

(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
2020 年 7 月 30 日 (30.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/151148 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 7/11 (2017.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/088627

(22) 国际申请日: 2019 年 5 月 27 日 (27.05.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910063673.4 2019 年 1 月 23 日 (23.01.2019) CN

(71) 申请人: 平安科技(深圳)有限公司(PING AN TECHNOLOGY (SHENZHEN) CO., LTD.) [CN/CN];
中国广东省深圳市福田区福田街道福安社区益田路 5033 号平安金融中心 23 楼, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 曹靖康(CAO, JingKang); 中国广东省深圳市福田区福田街道福安社区益田路 5033 号平安金融中心 23 楼, Guangdong 518000 (CN)。
王义文(WANG, YiWen); 中国广东省深圳市福田区福田街道福安社区益田路 5033 号平安金融中心 23 楼, Guangdong 518000 (CN)。
王健宗(WANG, Jianzong); 中国广东省深圳市福田区福田街道福安社区益田路 5033 号平安金融中心 23 楼, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市沃德知识产权代理有限公司(普通合伙)(SHENZHEN WORLD INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市福田区园岭街道八卦四路 10 号中浩大厦 1528-1530 室于志光, Guangdong 518000 (CN)。

(54) Title: NEURAL NETWORK-BASED BLACK-AND-WHITE PHOTOGRAPH COLOR RESTORATION METHOD, APPARATUS, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法、装置及存储介质

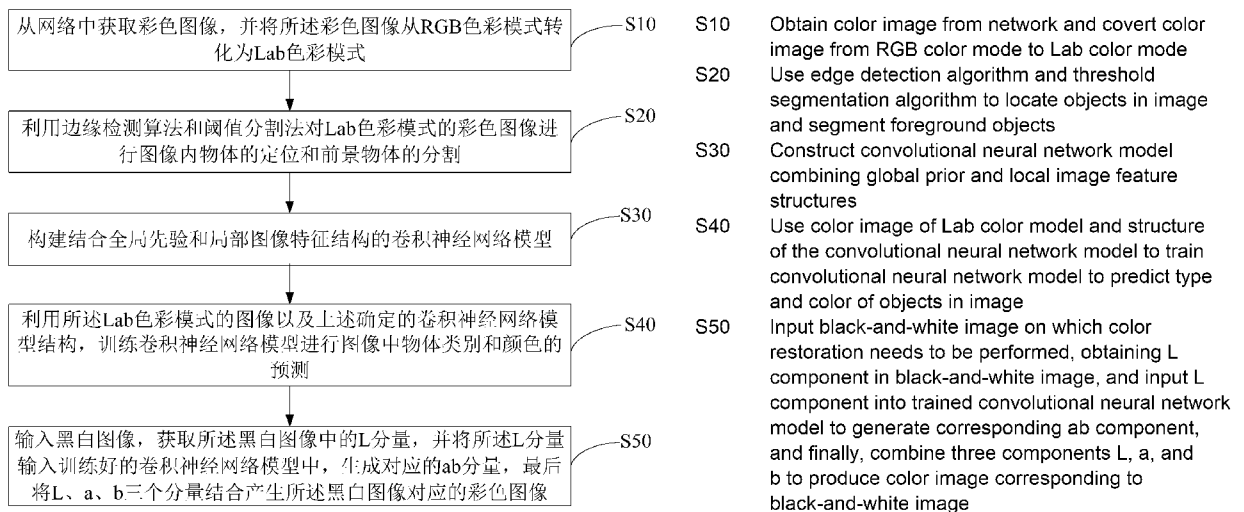


图 1

(57) Abstract: The present application relates to artificial intelligence technology; disclosed is a method for color restoration of a black-and-white photograph, comprising: obtaining a color image, and converting the color image from RGB color mode to Lab color mode; in Lab color mode, locating the objects in the image and segmenting the foreground objects of the color image; constructing a convolutional neural network model combining global prior and local image feature structures; using the color image of the Lab color model and the structure of the convolutional neural network model, training a convolutional neural network model; inputting the black-and-white image on which color restoration needs to be performed, obtaining the L component in the black-and-white image, and inputting the L component into the trained convolutional neural network model to generate a corresponding ab component, and finally, combining the three components L, a, and b to produce a color image corresponding to the black-and-white image. The present application also provides a black-and-white photograph color restoration apparatus and a computer-readable storage medium. The present application can restore color to black-and-white photographs.

