

(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
2019 年 2 月 28 日 (28.02.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/037487 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 7/50 (2017.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/087424

(22) 国际申请日: 2018 年 5 月 18 日 (18.05.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710717259.1 2017年8月21日 (21.08.2017) CN

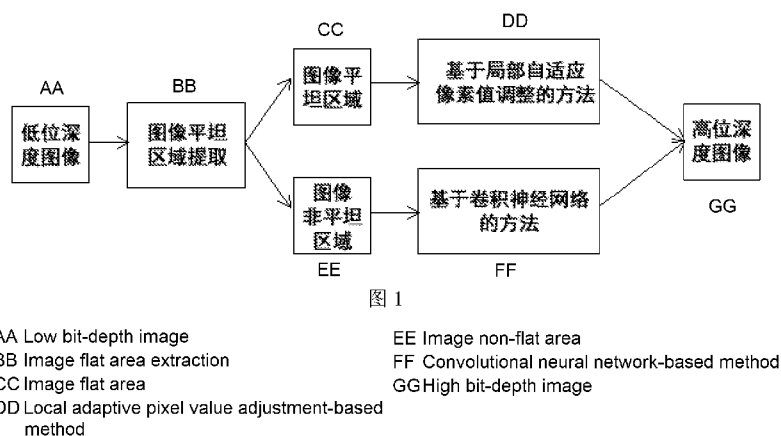
(71) 申请人: 北京大学深圳研究生院(PEKING UNIVERSITY SHENZHEN GRADUATE SCHOOL) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽镇丽水路深圳大学城北大校区, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 赵洋(ZHAO, Yang); 中国广东省深圳市南山区西丽镇丽水路深圳大学城北大校区, Guangdong 518055 (CN)。王荣刚(WANG, Ronggang); 中国广东省深圳市南山区西丽镇丽水路深圳大学城北大校区, Guangdong 518055 (CN)。高文(GAO, Wen); 中国广东省深圳市南山区西丽镇丽水路深圳大学城北大校区, Guangdong 518055 (CN)。王振宇(WANG, Zhenyu); 中国广东省深圳市南山区西丽镇丽水路深圳大学城北大校区, Guangdong 518055 (CN)。王文敏(WANG, Wenmin); 中国广东省深圳市南山区西丽镇丽水路深圳大学城北大校区, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京万象新悦知识产权代理事务所(普通合伙)(BEIJING WANXIANGXIN YUE INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国北京

(54) Title: HYBRID FRAMEWORK-BASED IMAGE BIT-DEPTH EXPANSION METHOD AND DEVICE

(54) 发明名称: 基于混合框架的图像位深度扩展方法及装置



(57) Abstract: A hybrid framework-based image bit-depth expansion method and device. The invention fuses a traditional de-banding algorithm and a depth network-based learning algorithm, and can remove unnatural effects in an image flat area whilst more realistically restoring numerical information of missing bits. The method comprises the extraction of an image flat area, local adaptive pixel value adjustment-based flat area bit-depth expansion and convolutional neural network-based non-flat area bit-depth expansion. The present invention uses a learning-based method to train an effective depth network to solve the problem of realistically restoring missing bits, whilst using a simple and robust local adaptive pixel value adjustment method in a flat area to effectively inhibit unnatural effects in the flat area such as banding, a ringing and flat noise, improving subjective visual quality of the flat area.

(57) 摘要: 一种基于混合框架的图像位深度扩展方法及装置, 通过融合传统去带效应算法和基于深度网络的学习算法, 可较好的移除图像平坦区域的不自然效应, 同时更逼真的恢复所缺失的比特位的数值信息; 包括图像平坦区域的提取、基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展和基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展。本发明采用基于学习的方法, 通过训练有效的深度网络来解决逼真的恢复缺失比特位问题; 同时, 针对平坦区域使用简单而鲁棒的局部自适应像素值调整的方法, 有效抑制平坦区域的带效应、振铃效应、以及平坦噪声等不自然效应, 提升平坦区域的主观视觉质量。

市海淀区颐和园路1号北京资源燕园宾馆
六层1625号, Beijing 100080 (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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, 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))。

基于混合框架的图像位深度扩展方法及装置

技术领域

本发明属于图像处理技术领域，涉及图像位深度扩展与增强处理技术，尤其涉及一种基于混合框架的图像位深度扩展方法及装置，该混合框架融合了自适应像素值调整与基于卷积神经网络的重建技术。

背景技术

图像位深度扩展 (Bit-Depth Expansion) 指的是通过低位深度的图像恢复高位深度的图像。图像的位深度 (Bit-Depth) 即图像中每个像素的值的二进制位的个数，例如 8 位深 (8-bits) 的图像中像素的取值范围为 0~255。图像的位深度越高，所能体现的亮度变化即更为细腻。人眼所能感知的位深度在 12~14 bits，因而我们常常会感到通过 8 bits 显示器看到的图像和眼睛所见到的画面有所差异，图像及图像显示的位深度不足是其中的一个重要原因。随着图像显示技术的不断发展，图像位深度扩展在图像显示、图像编辑、高清电视等领域有着潜在的广泛应用前景。

