

(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
2024 年 6 月 6 日 (06.06.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/113403 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 5/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/137712
- (22) 国际申请日: 2022 年 12 月 8 日 (08.12.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211502402.2 2022年11月28日 (28.11.2022) CN
- (71) 申请人: 深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 陈涛 (CHEN, Tao); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055

(CN)。李剑平 (LI, Jianping); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。郭冠男 (GUO, GuanNan); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。杨振宇 (YANG, Zhenyu); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京中巡通大知识产权代理有限公司 (BEIJING ZHONG XUN TONG DA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国北京市西城区西直门外大街1号院2号楼7层7C1, Beijing 100044 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

(54) **Title:** IMAGING SYSTEM DEPTH-OF-FIELD EXTENSION METHOD AND SYSTEM, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 成像系统景深扩展方法、系统、电子设备及存储介质

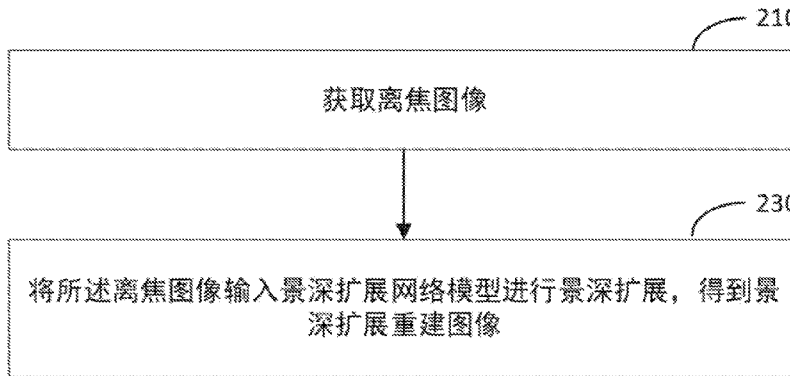


图 1

- 210 Acquire an out-of-focus image
- 230 Input the out-of-focus image into a depth-of-field extension network model for depth-of-field extension to obtain a depth-of-field extended reconstructed image

(57) **Abstract:** The present application relates to the technical field of imaging, and provides an imaging system depth-of-field extension method and system, an electronic device, and a storage medium. The method comprises: acquiring an out-of-focus image; and inputting the out-of-focus image into a depth-of-field extension network model for depth-of-field extension to obtain a depth-of-field extended reconstructed image, wherein the depth-of-field extension network model comprises an out-of-focus distance estimation sub-network and a depth-of-field extension sub-network. The present application solves the problem in the related art of low plankton in-situ observation efficiency due to a small water body volume corresponding to a single frame of image caused by the incapability of taking both the imaging resolution and the depth of field into consideration during the acquisition of images of living plankton in water.



GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:
一 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本申请提供了一种成像系统景深扩展方法、系统、电子设备及存储介质，涉及成像技术领域。其中，该方法包括：获取离焦图像；将所述离焦图像输入景深扩展网络模型进行景深扩展，得到景深扩展重建图像；所述景深扩展网络模型包括离焦距离估计子网络和景深扩展子网络。本申请解决了相关技术中在采集水中活体浮游生物图像时无法兼顾成像分辨率和景深，导致单帧图像对应的水体体积小，对浮游生物的原位观测效率低的问题。

成像系统景深扩展方法、系统、电子设备及存储介质

技术领域

本申请涉及成像技术领域，具体而言，本申请涉及一种成像系统景深扩展方法、系统、电子设备及存储介质。

背景技术

海洋浮游生物是一类游泳能力较弱的水生漂流生物，主要包括浮游动植物等，它们数量庞大，广泛分布于全球的海洋中，是海洋中食物、物质和能量食物网的基础组成部分。因此，对海洋浮游生物进行观测，不仅是理解人类活动和全球变化度海洋生态系统的影响与海洋生态系统对全球气候变化响应等重大海洋科学问题的基础，也是海洋生态环境监测、生物多样性调查、渔业生物资源评估、致灾生物爆发监测等应用中不可或缺的技术手段。

然而，浮游生物原位成像一直在面临着成像质量和采样通量之间存在制衡的挑战。一方面，复杂的海水成分和浮游生物属性使得水下成像仪器所面临的成像介质和目标的光学属性一直多变，极易导致采集的图像质量恶化，影响水下暗场成像图像的分辨率和后续图像识别分析的准确率；另一方面，为了获取足够的分辨率以识别和测量微小的浮游生物个体，成像往往需要较大的倍率。这就导致景深较浅，单次成像采样的水体体积小，进而导致对海水成像采样的通量和效率较低，不利于在单位时间内对一定尺度的海域获得更有统计意义的观测结果。

由上可知，如何平衡水下活体浮游生物暗场成像分辨率和景深的问题仍有待解决。

发明内容

本申请提供了一种成像系统景深扩展方法、系统、电子设备及存储介质，可以解决相关技术中存在的在采集水中活体浮游生物图像时无法兼顾成像分辨

率和景深，导致单帧图像对应的水体体积小，对浮游生物的原位观测效率低的问题。所述技术方案如下：

根据本申请的一个方面，一种成像系统景深扩展方法，所述方法包括：获取离焦图像；将所述离焦图像输入景深扩展网络模型进行景深扩展，得到景深扩展重建图像。

所述景深扩展网络模型包括离焦距离估计子网络和景深扩展子网络，所述离焦距离估计子网络用于对所述离焦图像的离焦距离进行估计，得到离焦距离估计值，并将所述离焦距离估计值进行编码后传入所述景深扩展子网络，指导景深扩展子网络进行景深扩展；所述景深扩展子网络用于对所述离焦图像进行特征提取，并结合所述离焦距离估计值进行解码，输出景深扩展重建图像。