(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))。

(57) 摘要: 本申请涉及人工智能技术, 公开了一种黑白照片色彩恢复方法, 包括: 获取彩色图像, 并将所述彩色图像从RGB色彩模式转化为Lab色彩模式; 对Lab色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割; 构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络模型; 利用所述Lab色彩模式的彩色图像以及所述卷积神经网络模型结构, 训练卷积神经网络模型; 输入需要执行色彩恢复的黑白图像, 获取所述黑白图像中的L分量, 并将所述L分量输入训练好的卷积神经网络模型中, 生成对应的ab分量, 最后将L、a、b三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。本申请还提出一种黑白照片色彩恢复装置以及一种计算机可读存储介质。本申请能够对黑白照片进行色彩恢复。

基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法、装置及存储介质

本申请要求于 2019 年 1 月 23 日提交中国专利局，申请号为 201910063673.4、发明名称为“基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法、装置及存储介质”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及人工智能技术领域，尤其涉及一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法、装置及计算机可读存储介质。

背景技术

黑白照片作为早期摄影的产物，有着特殊的意义，黑白照片能够反映一定的时代感，但是无法完全展现当时的真实场景。所以对黑白照片进行色彩的恢复，能够唤起人们更深刻的记忆，还能够记录更完整的历史信息。而如今技术均是使用优化算法，通过不断迭代对黑白照片进行恢复，这样进行迭代效率过慢并且形成的彩色照片并不能让人满意。

发明内容

本申请提供一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法、装置及计算机可读存储介质，其主要目的在于提供一种对黑白照片进行色彩恢复的方案。

为实现上述目的，本申请提供的一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，包括：

从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式；

利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割；

构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络模型；

利用所述 Lab 色彩模式的彩色图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像中物体类别和颜色的预测；

输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

此外，为实现上述目的，本申请还提供一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，该装置包括存储器和处理器，所述存储器中存储有可在所述处理器上运行的基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序，所述基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序被所述处理器执行时实现如下步骤：

此外，为实现上述目的，本申请还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序，所述基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序可被一个或者多个处理器执行，以实现如上所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法的步骤。

卷积神经网络的多层网络结构能自动提取输入数据的深层特征，不同层次的网络可以学习到不同层次的特征，从而大大提高对图像处理的准确率，进一步地，卷积神经网络通过局部感知和全局共享，保留了图像间的关联信息，并且大大减少了所需参数的数量，通过池化技术，进一步缩减网络参数数量，提高模型的鲁棒性，可以让模型持续地扩展深度，继续增加隐层，从而更高效地对图像进行处理，因此，本申请提出的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法、装置及计算机可读存储介质可以很好的实现黑白照片的色彩的恢复。

附图说明

图1为本申请一实施例提供的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法的流程示意图；

图2为本申请一实施例提供的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置的内部结构示意图；

图3为本申请一实施例提供的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置中基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序的模块示意图。

本申请目的的实现、功能特点及优点将结合实施例，参照附图做进一步说明。

具体实施方式

应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

本申请提供一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法。参照图1所示，为本申请一实施例提供的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法的流程示意图。该方法可以由一个装置执行，该装置可以由软件和/或硬件实现。