现有最经典的图像位深度扩展算法包括：零扩展 (Zero Padding) 方法，通过图像像素值按比特位进行位移来提升位深度，位移产生的新比特位全部补 0；理想增益 (Ideal Gain) 方法，通过乘以位深度提升的因子来对低位深的像素值进行放大，以提升位深度；位复制 (Bit Replication) 方法，与零扩展方法相似先进行比特位位移，但位移产生的新比特位通过复制之前的比特位来得到。但是这些经典方法会产生一些不自然效应，例如在平坦区域的带 (Banding) 效应、振铃 (Ringing) 效应、以及平坦区域噪声，等。

近年来，一些聚焦于消除带效应的位深度扩展方法的提出，一定程度上降低了平坦区域的不自然效应。但是，目前的位深度扩展方法多为传统非学习方法，使用固定策略来填补缺失的比特位信息，而对缺失的比特位的真实数值的重建能力较弱，同时在去带效应的同时又常常导致非平坦区域高频细节的损失。现有方法难以实现通过低位深度图像恢复出无不自然效应、高频纹理细节有更高保真度的高位深度图像。

发明内容

为了克服上述现有技术的不足，本发明提供一种基于混合框架的图像位深度扩展方法及装置，通过融合传统去带效应算法和基于深度网络的学习算法，可以较好的移除图像平坦区

域的不自然效应，同时更逼真的恢复所缺失的比特位的数值信息。

本发明提供的技术方案是：

一种基于混合框架的图像位深度扩展方法，包括图像平坦区域的提取过程、基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展过程、基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展过程；具体包括如下步骤：

第一步：图像平坦区域的提取，将图像划分为平坦区域和纹理（非平坦）区域；

根据局部数值变化的程度提取图像的平坦区域，将图像划分为平坦区域和纹理（非平坦）区域，以便于后续对平坦区域和纹理（非平坦）区域进行分别处理；具体使用局部平均像素值差异信息来衡量局部数值变化的程度，计算方式如式 1：

$$D = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (g_i - \bar{g}) \quad (\text{式 1})$$

其中， P 为局部总的像素个数， g_i ($i = 1, 2, \dots, P$) 为局部的每个像素， $\bar{g}$ 为局部平均像素值。完成计算每个局部像素值差异 D 之后，可以得到整副图像的平均局部像素值差异 $\bar{D}$ 。因为平坦区域的局部像素值变化较为缓慢，即差异 D 数值较小，所以通过引入系数 λ ，如果局部区域满足 $D \leq \lambda \bar{D}$ ，则该局部区域为平坦区域，反之则为非平坦的区域。该系数 λ 的取值范围为 0.1~0.2。

第二步：基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展过程，消除低位深度图像平坦区域的不自然效应；

为消除低位深度图像在平坦区域的不自然效应，首先定位与某邻居像素值差异为 1 的位变化像素，再依据该像素周围像素的位深度信息自适应的调整该像素的值，使得位变化更加自然，消除带效应等不自然效应；

在图像的平坦区域，本发明使用基于局部自适应像素值调整的方法来消除低位深度图像中的平坦区域带效应和噪声等不自然效应。假定输入为位深度为 1-bits 的低位深度图像 Y ，位深度扩展后获取的高位深度图像 X 的位深度为 h -bits。

因为平坦区域的带效应存在于比特位数值差异为 1 的像素处，因而将满足 $|g_i - g_c| = 1$ 的像素点 g_c 称为等高线点（Contour Pixel），而 g_i 为该点的邻居像素。本发明中使用与像素点相邻的 8 个像素作为其邻居像素。

对于每个等高线点，可以通过式 2、式 3 计算其提升因子 σ_+ 和抑制因子 σ_- ：

$$\sigma_+ = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 S(g_i - g_c = 1), \quad S(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{if } x \text{ is false} \end{cases} \quad (\text{式 2})$$

$$\sigma_- = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 S(g_i - g_c = -1), \quad S(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{if } x \text{ is false} \end{cases} \quad (\text{式 } 3)$$

然后, 可以通过式 4 得到该等高线点位深度提升后的像素值:

$$g_c^* = ZP(g_c) + \alpha(\sigma_+ - \sigma_-)2^{h-l} \quad (\text{式 } 4)$$

其中, $ZP(g_c)$ 为对像素值 g_c 使用传统零扩展方法提高位深度, α 为调整值参数, 默认为 0.125, 可以通过调节该参数以提高或降低去噪程度。