根据本申请的一个方面，一种景深扩展成像系统，所述系统包括：图像获取模块：用于获取离焦图像；图像重建模块：用于将获取到的离焦图像通过景深扩展网络模型重建为景深扩展图像；所述景深扩展网络模型包括离焦距离估计子网络和景深扩展子网络，所述离焦距离估计子网络用于对所述离焦图像的离焦距离进行估计，得到离焦距离估计值，并将所述离焦距离估计值进行编码后传入所述景深扩展子网络，指导景深扩展子网络进行景深扩展；所述景深扩展子网络用于对所述离焦图像进行特征提取，并结合所述离焦距离估计值进行解码，输出景深扩展重建图像。

根据本申请的一个方面，一种电子设备，包括：至少一个处理器、至少一个存储器、以及至少一条通信总线，其中，存储器上存储有计算机程序，处理器通过通信总线读取存储器中的计算机程序；计算机程序被处理器执行时实现如上所述的成像系统景深扩展方法。

根据本申请的一个方面，一种存储介质，其上存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现如上所述的成像系统景深扩展方法。

根据本申请的一个方面，一种计算机程序产品，计算机程序产品包括计算机程序，计算机程序存储在存储介质中，计算机设备的处理器从存储介质读取

计算机程序，处理器执行计算机程序，使得计算机设备执行时实现如上所述的成像系统景深扩展方法。

本申请提供的技术方案带来的有益效果是：

在上述技术方案中，通过获取离焦图像，并构建景深扩展网络模型，将获取到的离焦图像输入景深扩展网络模型进行景深扩展，得到景深扩展重建图像。在实现了成像景深扩展的同时提升了分辨率，解决了现有技术方案中存在的采集水中活体浮游生物图像时无法兼顾成像分辨率和景深，导致单帧图像对应的水体体积小，对浮游生物的原位观测效率低的问题，同时本申请中的景深扩展网络模型对训练数据中不曾包含的其他类别和更为复杂的浮游生物图像同样具有较好的景深扩展效果，模型的泛化性能良好。

附图说明

为了更清楚地说明本申请提供的技术方案，下面将对本申请各实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍。

图 1 是根据一示例性实施例示出的一种成像系统景深扩展方法流程图；

图 2 是根据一示例性实施例示出的景深扩展网络模型的结构图；

图 3 是根据一示例性实施例示出的景深扩展网络模型的图像质量评价结果；

图 4 是根据一示例性实施例示出的景深扩展网络模型输出的重建图像；

图 5 是根据一示例性实施例示出的不同种类的浮游生物经景深扩展网络模型输出的重建图像；

图 6 是根据一示例性实施例示出的景深扩展成像系统的结构图；

图 7 是根据一示例性实施例示出的一种电子设备的结构框图。

具体实施方式

下面详细描述本申请的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能

的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本申请，而不能解释为对本申请的限制。

本技术领域技术人员可以理解，除非特意声明，这里使用的单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。应该进一步理解的是，本申请的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件，但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解，当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时，它可以直接连接或耦接到其他元件，或者也可以存在中间元件。此外，这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或无线耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或更多个相关联的列出项的全部或任一单元和全部组合。

下面是本申请涉及的几个名词进行的介绍和解释：

SSIM，英文全拼为 Structural Similarity，结构相似度。

RMSE，英文全拼为 Root Mean Squared Error，均方根误差。

PLSR，英文全拼为 Partial least squares regression，偏最小二乘法。

MSE-loss，英文全拼为 Mean Square Error-loss，均方误差损失函数。

如前所述，一直以来，对水下活体浮游生物原位成像一方面受复杂的海水成分和浮游生物属性使得水下成像仪器所面临的成像介质和光学属性一直多变，导致采集的图像质量恶化，成像图像分辨率低；另一方面为了获取足够的分辨率以识别和测量微小的浮游生物个体就会牺牲成像景深，导致单次成像采样的水样体积小，观测效率低。

由上可知，相关技术中仍存在成像分辨率和景深无法兼顾的问题。

为此，本申请提供的成像系统景深扩展方法，能够有效地在保证水下浮游生物成像分辨率的同时扩展景深，提高识别准确率，相应地，该成像系统景深扩展方法适用于景深扩展成像系统。该景深扩展成像系统可部署于成像光电设备，例如成像流式细胞仪、水下剪影成像仪、暗场成像仪等等。

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面以水下暗场离焦图像为例，结合附图对本申请实施方式进一步地详细描述。

如图 1 所示为一种成像系统景深扩展方法，该方法可以包括以下步骤：
步骤 210，获取离焦图像。

利用水下暗场成像设备对水下活体浮游生物的暗场环境进行拍摄，获取水下活体浮游生物在水下暗场成像设备中的离焦图像。

步骤 230，将所述离焦图像输入景深扩展网络模型进行景深扩展，得到景深扩展重建图像。

如图 2 所示，上述景深扩展网络模型包括离焦距离估计子网络和景深扩展子网络。

具体的，离焦距离估计子网络用于对水下暗场离焦图像的离焦距离进行估计，得到离焦距离估计值，并将所述离焦距离估计值进行编码后传入所述景深扩展子网络，指导景深扩展子网络进行景深扩展；景深扩展子网络用于对所述水下暗场离焦图像进行特征提取，并结合所述离焦距离估计值进行解码，输出景深扩展重建图像。

在一示例性实施例中，上述离焦距离估计子网络包括第一特征提取器、第一聚合器、回归器以及编码器，具体的：

第一特征提取器用于提取所述水下暗场离焦图像的特征。

第一聚合器用于将所述水下暗场离焦图像的特征聚合成若干个向量。

回归器用于根据聚合到的若干个向量与实际离焦距离进行回归分析，并取离焦距离回归值均值作为所述水下暗场离焦图像的离焦距离估计值。

编码器用于对所述离焦距离估计值进行维度变换。

具体的，将残差网络设置为第一特征提取器并从水下暗场离焦图像中提取特征，包括 mean&std、quantile 以及 moment 特征。第一聚合器根据第一特征提取器提取到的三个特征分别聚合成三个向量，并输入至回归器中。回归器设置为基于偏最小二乘法（PLSR）设计的，将输入的三个向量与水下

暗场离焦图像的实际离焦距离进行回归分析，并取离焦距离回归值均值作为水下暗场离焦图像的离焦距离估计值。并通过编码器对离焦距离估计值进行维度变换，从而生成两个一维矢量 α , β 。