在本实施例中，基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法包括：

S10、从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式。

所述彩色图像通常是指每个像素由 R、G、B 分量构成的 RGB 色彩模式的图像。

所述 RGB 色彩模式是工业界的一种颜色标准，是通过对红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色通道的变化以及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色的，RGB 即是代表红、绿、蓝三个通道的颜色，这个标准几乎包括了人类视力所能感知的所有颜色，是目前运用最广的颜色系统之一。

所述 Lab 色彩模式是由照度 (L) 和有关色彩的 a, b 三个要素组成。L 表

示照度 (Luminosity), 相当于亮度, a 表示从红色至绿色的范围, b 表示从蓝色至黄色的范围。

通常, RGB 色彩模式无法直接转换成 Lab 色彩模式, 因此, 本申请较佳实施例首先将所述 RGB 色彩模式转换成 XYZ 色彩模式再转换成 Lab 色彩模式, 即: RGB—XYZ—Lab。因此本申请所述将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式步骤分为两部分:

一、将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式, 方法如下:

R、G、B 取值范围均为[0, 255], XYZ 的转换公式如下:

$$[X, Y, Z] = [M] * [R, G, B],$$

其中 M 为一个 3x3 矩阵:

$$M = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix},$$

R、G、B 是经过 Gamma 校正的色彩分量: $R=g(r)$, $G=g(g)$, $B=g(b)$ 。

其中 r、g、b 为原始的色彩分量, $g(x)$ 是 Gamma 校正函数:

当 $x < 0.018$ 时, $g(x) = 4.5318 * x$,

当 $x \geq 0.018$ 时, $g(x) = 1.099 * d^{0.45} - 0.099$,

所述 r、g、b 以及 R、G、B 的取值范围则均为[0,1)。

计算完成后, XYZ 的取值范围则有所变化, 分别是: [0, 0.9506), [0, 1), [0, 1.0890)。

二、将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式, 方法如下:

$$L = 116 * f(Y1) - 16,$$

$$a = 500 * (f(X1) - f(Y1)),$$

$$b = 200 * (f(Y1) - f(Z1)),$$

其中 $f(x)$ 是一个类似 Gamma 函数的校正函数:

当 $x > 0.008856$ 时, $f(x) = x^{(1/3)}$,

当 $x \leq 0.008856$ 时, $f(x) = (7.787 * x) + (16 / 116)$,

X1、Y1、Z1 分别是线性归一化之后的 XYZ 值, 即它们的取值范围都是 [0, 1)。此外, 函数 $f(x)$ 的值域也和自变量一样都是 [0, 1)。

计算完成后, L 的取值范围 [0, 100), 而 a 和 b 则约为 [-169, +169) 和 [-160, +160)。

S20、利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割。

所述边缘检测的基本思想认为边缘点是图像中像素灰度有阶跃变化或者屋顶变化的那些像素点, 即灰度导数较大或极大的地方。本申请较佳实施例中, 所述边缘检测算法为 Canny 边缘检测算法。本申请采用了 Canny 边缘检测的方法进行定位, 包括下述步骤:

I、用高斯滤波器对彩色图像进行平滑滤波。

假设 $f(x,y)$ 是原始图像, $G(x,y)$ 是平滑后的图像, 则有:

$$H(x, y) = \exp [-(x^2 + y^2)/2\sigma^2],$$

$$G(x, y) = f(x, y) * H(x, y),$$

其中, * 代表卷积, σ 是个平滑程度参数, σ 越大, 高斯滤波器的频带就越宽, 平滑程度就越好, x, y 为像素坐标。

II、用一阶偏导的有限差分计算梯度的幅值和方向。

所述幅值和方向可用直角坐标到极坐标的坐标转化公式来计算:

$$M[x, y] = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2}$$

$$\theta[x, y] = \arctan (G_x(x, y)/G_y(x, y)),$$

其中, $M[x, y]$ 反映了图像的边缘幅值, $\theta[x, y]$ 反映了边缘的方向, 使得 $M[x, y]$ 取得局部最大值的方向角 $\theta[x, y]$, 就反映了边缘的方向。