第三步: 基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展过程。

该过程首先使用大量的低比特位图像和对应的高比特位图像训练一个放大残差学习的卷积神经网络, 再通过使用该网络重建更加准确的缺失比特位数值信息。

本发明使用放大残差学习的卷积神经网络来学习图像的缺失位深度重建。因为在位深度扩展中, 所缺失和增加的比特位均为最末尾的比特位, 因而缺失量的数值较小。为了有效训练网络以重建缺失的比特位信息, 在深度网络训练的过程中, 本发明使用低位深度图像 $\mathbf{Y}$ 作为输入, 将对应的高位深度图像 $\mathbf{X}$ 与 $\mathbf{Y}$ 的残差 $(\mathbf{X} - \mathbf{Y})$ 经过因子 β 放大后的值 $\beta(\mathbf{X} - \mathbf{Y})$ 作为标定真实值。

对于输入 $\mathbf{Y}$, 该卷积神经网络 F 的重建结果定义为 $F(\mathbf{Y})$, 则最终重建的高位深度图像表示为式 5:

$$\mathbf{X}^* = \mathbf{Y} + \frac{F(\mathbf{Y})}{\beta} \quad (\text{式 } 5)$$

其中, $\beta = \frac{2^h - 1}{2^{h-l} - 1}$; $\mathbf{X}^*$ 为最终重建的高位深度图像。

自适应像素值调整的方法可以更好的抑制平坦区域不自然效应, 但会引入非平坦区域模糊, 进一步损失高频细节信息; 基于卷积神经网络的方法可以更准确的恢复缺失的比特位数值, 但平坦区域的主观质量仍受到带效应和噪声的影响。通过对平坦区域和非平坦区域采用不同方法, 在平坦区域使用基于自适应像素调整方法的结果, 而在非平坦的非平坦区域使用卷积神经网络重建的结果, 最终得到高位深度图像, 由此达到综合上述两种方法各自优势的技术效果。

本发明还提供一种基于混合框架的图像位深度扩展装置, 如图 1 所示, 它包括三个模块, 一个图像平坦区域提取模块, 一个基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展模块, 一个基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展模块。

图像平坦区域提取模块: 对于位深度扩展问题, 在平坦区域的主要目标是消除带效应等不自然效应, 提高直观视觉质量, 在非平坦区域的主要目标是尽可能的恢复高逼真的高频细

节。因而，首先我们使用局部平均像素值差异信息来提取图像的平坦区域，将图像划分为平坦区域和纹理（非平坦）区域，然后分别处理。

基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展模块：为消除低位深度图像在平坦区域的不自然效应，首先定位与某邻居像素值差异为 1 的位变化像素，再依据该像素周围像素的位深度信息自适应的调整该像素的值，使得位变化更加自然，消除带效应等不自然效应。

基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展模块：图像位深度在降低的过程会丢失舍弃的比特位的数值信息，因而恢复这些比特位的数值是一个病态问题，而传统的比特位深度扩展的方法多基于简单策略，缺乏使用有效的基于学习的重建算法。我们首先使用大量的低比特位图像和对应的高比特位图像训练一个放大残差学习的卷积神经网络，再通过使用该网络重建更加准确的缺失比特位数值信息。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：

目前的图像位深度扩展方法多基于传统的聚焦于如何消除平坦区域的带效应的方法，难以解决如何高逼真度的恢复缺失的比特位的技术问题。本发明提供一种基于混合框架的图像位深度扩展方法及其装置，通过融合传统去带效应算法和基于深度网络的学习算法，可以较好的移除图像平坦区域的不自然效应，同时更逼真的恢复所缺失的比特位的数值信息。

本发明使用了基于学习的方法，通过训练有效的深度网络来解决逼真的恢复缺失比特位这一病态问题。同时，针对平坦区域，本发明使用了简单而鲁棒的局部自适应像素值调整的方法，可以有效的抑制平坦区域的带效应、振铃效应、以及平坦噪声等不自然效应，以提升平坦区域的主观视觉质量。

附图说明

图 1 是本发明方法的流程框图。

图 2 是本发明采用的卷积神经网络方法的流程框图。

图 3 是采用本发明和几种现有方法从 6bits 到 8bits 图像重建时，重建图像主观质量的效果对比图；

其中，左上角图像为图像中所选取的平坦区域位置示意，该平坦图像区域使用不同方法进行位深度扩展的结果分别为，(a) 为零扩展方法，(b) 为位复制方法，(c) 为理想增益方法，(d) 为本发明方法，(e) 为真实图像。

具体实施方式

下面结合附图，通过实施例进一步描述本发明，但不以任何方式限制本发明的范围。

本发明提供一种基于混合框架的图像位深度扩展方法，通过融合传统去带效应算法和基于深度网络的学习算法，可以较好的移除图像平坦区域的不自然效应，同时更逼真的恢复所缺失的比特位的数值信息。

图 1 所示是本发明方法的流程，包括图像平坦区域的提取过程、基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展过程、基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展过程，具体包括如下步骤：

第一步：图像平坦区域的提取。

本发明使用局部像素值差异来衡量局部数值变化的程度，其计算方式如式 1：

$$D = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (g_i - \bar{g}) \quad (\text{式 1})$$