在一示例性实施例中，上述景深扩展子网络包括第二特征提取器、第二聚合器以及解码器，具体的：

第二特征提取器用于提取所述水下暗场离焦图像的特征图。

第二聚合器用于将维度变换后的离焦距离估计矢量与所述特征图进行结合得到融合图。

解码器用于将所述融合图进行维度变换，得到清晰图像的 RGB 值，融合得到复原后的景深扩展重建图像。

具体的，第二特征提取器由 4 个 e-block 模块构成，每个 e-block 模块包含有 3 个卷积层，并采用跳跃连接的结构，用于提取输入的水下暗场离焦图像的特征图 fm_{ex} 。第二聚合器用于将维度变换后的离焦距离估计矢量 α , β 与第二特征提取器提取到的特征图 fm_{ex} 相结合得到组合后的特征图 fm_{ref} 。具体的，聚合公式如下所示：

$$fm_{ref} = \alpha fm_{ex} + \beta$$

最后根据解码器对得到的组合后的特征图 fm_{ref} 进行维度变换，得到清晰图像的 RGB 值，并融合得到的 RGB 值，得到复原后的景深扩展重建图像。

在一示例性实施例中，上述景深扩展网络模型是基于水下暗场图像训练集训练得到的；水下暗场图像训练集包括多个水下暗场模糊-清晰图像对。

具体的，获取不同离焦距离下的离焦-聚焦图像，每一幅离焦模糊图像对应一幅聚焦清晰图像，并根据离焦模糊图像的离焦距离对图像对进行标记，同一离焦距离下采集多对离焦-聚焦图像对，从而构建了一个带有离焦距离标签的水下暗场离焦-聚焦图像训练集。根据得到的水下暗场离焦-聚焦图像训练集对景深扩展网络模型进行训练，根据模型输出的景深扩展重建图像的相似度得分对模型性能进行评价。

在一种可能的实施例中，如图 3 所示，本申请利用 SSIM 和 RMSE 以及聚焦评价分值作为评价指标，计算了全部输入图像和输出图像的相似度得分。其中，不同离焦距离下的输入图像和模型输出图像相对于清晰图像的 SSIM 和 RMSE 值分别为 A 和 B。C 为不同离焦距离下图像的清晰程度值，DI 表示离焦图像，FE 表示景深扩展网络模型输出图像。

对于 SSIM 和 RMSE 两个图像相似度而言，随着离焦距离的增加，景深扩展网络模型的输入和输出与聚焦清晰图像的相似度都在减小，但变化趋势较为缓慢。而在结合了人眼主观感受的聚焦评价得分指标下，输入图像的得分随着离焦距离的增加下降更为剧烈，而景深扩展网络模型输出图像的聚焦评价得分基本稳定在了 4.0 左右，这表明输出图像更接近人眼主观认为的清晰。在三种评价指标下，景深扩展网络模型的输出图像在不同离焦距离下的得分标准层较小，网络模型对含有多样内容的浮游生物离焦图像复原的效果也比较稳定。

如图 4 所示为景深扩展网络模型输出的重建图像，随着离焦距离的增加，输入图像的离焦模糊程度加重，对应输出的图像恢复的细节逐渐减少，伪影也相应从开始展现到逐步加重。本申请提出的景深扩展网络模型在一定离焦距离内对图像的景深扩展和清晰度恢复均有不错的提升。

在一示例性实施例中，上述景深扩展网络模型的损失函数为上下文损失函数与均方误差损失函数的加权和。

具体的，已知 Contextualloss（上下文损失函数）具有对图像对齐误差不敏感的优势，但同时也存在对全局特征空间分布考虑不足的缺陷，容易导致网络输出图像出现斑块化的现象；而 MSE loss 虽然能够较好的兼顾全局特征，但对图像对齐误差非常敏感。

在一示例性实施例中，上述景深扩展网络模型的损失函数的公式如下所示：

$$\text{Loss} = k_1 * L_{\text{cont}} + k_2 * L_{\text{mse}}$$

其中 Loss 为景深扩展网络模型的损失函数， L_{cont} 为 Contextualloss， L_{mse}

为 MSE loss。Contextualloss 的初始权重 k_1 设置为 0.97，MSE loss 的初始权重 k_2 设置为 0.03。

通过将二者加权结合用来训练景深扩展网络模型，能使景深扩展网络模型更准确的恢复离焦图像的特征和更好的人眼视觉效果，实现更好的景深扩展效果。

如图 5 所示为不同种类的浮游生物经景深扩展网络模型输出的重建图像。在一示例性实施例中，本申请使用了训练数据中未出现的离焦图像对景深扩展网络模型的泛化性进行了评定，其中，DI 表示离焦图像，FE 表示经景深扩展网络模型重建后的图像，右上角数字为聚焦评价得分值。

图 5 中 A 和 B 中的莹虾、抱卵多毛和桡足虽然包含在训练数据集中，但其离焦程度更为复杂，例如莹虾身体的不同部位离焦情况不同；处于同一张图中的多毛和桡足的离焦情况也不同。而 C 和 D 中带卵的怪水蚤和尖笔帽螺不仅同样具有复杂的聚焦状态，其生物类别也不曾包含在训练数据集中。从每张 FE 图的视觉效果和聚焦得分结果来看，本申请中的景深扩展网络模型对这些未曾训练过并且内容复杂的浮游生物图像同样取得了有效的景深扩展效果，不仅如此，如 E 和 F 所示，本申请中的景深扩展网络模型对从未训练过的颗粒物图像一样得到了有效的景深扩展效果。

下述为本申请系统实施例，可以用于执行本申请所涉及的成像系统景深扩展方法。对于本申请系统实施例中未披露的细节，请参照本申请所涉及的成像系统景深扩展方法的方法实施例。