III、将非局部极大值点的幅度置为零从而得到细化的边缘。

IV、用双阈值法检测和连接所述彩色图像中的所包含的物体的边缘, 完成所述图像内所包含的物体的定位。

本申请使用两个阈值 T_1 和 T_2 ($T_1 < T_2$), 从而得到两个阈值边缘图像 $N_1[i, j]$ 和 $N_2[i, j]$ 。双阈值法要在 $N_2[i, j]$ 中把这些间断的边缘连接成完整的轮廓, 因此当到达边缘的间断点时, 就在 $N_1[i, j]$ 的邻域内寻找可以连接的边缘, 直到 $N_2[i, j]$ 中的所有间断点连接起来为止。

本申请根据上述的边缘检测算法检测出图像中的所有物体的边缘, 从而对图像中的物体进行了定位。

应该了解, 图像中的物体包括前景物体以及背景物体, 通常由于前景物体的灰度与背景物体的灰度有明显的差异, 因此本申请采用阈值分割法进行前景物体分割。

所述阈值分割法的基本思路是通过设置一个阈值 T , 并遍历图像中的每个像素点, 当像素点的灰度值大于 T 时, 判断该像素点属于前景物体, 当像素点的灰度值小于或者等于 T , 判断该像素点属于背景物体。

S30、构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络 (Convolutional Neural Networks, CNN) 模型。

本申请较佳实施例中的所述卷积神经网络模型是一种前馈神经网络, 它的人工神经元可以响应一部分覆盖范围内的周围单元, 其基本结构包括两层, 其一为特征提取层, 每个神经元的输入与前一层的局部接受域相连, 并提取该局部的特征。一旦该局部特征被提取后, 它与其它特征间的位置关系也随之确定下来; 其二是特征映射层, 网络的每个计算层由多个特征映射组成, 每个特征映射是一个平面, 平面上所有神经元的权值相等。特征映射结构采用影响函数核小的 sigmoid 函数作为卷积网络的激活函数, 使得特征映射具有位移不变性。此外, 由于一个映射面上的神经元共享权值, 因而减少了网络自由参数的个数。卷积神经网络中的每一个卷积层都紧跟着一个用来求局部平均与二次提取的计算层, 这种特有的两次特征提取结构减小了特征分辨率。

本申请较佳实施例中, 所述卷积神经网络模型具有如下结构:

输入层：输入层是整个卷积神经网络唯一的数据输入口，主要用于定义不同类型的数据输入；

卷积层：对输入卷积层的数据进行卷积操作，输出卷积后的特征图；

下采样层（Pooling 层）：Pooling 层对传入数据在空间维度上进行下采样操作，使得输入的特征图的长和宽变为原来的一半；

全连接层：全连接层和普通神经网络一样，每个神经元都与输入的所有神经元相互连接，然后经过激活函数进行计算；

输出层：输出层也被称为分类层，在最后输出时会计算每一类别的分类分值。

本申请的卷积神经网络通过卷积层获取图像特征，低层的卷积层分为共享参数的两部分，一部分用于预测图像像素值，一部分用于预测图像中的物体类别。由于类别信息抽象程度较高，所以卷积处理的是固定尺寸图像，将全局特征和中间层特征进行融合，此时的特征图包含了比较丰富的信息，每一个像素既包含了本身和邻域的信息，也包含的全局的类别信息，对于最终的预测更为准确。

在本申请实施例中，输入层为输入的图像，该图像依次进入一个 $7*7$ 的卷积层， $3*3$ 的最大值池化层，随后进入 4 个卷积模块。每个卷积模块从具有线性投影的构建块开始，随后是具有本体映射的不同数量的构建块，最后在 softmax 层输出预测图像的像素值和预测图像的类别。

S40、利用所述 Lab 色彩模式的图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像内物体类别和颜色的预测。