其中， P 为局部总的像素个数， g_i ($i = 1, 2, \dots, P$) 为局部的每个像素， $\bar{g}$ 为局部平均像素值。完成计算每个局部像素值差异 D 之后，可以得到整副图像的平均局部像素值差异 $\bar{D}$ 。因为平坦区域的局部像素值变化较为缓慢，即差异 D 数值较小，所以通过引入系数 λ ，如果局部区域满足 $D \leq \lambda \bar{D}$ ，则该局部区域为平坦区域，反之则为非平坦的区域。

第二步：基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展。

在图像的平坦区域，本发明使用基于局部自适应像素值调整的方法来消除低位深度图像中的平坦区域带效应和噪声等不自然效应。假定输入为位深度为 l -bits 的低位深度图像 Y ，位深度扩展后获取的高位深度图像 X 的位深度为 h -bits。

因为平坦区域的带效应存在于比特位数值差异为 1 的像素处，因而我们将满足 $|g_i - g_c| = 1$ 的像素点 g_c 称为等高线点 (Contour Pixel)，而 g_i 为该点的邻居像素。本发明中使用与像素点相邻的 8 个像素作为其邻居像素。

对于每个等高线点，我们可以计算其提升因子 σ_+ 和抑制因子 σ_- ，具体计算公式如下：

$$\sigma_+ = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 S(g_i - g_c = 1), \quad S(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{if } x \text{ is false} \end{cases} \quad (\text{式 2})$$

$$\sigma_- = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 S(g_i - g_c = -1), \quad S(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{if } x \text{ is false} \end{cases} \quad (\text{式 3})$$

然后，我们可以通过式 4 得到该等高线点位深度提升后的像素值，为：

$$g_c^* = ZP(g_c) + \alpha(\sigma_+ - \sigma_-)2^{h-l} \quad (\text{式 4})$$

其中， $ZP(g_c)$ 为对像素值 g_c 使用传统零扩展方法提高位深度， α 为调整值参数，默认为

0.125, 可以通过调节该参数以提高或降低去噪程度。

第三步：基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展。

本发明使用放大残差学习的卷积神经网络来学习图像的缺失位深度重建。因为在位深度扩展中, 所缺失和增加的比特位均为最末尾的比特位, 因而缺失量的数值较小。为了有效训练网络以重建缺失的比特位信息, 在深度网络训练的过程中, 本发明使用低位深度图像 $\mathbf{Y}$ 作为输入, 将对应的高位深度图像 $\mathbf{X}$ 与 $\mathbf{Y}$ 的残差 $(\mathbf{X} - \mathbf{Y})$ 经过因子 β 放大后的值 $\beta(\mathbf{X} - \mathbf{Y})$ 作为标定真实值。

对于输入 $\mathbf{Y}$, 该卷积神经网络 F 的重建结果定义为 $F(\mathbf{Y})$, 则最终重建的高位深度图像表示为式 5:

$$\mathbf{X}^* = \mathbf{Y} + \frac{F(\mathbf{Y})}{\beta} \quad (\text{式 } 5)$$

其中, $\beta = \frac{2^h - 1}{2^{h-l} - 1}$; $\mathbf{X}^*$ 为使用卷积网络重建获取的高位深度图像。

本发明所采用的卷积神经网络的结构如图 2 所示, 其结构依次为:

- a. 3×3 卷积核构成的输入层, 该输入层将输入图像输出为 64 张特征图像;
- b. 3×3 卷积核构成的卷积层, 输出为 64 张特征图像;
- c. 批正则化层;
- d. ReLU 激励函数层;
- e. 3×3 卷积核构成的卷积层, 输出为 64 张特征图像;
- f. 批正则化层;
- g. ReLU 激励函数层;
- h. 3×3 卷积核构成的卷积层, 输出为 64 张特征图像;
- i. 批正则化层;
- j. ReLU 激励函数层;
- k. 1×1 卷积核构成的卷积层, 输出为 64 张特征图像;
- l. 批正则化层;
- m. ReLU 激励函数层;
- n. 3×3 卷积核构成的输出层, 输出为 1 张重建残差图像 $F(\mathbf{Y})$ 。

自适应像素值调整的方法可以更好的抑制平坦区域不自然效应, 但会引入非平坦区域模糊, 进一步损失高频细节信息; 基于卷积神经网络的方法可以更准确的恢复缺失的比特位数值, 但平坦区域的主观质量仍受到带效应和噪声的影响。通过综合这两种方法各自的优势,

我们在平坦区域使用基于自适应像素调整方法的结果，而在非平坦的区域使用卷积神经网络重建的结果，融合两种方法最终得到高位深度图像。

表 1 给出了从 6bits 到 8bits 图像重建时在若干数据集上本发明方法与三种传统方法（零扩展、位复制、理想增益）的峰值信噪比（PSNR）效果比较，Set5、Set14、Kodak 和 B100 为 4 个图像测试集；通过数值比较可以看出，通过使用基于卷积神经网络的学习方法，可以更准确的恢复出缺失位的数值信息，从而还原更为逼真的纹理高频细节。

