, character, extract+, regression, non-maximum, suppression, NMS, C-NMS

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 112069874 A (中山大学) 2020年 12月 11日 (2020 - 12 - 11) 权利要求1-10	1-10
A	CN 109598224 A (微医云杭州控股有限公司) 2019年 4月 9日 (2019 - 04 - 09) 说明书第[0062]-[0078]段	1-10
A	CN 110110799 A (广州银元方青医疗科技有限公司) 2019年 8月 9日 (2019 - 08 - 09) 全文	1-10
A	CN 110363218 A (张孝东) 2019年 10月 22日 (2019 - 10 - 22) 全文	1-10
A	US 2017206431 A1 (MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC) 2017年 7月 20日 (2017 - 07 - 20) 全文	1-10
A	US 2019065817 A1 (KONICA MINOLTA LABORATORY U. S. A., INC.) 2019年 2月 28日 (2019 - 02 - 28) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2021年 7月 14日

国际检索报告邮寄日期

2021年 7月 26日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

戴雷

电话号码 86-(10)-53961402

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/090357

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	112069874	A	2020年 12月 11日	无	
CN	109598224	A	2019年 4月 9日	无	
CN	110110799	A	2019年 8月 9日	无	
CN	110363218	A	2019年 10月 22日	无	
US	2017206431	A1	2017年 7月 20日	无	
US	2019065817	A1	2019年 2月 28日	无	