其中，所述物体类别是指图像中包含的物体的类别，如人物、动物、植物、车辆等。

本申请将所述 Lab 色彩模式的图像中的 L 分量输入到所述卷积神经网络模型中，从而训练所述卷积神经网络模型进行颜色的预测。

本申请较佳实施例中，所述训练卷积神经网络模型的方法如下：

步骤 a：确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

步骤 b：对所述 L 分量进行卷积操作。本申请较佳实施例中，所述卷积操作是指对图像和滤波矩阵做内积的操作。可选地，在进行卷积操作前，本申请需要对图像在边界上进行填充（Padding），以增加矩阵的大小。本申请在卷积神经网络模型的卷积层设置了 1 组过滤器 $\{filter_0, filter_1\}$ ，分别应用在图像颜色通道和类别通道上来生成 1 组特征。每个过滤器的规模是 $d*h$ ，其中， d 是图像的维数， h 是窗口的大小。设每个方向扩展像素点数量为 p ，则填充后图片的大小为 $(n + 2p) * (n + 2p)$ ，若滤波器大小保持不变，则输出图片大小为 $(n + 2p - f + 1) * (n + 2p - f + 1)$ 。

步骤 c：构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数。在神经网络中，损失函数用来评价网络模型输出的预测值 $\hat{Y} = f(X)$ 与真实值 Y 之间的差异。这里用 $L(Y, \hat{Y})$ 来表示损失函数，它使一个非负实数函数，损失

值越小，网络模型的性能越好。本申请所采用的损失函数为：

$$L(y^{color}, y^{class}) = \|y^{color} - y^{color,*}\|_{FRO}^2 - \alpha \left(y^{class} - \log \left(\sum_{i=0}^N \exp(y_i^{class}) \right) \right)$$

其中，颜色部分的损失函数采用 Frobenius 范数，类别部分的损失函数采用交叉熵 (Cross Entropy)， α 为权重因子。Frobenius 范数是一种矩阵范数，定义为矩阵 A 各项元素的绝对值平方的总和，即 $\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{i,j}|^2} = \sqrt{\text{tr}(A^H A)}$ 。交叉熵主要用于度量两个概率分布间的差异性信息，在神经网络中，假设 p 表示真实标记的分布，q 则为训练后的模型的预测标记分布，交叉熵损失函数可以衡量 p 与 q 的相似性，其公式为

$$J(\theta) = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y^{(i)} \log(h_{\theta}(x^{(i)})) + (1 - y^{(i)}) \log(1 - h_{\theta}(x^{(i)}))$$

其中，假设一共有 m 组已知样本， $(x^{(i)}, y^{(i)})$ 表示第 i 组数据及其对应的类别标记。 $x^{(i)} = (1, x_1^{(i)}, \dots, x_p^{(i)})^T$ 为 p+1 维向量， $y^{(i)}$ 则表示取 1, 2...k 中的一个表示类别标号的一个数（假设共有 k 类图像类型）。

步骤 d：用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。Softmax 是对逻辑回归的推广，逻辑回归用于处理二分类问题，其推广的 Softmax 回归则用于处理多分类问题。根据所输入需要执行色彩恢复的图像不同，通过该激活函数获得相似度最高的结果。

S50、输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

本申请还提供一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置。参照图 2 所示，为本申请一实施例提供的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置的内部结构示意图。

在本实施例中，基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 可以是 PC (Personal Computer, 个人电脑)，也可以是智能手机、平板电脑、便携计算机等终端设备。该基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 至少包括存储器 11、处理器 12，通信总线 13，以及网络接口 14。

其中，存储器 11 至少包括一种类型的可读存储介质，所述可读存储介质包括闪存、硬盘、多媒体卡、卡型存储器（例如，SD 或 DX 存储器等）、磁性存储器、磁盘、光盘等。存储器 11 在一些实施例中可以是基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 的内部存储单元，例如该基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 的硬盘。存储器 11 在另一些实施例中也可以是基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 的外部存储设备，例如基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 上配备的插接式硬盘、智能存储卡 (Smart Media Card, SMC)，安全数字 (Secure Digital, SD) 卡，闪存卡 (Flash Card) 等。进一步地，存储