表 1 不同测试集上 6bit 到 8bit 重建的平均峰值信噪比(PSNR)对比

	零扩展方法	位复制方法	理想增益方法	本发明方法
Set5	43.26	45.53	46.29	46.64
Set14	42.87	45.58	46.18	46.22
Kodak	42.61	45.49	46.10	46.36
B100	42.64	45.17	45.87	46.32

图 3 给出了从 6bits 到 8bits 图像重建时本发明和几种现有传统方法的重建图像主观质量的对比，可以看出，本发明的方法重建图像的平坦区域的带效应和噪声都得到很好的抑制，从而提高了主观视觉质量。

需要注意的是，公布实施例的目的在于帮助进一步理解本发明，但是本领域的技术人员可以理解：在不脱离本发明及所附权利要求的精神和范围内，各种替换和修改都是可能的。因此，本发明不应局限于实施例所公开的内容，本发明要求保护的范围以权利要求书界定的范围为准。

权 利 要 求 书

1、一种基于混合框架的图像位深度扩展方法，包括图像平坦区域的提取过程、基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展过程、基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展过程；包括如下步骤：

第一步：提取图像的平坦区域，将图像划分为平坦区域和非平坦区域；

第二步：对平坦区域，基于局部自适应像素值调整进行位深度扩展；包括：

首先定位与邻居像素值有差异的位变化像素；

再依据该像素周围像素的位深度信息，使用基于局部自适应像素值调整的方法，自适应调整该像素的值，由此消除低位深度图像平坦区域的不自然效应；

第三步：对非平坦区域，基于卷积神经网络进行位深度扩展；包括：

首先使用大量的低比特位图像和对应的高比特位图像训练一个放大残差学习的卷积神经网络；

再通过使用训练好的卷积神经网络重建更加准确的缺失比特位数值信息；

完成基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展过程；

通过上述步骤实现图像的位深度扩展。

2、如权利要求 1 所述基于混合框架的图像位深度扩展方法，其特征是，第一步中将图像划分为平坦区域和非平坦区域具体包括如下步骤：

11) 使用局部平均像素值差异信息来衡量局部数值变化的程度，计算方式如式 1：

$$D = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (g_i - \bar{g}) \quad (\text{式 1})$$

其中，D 为每个局部像素值差异；P 为局部总的像素个数； g_i ($i = 1, 2, \dots, P$) 为局部的每个像素； $\bar{g}$ 为局部平均像素值；

12) 根据每个局部像素值差异 D 得到整副图像的平均局部像素值差异 $\bar{D}$ ；

13) 平坦区域的局部像素值变化较为缓慢，即差异 D 数值较小；引入系数 λ ，如果局部区域满足 $D \leq \lambda \bar{D}$ ，则该局部区域为平坦区域，反之则为非平坦的区域。

3、如权利要求 1 所述基于混合框架的图像位深度扩展方法，其特征是，第二步针对图像的平坦区域，使用基于局部自适应像素值调整的方法，以消除低位深度图像中的平坦区域的不自然效应；具体地，假定输入为位深度为 l-bits 的低位深度图像 Y，位深度扩展后获取的高位深度图像 X 的位深度为 h-bits；

平坦区域的带效应存在于比特位数值差异为 1 的像素处，将满足 $|g_i - g_c| = 1$ 的像素点 g_c

称为等高线点， g_i 为该点的邻居像素；使用与像素点相邻的 8 个像素作为该像素点的邻居像素；

对每个等高线点，通过式 2、式 3 计算等高线点的提升因子 σ_+ 和抑制因子 σ_- ：

$$\sigma_+ = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 S(g_i - g_c = 1), \quad S(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{if } x \text{ is false} \end{cases} \quad (\text{式 } 2)$$

$$\sigma_- = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 S(g_i - g_c = -1), \quad S(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{if } x \text{ is false} \end{cases} \quad (\text{式 } 3)$$

然后，通过式 4 得到该等高线点位深度提升后的像素值：

$$g_c^* = ZP(g_c) + \alpha(\sigma_+ - \sigma_-)2^{h-1} \quad (\text{式 } 4)$$

其中， $ZP(g_c)$ 对像素值 g_c 使用零扩展方法提高位深度； α 为调整值参数，可通过调节该参数以提高或降低去噪程度。

4、如权利要求 3 所述基于混合框架的图像位深度扩展方法，其特征是，所述调整值参数 α 取值为 0.125。

5、如权利要求 1 所述基于混合框架的图像位深度扩展方法，其特征是，第三步在卷积神经网络训练的过程中，使用低位深度图像 Y 作为输入，将对应的高位深度图像 X 与 Y 的残差 $(X - Y)$ 经过因子 β 放大后的值 $\beta(X - Y)$ 作为标定真实值；对于输入 Y ，将该卷积神经网络 F 的重建结果定义为 $F(Y)$ ，则最终重建的高位深度图像表示为式 5：