请参阅图 6，本申请实施例中提供了一种景深扩展成像系统，包括但不限于图像获取模块 310、图像重建模块 330。

其中，图像获取模块 310，用于获取离焦图像。

图像重建模块 330：用于根据景深扩展网络模型 331 将获取到的离焦图像重建为景深扩展图像。

其中，景深扩展模型 331 包括离焦距离估计子模型 3310 和景深扩展子模型

3330。

离焦距离估计子模型 3310：用于对离焦图像的离焦距离进行估计，得到离焦距离估计值，并将所述离焦距离估计值进行编码后传入所述景深扩展子网络，指导景深扩展子网络进行景深扩展。

景深扩展子模型 3330：用于对所述离焦图像进行特征提取，并结合所述离焦距离估计值进行解码，输出景深扩展重建图像。

需要说明的是，上述实施例所提供的景深扩展成像系统在进行成像景深扩展时，仅以上述各功能模块的划分进行举例说明，实际应用中，可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成，即景深扩展成像系统的内部结构将划分为不同的功能模块，以完成以上描述的全部或者部分功能。

另外，上述实施例所提供的景深扩展成像系统与成像系统景深扩展方法的实施例属于同一构思，其中各个模块执行操作的具体方式已经在方法实施例中进行了详细描述，此处不再赘述。

请参阅图 7，本申请实施例中提供了一种电子设备 4000，该电子设备 4000 可以是智能设备，智能设备具体可以包括成像流式细胞仪、水下剪影成像仪、暗场成像仪等等。

在图 7 中，该电子设备 4000 包括至少一个处理器 4001、至少一条通信总线 4002 以及至少一个存储器 4003。

其中，处理器 4001 和存储器 4003 相连，如通过通信总线 4002 相连。可选地，电子设备 4000 还可以包括收发器 4004，收发器 4004 可以用于该电子设备与其他电子设备之间的数据交互，如数据的发送和/或数据的接收等。需要说明的是，实际应用中收发器 4004 不限于一个，该电子设备 4000 的结构并不构成对本申请实施例的限定。

处理器 4001 可以是 CPU（Central Processing Unit，中央处理器），通用处理器，DSP（Digital Signal Processor，数字信号处理器），ASIC（Application Specific Integrated Circuit，专用集成电路），FPGA（Field Programmable Gate

Array，现场可编程门阵列）或者其他可编程逻辑器件、晶体管逻辑器件、硬件部件或者其任意组合。其可以实现或执行结合本申请公开内容所描述的各种示例性的逻辑方框，模块和电路。处理器 4001 也可以是实现计算功能的组合，例如包含一个或多个微处理器组合，DSP 和微处理器的组合等。

通信总线 4002 可包括一通路，在上述组件之间传送信息。通信总线 4002 可以是 PCI（Peripheral Component Interconnect，外设部件互连标准）总线或 EISA（Extended Industry Standard Architecture，扩展工业标准结构）总线等。通信总线 4002 可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示，图 7 中仅用一条粗线表示，但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。

存储器 4003 可以是 ROM（Read Only Memory，只读存储器）或可存储静态信息和指令的其他类型的静态存储设备，RAM（Random Access Memory，随机存取存储器）或者可存储信息和指令的其他类型的动态存储设备，也可以是 EEPROM（Electrically Erasable Programmable Read Only Memory，电可擦可编程只读存储器）、CD-ROM（Compact Disc Read Only Memory，只读光盘）或其他光盘存储、光碟存储（包括压缩光碟、激光碟、光碟、数字通用光碟、蓝光光碟等）、磁盘存储介质或者其他磁存储设备、或者能够用于携带或存储具有指令或数据结构形式的期望的程序代码并能够由计算机存取的任何其他介质，但不限于此。

存储器 4003 上存储有计算机程序，处理器 4001 通过通信总线 4002 读取存储器 4003 中存储的计算机程序。

该计算机程序被处理器 4001 执行时实现上述各实施例中的成像系统景深扩展方法。

此外，本申请实施例中提供了一种存储介质，该存储介质上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述各实施例中的成像系统景深扩展方法。

本申请实施例中提供了一种计算机程序产品，该计算机程序产品包括计算

机程序，该计算机程序存储在存储介质中。计算机设备的处理器从存储介质读取该计算机程序，处理器执行该计算机程序，使得该计算机设备执行上述各实施例中的成像系统景深扩展方法。

与相关技术相比，一方面，通过采集水中活体浮游生物不同离焦距离下的图像对，并利用采集到的图像对构建数据集，解决了相关技术中训练模型时缺少符合水下真实世界训练数据的问题；另一方面，根据构建的数据集训练景深扩展网络模型，利用训练好的网络模型对原始水下活体浮游生物离焦图像进行重建，得到了兼具大景深和高分辨率的水下活体浮游生物聚焦图像，有效解决了相关技术中在采集水中活体浮游生物图像时无法兼顾成像分辨率和景深，导致单帧图像对应的水体体积小，对浮游生物的原位观测效率低的问题。

应该理解的是，虽然附图的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示，但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明，这些步骤的执行并没有严格的顺序限制，其可以以其他的顺序执行。而且，附图的流程图中的至少一部分步骤可以包括多个子步骤或者多个阶段，这些子步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成，而是可以在不同的时刻执行，其执行顺序也不必然是依次进行，而是可以与其他步骤或者其他步骤的子步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

以上所述仅是本申请的部分实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本申请的保护范围。

权 利 要 求 书

1、一种成像系统景深扩展方法，其特征在于，所述方法包括：

获取离焦图像；

将所述离焦图像输入景深扩展网络模型进行景深扩展，得到景深扩展重建图像；

所述景深扩展网络模型包括离焦距离估计子网络和景深扩展子网络；

所述离焦距离估计子网络用于对所述离焦图像的离焦距离进行估计，得到离焦距离估计值，并将所述离焦距离估计值进行编码后传入所述景深扩展子网络，指导景深扩展子网络进行景深扩展；

所述景深扩展子网络用于对所述离焦图像进行特征提取，并结合所述离焦距离估计值进行解码，输出景深扩展重建图像。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述离焦距离估计子网络包括第一特征提取器、第一聚合器、回归器以及编码器；