器 11 还可以既包括基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 的内部存储单元也包括外部存储设备。存储器 11 不仅可以用于存储安装于基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 的应用软件及各类数据，例如基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序 01 的代码等，还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

处理器 12 在一些实施例中可以是一中央处理器（Central Processing Unit, CPU）、控制器、微控制器、微处理器或其他数据处理芯片，用于运行存储器 11 中存储的程序代码或处理数据，例如执行基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序 01 等。

通信总线 13 用于实现这些组件之间的连接通信。

网络接口 14 可选的可以包括标准的有线接口、无线接口（如 WI-FI 接口），通常用于在该装置 1 与其他电子设备之间建立通信连接。

可选地，该装置 1 还可以包括用户接口，用户接口可以包括显示器（Display）、输入单元比如键盘（Keyboard），可选的用户接口还可以包括标准的有线接口、无线接口。可选地，在一些实施例中，显示器可以是 LED 显示器、液晶显示器、触控式液晶显示器以及 OLED（Organic Light-Emitting Diode，有机发光二极管）触摸器等。其中，显示器也可以适当的称为显示屏或显示单元，用于显示在基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 中处理的信息以及用于显示可视化的用户界面。

图 2 仅示出了具有组件 11-14 以及基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序 01 的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1，本领域技术人员可以理解的是，图 1 示出的结构并不构成对基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置 1 的限定，可以包括比图示更少或者更多的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件布置。

在图 2 所示的装置 1 实施例中，存储器 11 中存储有黑白照片色彩恢复程序 01；处理器 12 执行存储器 11 中存储的基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序 01 时实现如下步骤：

步骤一、从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式。

所述彩色图像通常是指每个像素由 R、G、B 分量构成的 RGB 色彩模式的图像。

所述 RGB 色彩模式是工业界的一种颜色标准，是通过对红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色通道的变化以及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色的，RGB 即是代表红、绿、蓝三个通道的颜色，这个标准几乎包括了人类视力所能感知的所有颜色，是目前运用最广的颜色系统之一。

所述 Lab 色彩模式是由照度（L）和有关色彩的 a, b 三个要素组成。L 表示照度（Luminosity），相当于亮度，a 表示从红色至绿色的范围，b 表示从蓝色至黄色的范围。

通常，RGB 色彩模式无法直接转换成 Lab 色彩模式，因此，本申请较佳

实施例首先将所述 RGB 色彩模式转换成 XYZ 色彩模式再转换成 Lab 色彩模式，即：RGB——XYZ——Lab。因此本申请所述将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式步骤分为两部分：

第一部分：将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式，方法如下：

R、G、B 取值范围均为 $[0, 255]$ ，XYZ 的转换公式如下：

$$[X, Y, Z] = [M] * [R, G, B],$$

其中 M 为一个 3×3 矩阵：

$$M = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix},$$

R、G、B 是经过 Gamma 校正的色彩分量： $R=g(r)$ ， $G=g(g)$ ， $B=g(b)$ 。

其中 r、g、b 为原始的色彩分量， $g(x)$ 是 Gamma 校正函数：

当 $x < 0.018$ 时， $g(x) = 4.5318 * x$ ，

当 $x \geq 0.018$ 时， $g(x) = 1.099 * d^{0.45} - 0.099$ ，

所述 r、g、b 以及 R、G、B 的取值范围则均为 $[0, 1)$ 。

计算完成后，XYZ 的取值范围则有所变化，分别是： $[0, 0.9506)$ ， $[0, 1)$ ， $[0, 1.0890)$ 。

第二部分：将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式，方法如下：

$$L = 116 * f(Y1) - 16,$$

$$a = 500 * (f(X1) - f(Y1)),$$

$$b = 200 * (f(Y1) - f(Z1)),$$

其中 $f(x)$ 是一个类似 Gamma 函数的校正函数：

当 $x > 0.008856$ 时， $f(x) = x^{1/3}$ ，

当 $x \leq 0.008856$ 时， $f(x) = (7.787 * x) + (16 / 116)$ ，

X1、Y1、Z1 分别是线性归一化之后的 XYZ 值，即它们的取值范围都是 $[0, 1)$ 。此外，函数 $f(x)$ 的值域也和自变量一样都是 $[0, 1)$ 。