$$X^* = Y + \frac{F(Y)}{\beta} \quad (\text{式 } 5)$$

其中， $\beta = \frac{2^h - 1}{2^{h-1} - 1}$ ； X^* 为使用卷积网络重建的高位深度图像。

6、如权利要求 5 所述基于混合框架的图像位深度扩展方法，其特征是，卷积神经网络的结构依次包括：

- a. 3×3 卷积核构成的输入层，该输入层将输入图像输出为 64 张特征图像；
- b. 3×3 卷积核构成的卷积层，输出为 64 张特征图像；
- c. 批正则化层；
- d. ReLU 激励函数层；
- e. 3×3 卷积核构成的卷积层，输出为 64 张特征图像；
- f. 批正则化层；
- g. ReLU 激励函数层；
- h. 3×3 卷积核构成的卷积层，输出为 64 张特征图像；
- i. 批正则化层；

j. ReLU 激励函数层；

k. 1×1 卷积核构成的卷积层，输出为 64 张特征图像；

l. 批正则化层；

m. ReLU 激励函数层；

n. 3×3 卷积核构成的输出层，输出为 1 张重建残差图像 $F(Y)$ 。

7、利用权利要求 1~6 所述基于混合框架的图像位深度扩展方法实现的基于混合框架的图像位深度扩展装置，其特征是，包括图像平坦区域提取模块、基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展模块和基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展模块；