所述第一特征提取器用于提取所述离焦图像的特征；

所述第一聚合器用于将所述离焦图像的特征聚合成若干个向量；

所述回归器用于根据聚合到的若干个向量与实际离焦距离进行回归分析，并取离焦距离回归值均值作为所述离焦图像的离焦距离估计值；

所述编码器用于对所述离焦距离估计值进行维度变换。

3、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述景深扩展子网络包括第二特征提取器、第二聚合器以及解码器；

所述第二特征提取器用于提取所述离焦图像的特征图；

所述第二聚合器用于将维度变换后的离焦距离估计矢量与所述特征图进行结合得到融合图；

所述解码器用于将所述融合图进行维度变换，得到清晰图像的 RGB 值，融合得到复原后的景深扩展重建图像。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述第二聚合器的聚合公式为：

$$fm_{ref} = \alpha fm_{ex} + \beta$$

其中, fm_{ref} 为聚合后的特征图, fm_{ex} 为第二特征提取器提取到的特征图, α 和 β 为将离焦距离估计值进行维度变换后得到的离焦距离估计矢量。

5、如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述景深扩展网络模型是基于图像数据集训练得到的; 所述图像训练集包括多个模糊-清晰图像对。

6、如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述景深扩展网络模型的损失函数为上下文损失函数与均方误差损失函数的加权和。

7、如权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述景深扩展网络模型的损失函数公式为:

$$\text{Loss} = k_1 * L_{\text{cont}} + k_2 * L_{\text{mse}}$$

其中, Loss 为景深扩展网络模型的损失函数, L_{cont} 为上下文损失函数, L_{mse} 为均方误差损失函数。上下文损失函数的初始权重 k_1 设置为 0.97, 均方误差损失函数的初始权重 k_2 设置为 0.03。

8、一种景深扩展成像系统, 其特征在于, 所述系统包括:

图像获取模块, 用于获取离焦图像;

图像重建模块, 用于将获取到的离焦图像通过景深扩展网络模型重建为景深扩展图像;

所述景深扩展网络模型包括离焦距离估计子网络和景深扩展子网络;

所述离焦距离估计子网络用于对离焦图像的离焦距离进行估计, 得到离焦距离估计值, 并将所述离焦距离估计值进行编码后传入所述景深扩展子网络, 指导景深扩展子网络进行景深扩展;

所述景深扩展子网络用于对所述离焦图像进行特征提取, 并结合所述离焦距离估计值进行解码, 输出景深扩展重建图像。

9、一种电子设备, 其特征在于, 包括: 至少一个处理器、至少一个存储器、以及至少一条通信总线, 其中,

所述存储器上存储有计算机程序, 所述处理器通过所述通信总线读取所述存储器中的所述计算机程序;

所述计算机程序被所述处理器执行时实现权利要求 1 至 7 中任一项所述的成像系统景深扩展方法。

10、一种存储介质，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如权利要求 1 至 7 中任一项所述成像系统景深扩展方法。