计算完成后，L 的取值范围 $[0, 100)$ ，而 a 和 b 则约为 $[-169, +169)$ 和 $[-160, +160)$ 。

步骤二、利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割。

所述边缘检测的基本思想认为边缘点是图像中像素灰度有阶跃变化或者屋顶变化的那些像素点，即灰度导数较大或极大的地方。本申请较佳实施例中，所述边缘检测算法为 Canny 边缘检测算法。本申请采用了 Canny 边缘检测的方法进行定位，包括下述步骤：

I、用高斯滤波器对彩色图像进行平滑滤波。

假设 $f(x, y)$ 是原始图像， $G(x, y)$ 是平滑后的图像，则有：

$$H(x, y) = \exp [-(x^2 + y^2) / 2\sigma^2],$$

$$G(x, y) = f(x, y) * H(x, y),$$

其中，* 代表卷积， σ 是个平滑程度参数， σ 越大，高斯滤波器的频带就越宽，平滑程度就越好， x, y 为像素坐标。

II、用一阶偏导的有限差分计算梯度的幅值和方向。

所述幅值和方向可用直角坐标到极坐标的坐标转化公式来计算：

$$M[x, y] = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2}$$

$$\theta[x, y] = \arctan (G_x(x, y)/G_y(x, y)) ,$$

其中， $M[x, y]$ 反映了图像的边缘幅值， $\theta[x, y]$ 反映了边缘的方向，使得 $M[x, y]$ 取得局部最大值的方向角 $\theta[x, y]$ ，就反映了边缘的方向。

III、将非局部极大值点的幅度置为零从而得到细化的边缘。

IV、用双阈值法检测和连接所述彩色图像中的所包含的物体的边缘，完成所述图像内所包含的物体的定位。

本申请使用两个阈值 T_1 和 T_2 ($T_1 < T_2$)，从而得到两个阈值边缘图像 $N_1[i, j]$ 和 $N_2[i, j]$ 。双阈值法要在 $N_2[i, j]$ 中把这些间断的边缘连接成完整的轮廓，因此当到达边缘的间断点时，就在 $N_1[i, j]$ 的邻域内寻找可以连接的边缘，直到 $N_2[i, j]$ 中的所有间断点连接起来为止。

本申请根据上述的边缘检测算法检测出图像中的所有物体的边缘，从而对图像中的物体进行了定位。

应该了解，图像中的物体包括前景物体以及背景物体，通常由于前景物体的灰度与背景物体的灰度有明显的差异，因此本申请采用阈值分割法进行前景物体分割。

所述阈值分割法的基本思路是通过设置一个阈值 T ，并遍历图像中的每个像素点，当像素点的灰度值大于 T 时，判断该像素点属于前景物体，当像素点的灰度值小于或者等于 T ，判断该像素点属于背景物体。

步骤三、构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络 (Convolutional Neural Networks, CNN) 模型。