所述图像平坦区域提取模块用于将图像划分为平坦区域和非平坦区域；

所述基于局部自适应像素值调整的平坦区域位深度扩展模块用于针对平坦区域，基于局部自适应像素值调整，消除低位深度图像在平坦区域的不自然效应；

所述基于卷积神经网络的非平坦区域位深度扩展模块用于针对非平坦区域，基于卷积神经网络进行位深度扩展。

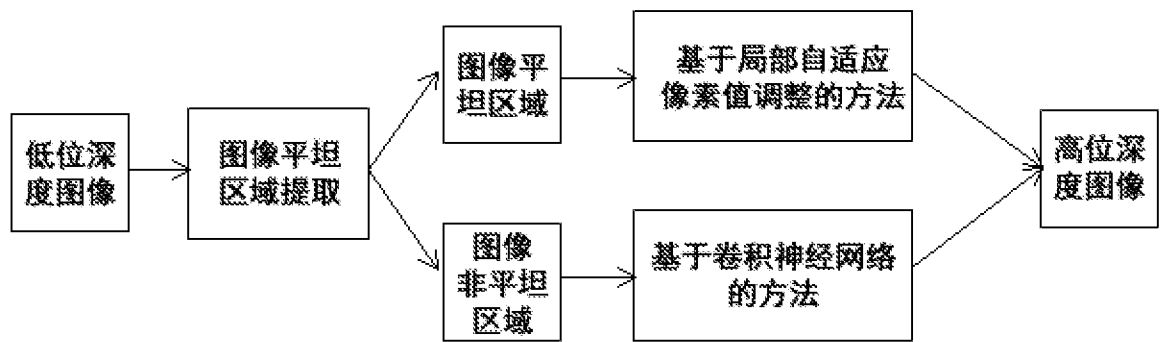


图 1

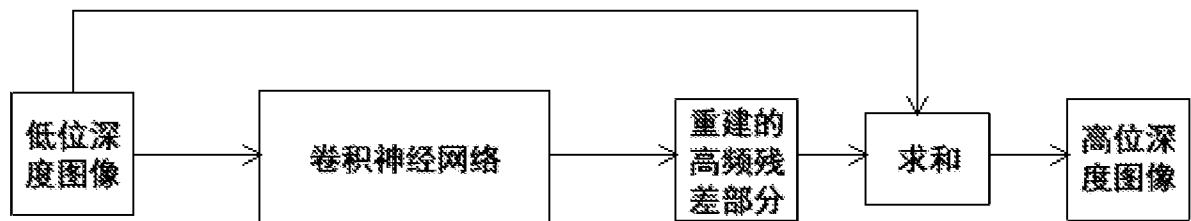


图 2

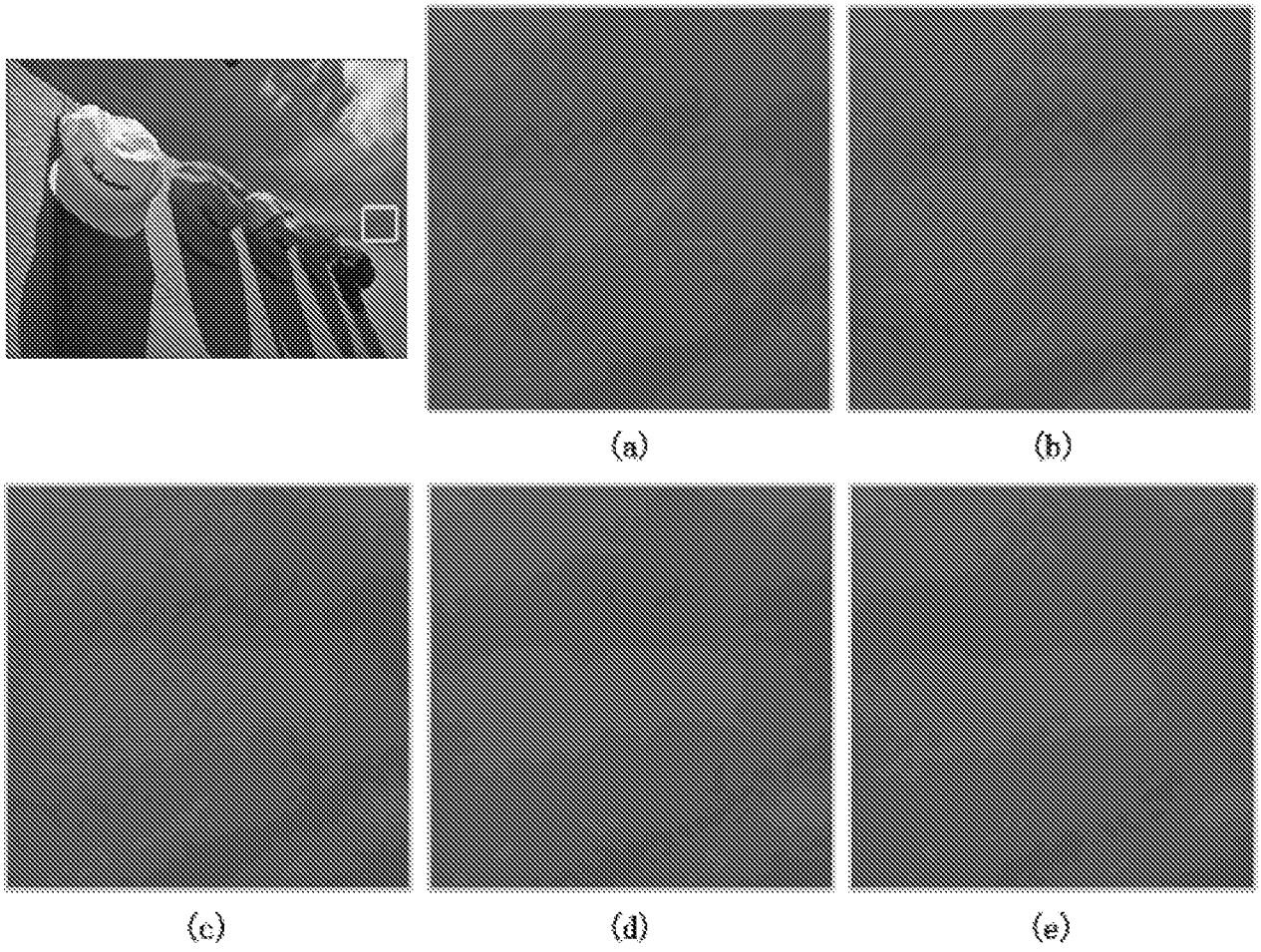


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/087424

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 7/50 (2017.01) 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)

G06T 7/-

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)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, USTXT, WOTXT, EPTXT: 位, 深度, 位深, 扩展, 增强, 平坦, 平滑, 自适应, 卷积神经网络, bit, deep, depth, bit depth, expansion, enhancement, flatness, adaptive, CNN, convolution neural network

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107481278 A (PEKING UNIVERSITY SHENZHEN GRADUATE SCHOOL) 15 December 2017 (15.12.2017), entire document	1-7
A	CN 1241748 A (DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION) 19 January 2000 (19.01.2000), entire document	1-7
A	CN 106663311 A (GOOGLE INCORPORATION) 10 May 2017 (10.05.2017), entire document	1-7
A	EP 1094420 A2 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 25 April 2001 (25.04.2001), entire document	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 06 July 2018	Date of mailing of the international search report 31 July 2018
---	--

Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimengqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Guohai Telephone No. (86-20) 28958137
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/087424

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107481278 A	15 December 2017	None	
CN 1241748 A	19 January 2000	JP H11272447 A	08 October 1999
		EP 0921461 A3	29 December 2004
		EP 0921461 A2	09 June 1999
		US 6038576 A	14 March 2000
		SG 69386 A1	21 December 1999
CN 106663311 A	10 May 2017	DE 112015003626 T5	22 June 2017
		GB 2543437 A	19 April 2017
		WO 2016022322 A1	11 February 2016
		US 2016042498 A1	11 February 2016
		GB 201621140 D0	25 January 2017
		EP 3178063 A1	14 June 2017
		US 9286653 B2	15 March 2016
EP 1094420 A2	25 April 2001	KR 100528938 B1	16 November 2005
		DE 60012653 T2	04 August 2005
		KR 100548841 B1	25 January 2006
		TW 508539 B	01 November 2002
		KR 20040074034 A	21 August 2004
		JP 3933669 B2	20 June 2007
		EP 1094420 A3	12 December 2001
		JP 4589412 B2	01 December 2010
		JP 2005222071 A	18 August 2005
		JP 4587838 B2	24 November 2010
		JP 3642783 B2	27 April 2005
		KR 20010070159 A	25 July 2001
		US 2004165115 A9	26 August 2004
		JP 2001175236 A	29 June 2001
		JP 2004348149 A	09 December 2004