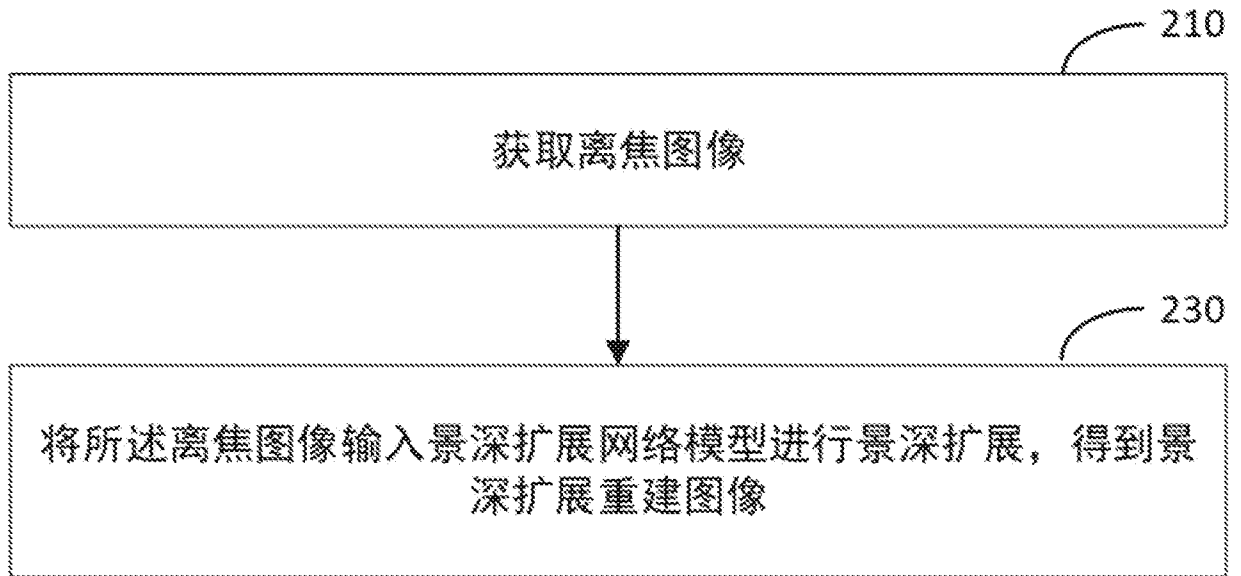


图 1

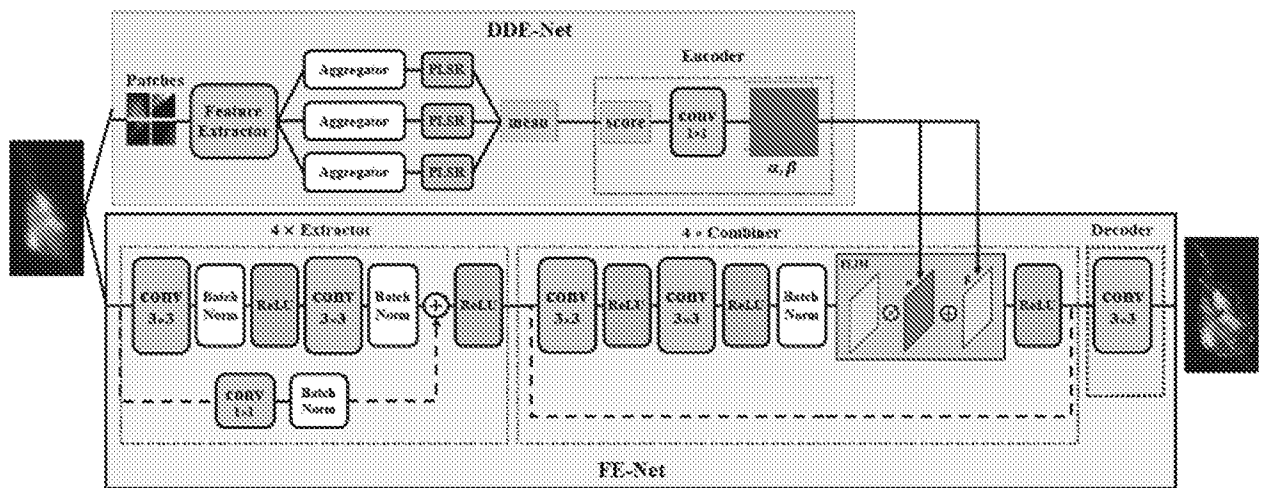


图 2

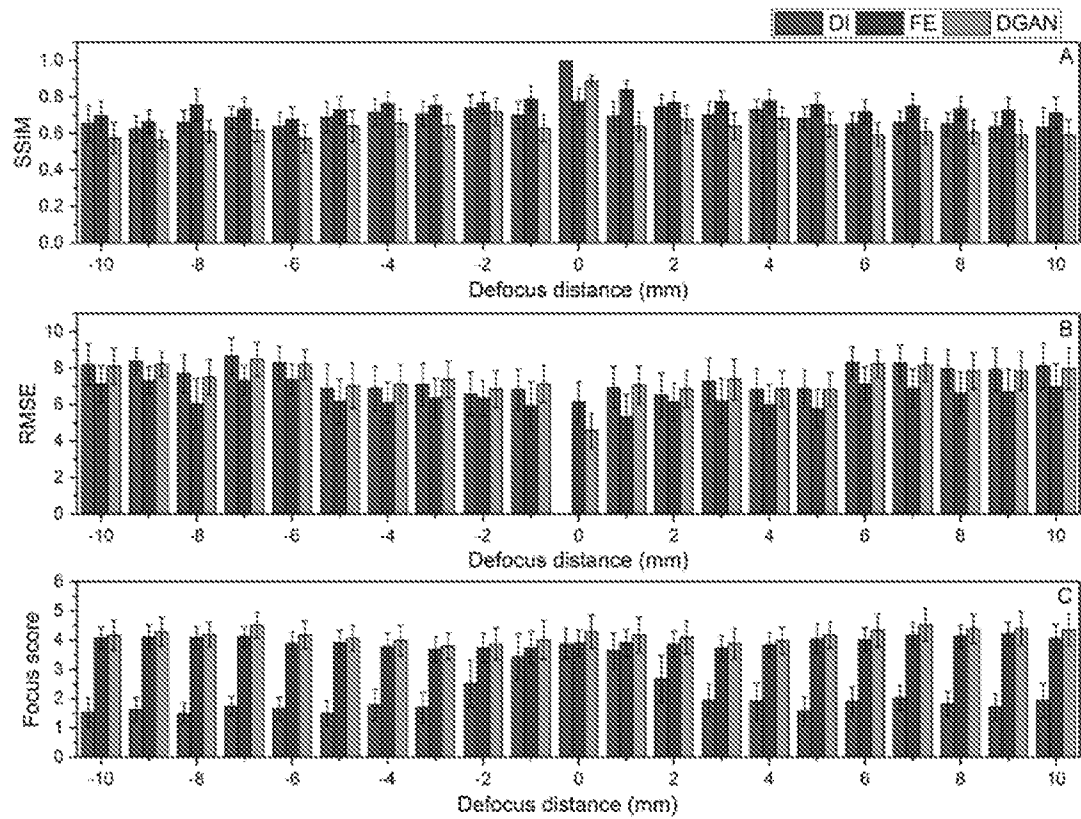


图 3

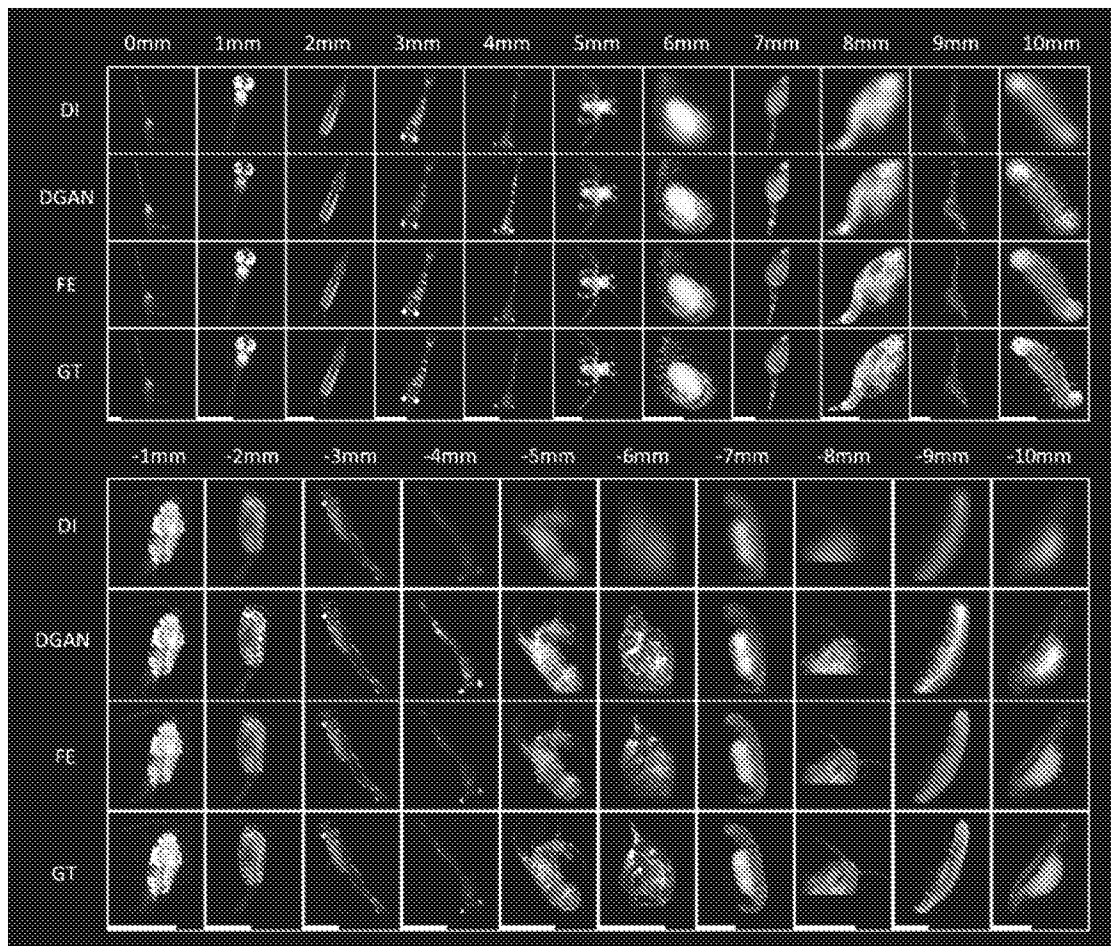


图 4

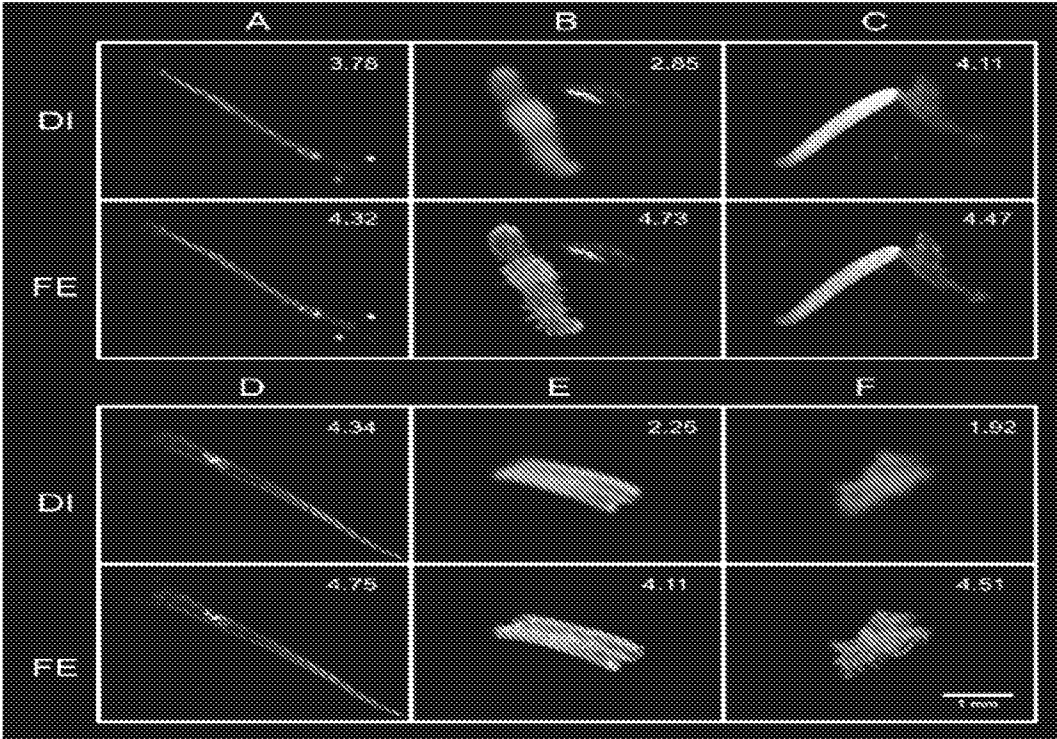


图 5

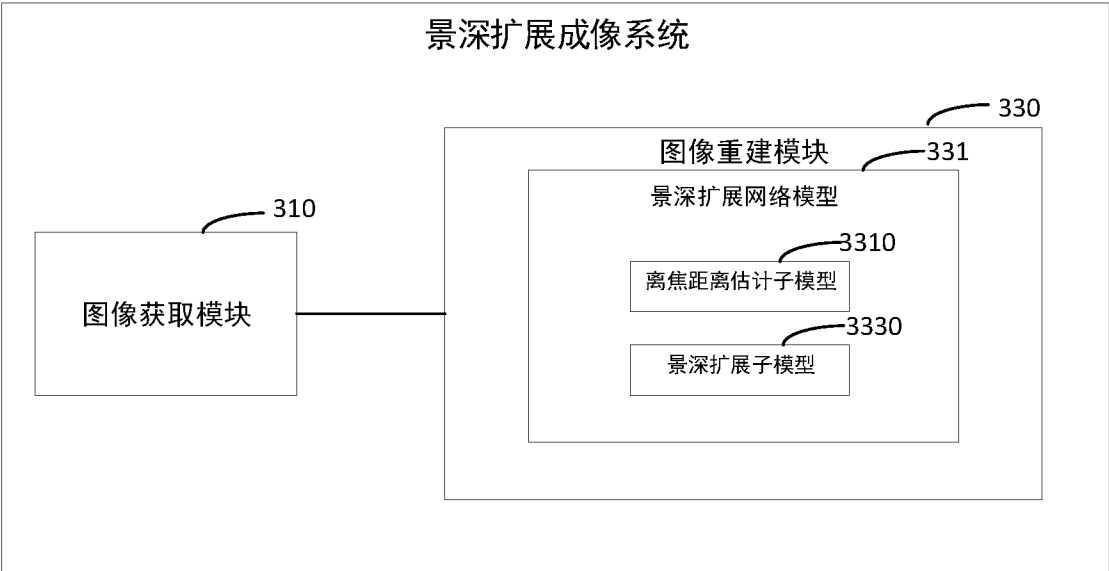


图 6

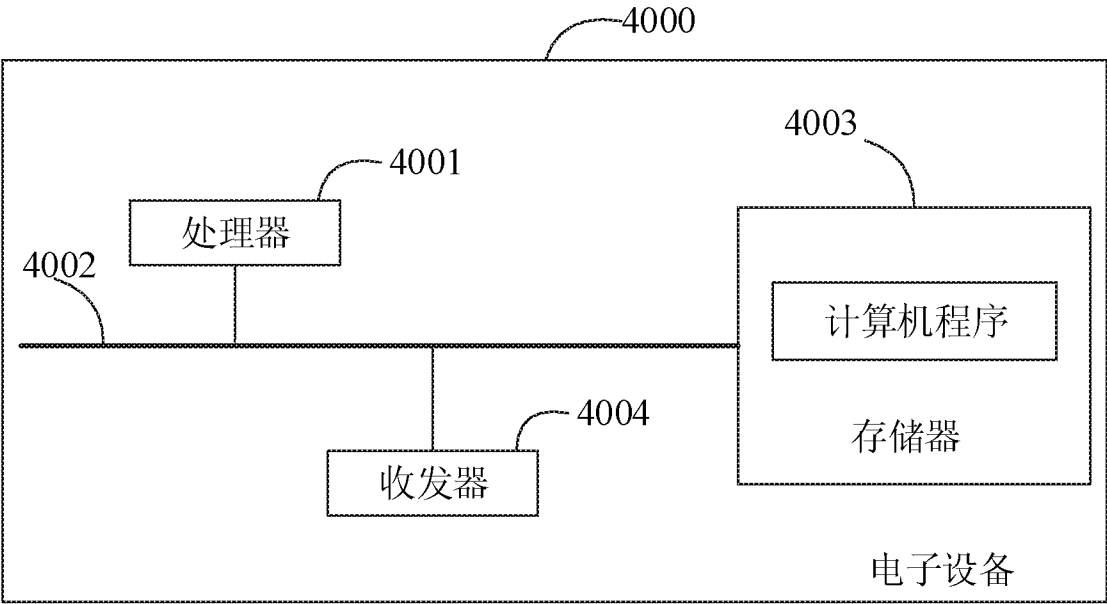


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/137712

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T5/00(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)

IPC:G06T,G06N,G06F

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)

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 离焦, 失焦, 跑焦, 偏焦, 虚焦, 景深, 距离, 远近, 长度, 扩展, 估计, 特征, 提取, 焦深, 广角, 聚焦, 景物深度, 扩张, 延伸, 延长, 延展, 拓展, 子网络, 暗场, 水下, 浮游, 网络, defocus, focus, distance, focal, depth, field, scenery, expansion, stretch+, lenth, space, cap, near+, range+, dark, field

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112070887 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 11 December 2020 (2020-12-11) description, paragraphs 0007-0022, and figures 1-2	1-10
A	CN 115170429 A (TSINGHUA SHENZHEN INTERNATIONAL GRADUATE SCHOOL et al.) 11 October 2022 (2022-10-11) entire document	1-10