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/087424

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
		KR 20060045319 A	17 May 2006
		JP 2005234587 A	02 September 2005
		KR 100402666 B1	22 October 2003
		KR 20030026262 A	31 March 2003
		JP 2008158538 A	10 July 2008
		DE 60012653 D1	09 September 2004
		JP 3642777 B2	27 April 2005
		US 2003164961 A1	04 September 2003
		EP 1094420 B1	04 August 2004
		US 7450181 B2	11 November 2008
		KR 100586335 B1	08 June 2006
		US 6441867 B1	27 August 2002
		JP 4420607 B2	24 February 2010
		JP 2003316337 A	07 November 2003
		KR 100571084 B1	14 April 2006

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/087424

A. 主题的分类 G06T 7/50 (2017.01) 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) G06T7/- 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)) CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, USTXT, WOTXT, EPTXT: 位, 深度, 位深, 扩展, 增强, 平坦, 平滑, 自适应, 卷积神经网络, bit, deep, depth, bit depth, expansion, enhancement, flatness, adaptive, CNN, convolution neural network																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 107481278 A (北京大学深圳研究生院) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 1241748 A (数字设备公司) 2000年 1月 19日 (2000 - 01 - 19) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106663311 A (谷歌公司) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 1094420 A2 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 2001年 4月 25日 (2001 - 04 - 25) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 107481278 A (北京大学深圳研究生院) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 全文	1-7	A	CN 1241748 A (数字设备公司) 2000年 1月 19日 (2000 - 01 - 19) 全文	1-7	A	CN 106663311 A (谷歌公司) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文	1-7	A	EP 1094420 A2 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 2001年 4月 25日 (2001 - 04 - 25) 全文	1-7
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
PX	CN 107481278 A (北京大学深圳研究生院) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 全文	1-7															
A	CN 1241748 A (数字设备公司) 2000年 1月 19日 (2000 - 01 - 19) 全文	1-7															
A	CN 106663311 A (谷歌公司) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文	1-7															
A	EP 1094420 A2 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 2001年 4月 25日 (2001 - 04 - 25) 全文	1-7															
☐ 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 2018年 7月 6日		国际检索报告邮寄日期 2018年 7月 31日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (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		授权官员 王国海 电话号码 86-(20)-28958137															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/087424

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	107481278	A	2017年 12月 15日	无			
CN	1241748	A	2000年 1月 19日	JP	H11272447	A	1999年 10月 8日
				EP	0921461	A3	2004年 12月 29日
				EP	0921461	A2	1999年 6月 9日
				US	6038576	A	2000年 3月 14日
				SG	69386	A1	1999年 12月 21日
CN	106663311	A	2017年 5月 10日	DE	112015003626	T5	2017年 6月 22日
				GB	2543437	A	2017年 4月 19日
				WO	2016022322	A1	2016年 2月 11日
				US	2016042498	A1	2016年 2月 11日
				GB	201621140	D0	2017年 1月 25日
				EP	3178063	A1	2017年 6月 14日
				US	9286653	B2	2016年 3月 15日
EP	1094420	A2	2001年 4月 25日	KR	100528938	B1	2005年 11月 16日
				DE	60012653	T2	2005年 8月 4日
				KR	100548841	B1	2006年 1月 25日
				TW	508539	B	2002年 11月 1日
				KR	20040074034	A	2004年 8月 21日
				JP	3933669	B2	2007年 6月 20日
				EP	1094420	A3	2001年 12月 12日
				JP	4589412	B2	2010年 12月 1日
				JP	2005222071	A	2005年 8月 18日
				JP	4587838	B2	2010年 11月 24日
				JP	3642783	B2	2005年 4月 27日
				KR	20010070159	A	2001年 7月 25日
				US	2004165115	A9	2004年 8月 26日
				JP	2001175236	A	2001年 6月 29日
				JP	2004348149	A	2004年 12月 9日
				KR	20060045319	A	2006年 5月 17日
				JP	2005234587	A	2005年 9月 2日
				KR	100402666	B1	2003年 10月 22日
				KR	20030026262	A	2003年 3月 31日
				JP	2008158538	A	2008年 7月 10日
				DE	60012653	D1	2004年 9月 9日
				JP	3642777	B2	2005年 4月 27日
				US	2003164961	A1	2003年 9月 4日
				EP	1094420	B1	2004年 8月 4日
				US	7450181	B2	2008年 11月 11日
				KR	100586335	B1	2006年 6月 8日
				US	6441867	B1	2002年 8月 27日
				JP	4420607	B2	2010年 2月 24日
				JP	2003316337	A	2003年 11月 7日
				KR	100571084	B1	2006年 4月 14日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)