A	CN 114897752 A (SICHUAN UNIVERSITY) 12 August 2022 (2022-08-12) entire document	1-10
A	CN 115359105 A (HONOR DEVICE CO., LTD.) 18 November 2022 (2022-11-18) entire document	1-10
A	US 2013010067 A1 (VEERARAGHAVAN, Ashok et al.) 10 January 2013 (2013-01-10) 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
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “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

13 June 2023

Date of mailing of the international search report

23 June 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/137712

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112070887	A	11 December 2020	None			
CN	115170429	A	11 October 2022	None			
CN	114897752	A	12 August 2022	None			
CN	115359105	A	18 November 2022	None			
US	2013010067	A1	10 January 2013	JP	2013021682	A	31 January 2013
				JP	5762356	B2	12 August 2015
				US	8432434	B2	30 April 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/137712

A. 主题的分类

G06T5/00 (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)

IPC: G06T, G06N, G06F

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))

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CN-KI, IEEE: 离焦, 失焦, 跑焦, 偏焦, 虚焦, 景深, 距离, 远近, 长度, 扩展, 估计, 特征, 提取, 焦深, 广角, 聚焦, 景物深度, 扩张, 延伸, 延长, 延展, 拓展, 子网络, 暗场, 水下, 浮游, 网络, defocus, focus, distance, focal, depth, field, scenery, expansion, stretch+, lenth, space, cap, near+, range+, dark, field

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
A	CN 112070887 A (哈尔滨工业大学) 2020年12月11日 (2020 - 12 - 11) 说明书第0007-0022段, 附图1-2	1-10
A	CN 115170429 A (清华大学深圳国际研究生院 等) 2022年10月11日 (2022 - 10 - 11) 全文	1-10
A	CN 114897752 A (四川大学) 2022年8月12日 (2022 - 08 - 12) 全文	1-10
A	CN 115359105 A (荣耀终端有限公司) 2022年11月18日 (2022 - 11 - 18) 全文	1-10
A	US 2013010067 A1 (VEERARAGHAVAN, Ashok et al.) 2013年1月10日 (2013 - 01 - 10) 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

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“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

2023年6月13日

国际检索报告邮寄日期

2023年6月23日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

马美红

电话号码 (+86) 010-53961516

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/137712

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	112070887	A	2020年12月11日	无			
CN	115170429	A	2022年10月11日	无			
CN	114897752	A	2022年8月12日	无			
CN	115359105	A	2022年11月18日	无			
US	2013010067	A1	2013年1月10日	JP	2013021682	A	2013年1月31日
				JP	5762356	B2	2015年8月12日
				US	8432434	B2	2013年4月30日