本申请较佳实施例中的所述卷积神经网络模型是一种前馈神经网络，它的人工神经元可以响应一部分覆盖范围内的周围单元，其基本结构包括两层，其一为特征提取层，每个神经元的输入与前一层的局部接受域相连，并提取该局部的特征。一旦该局部特征被提取后，它与其它特征间的位置关系也随之确定下来；其二是特征映射层，网络的每个计算层由多个特征映射组成，每个特征映射是一个平面，平面上所有神经元的权值相等。特征映射结构采用影响函数核小的 sigmoid 函数作为卷积网络的激活函数，使得特征映射具有位移不变性。此外，由于一个映射面上的神经元共享权值，因而减少了网络自由参数的个数。卷积神经网络中的每一个卷积层都紧跟着一个用来求局部平均与二次提取的计算层，这种特有的两次特征提取结构减小了特征分辨率。

本申请较佳实施例中，所述卷积神经网络模型具有如下结构：

输入层：输入层是整个卷积神经网络唯一的数据输入口，主要用于定义不同类型的数据输入；

卷积层：对输入卷积层的数据进行卷积操作，输出卷积后的特征图；

下采样层（Pooling 层）：Pooling 层对传入数据在空间维度上进行下采样操作，使得输入的特征图的长和宽变为原来的一半；

全连接层：全连接层和普通神经网络一样，每个神经元都与输入的所有神经元相互连接，然后经过激活函数进行计算；

输出层：输出层也被称为分类层，在最后输出时会计算每一类别的分类分值。

本申请的卷积神经网络通过卷积层获取图像特征，低层的卷积层分为共享参数的两部分，一部分用于预测图像像素值，一部分用于预测图像内物体的类别。由于类别信息抽象程度较高，所以卷积处理的是固定尺寸图像，将全局特征和中间层特征进行融合，此时的特征图包含了比较丰富的信息，每一个像素既包含了本身和邻域的信息，也包含的全局的类别信息，对于最终的预测更为准确。

在本申请实施例中，输入层为输入的图像，该图像依次进入一个 $7*7$ 的卷积层， $3*3$ 的最大值池化层，随后进入 4 个卷积模块。每个卷积模块从具有线性投影的构建块开始，随后是具有本体映射的不同数量的构建块，最后在 softmax 层输出预测图像的像素值和预测图像的类别。

步骤四、利用所述 Lab 色彩模式的图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像内物体类别和颜色的预测。

其中，所述物体类别是指图像中包含的物体的类别，如人物、动物、植物、车辆等。

本申请将所述 Lab 色彩模式的图像中的 L 分量输入到所述卷积神经网络模型中，从而训练所述卷积神经网络模型进行颜色的预测。

本申请较佳实施例中，所述训练卷积神经网络模型的方法如下：

步骤 a：确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测。

步骤 b：对所述 L 分量进行卷积操作。本申请较佳实施例中，所述卷积操作是指对图像和滤波矩阵做内积的操作。可选地，在进行卷积操作前，本申请需要对图像在边界上进行填充（Padding），以增加矩阵的大小。本申请在卷积神经网络模型的卷积层设置了 1 组过滤器 $\{filter_0, filter_1\}$ ，分别应用在图像颜色通道和类别通道上来生成 1 组特征。每个过滤器的规模是 $d*h$ ，其中， d 是图像的维数， h 是窗口的大小。设每个方向扩展像素点数量为 p ，则填充后图片的大小为 $(n+2p)*(n+2p)$ ，若滤波器大小保持不变，则输出图片大小为 $(n+2p-f+1)*(n+2p-f+1)$ 。

步骤 c：构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数。在神经网络中，损失函数用来评价网络模型输出的预测值 $\hat{Y} = f(X)$ 与真实值 Y 之间的差异。这里用 $L(Y, \hat{Y})$ 来表示损失函数，它使一个非负实数函数，损失值越小，网络模型的性能越好。本申请所采用的损失函数为：

$$L(y^{color}, y^{class}) = \|y^{color} - y^{color,*}\|_{FRO}^2 - \alpha \left(y^{class} - \log \left(\sum_{i=0}^N \exp(y_i^{class}) \right) \right)$$

其中，像素颜色部分的损失函数采用 Frobenius 范数，类别部分的损失函数采用交叉熵 (Cross Entropy)， α 为权重因子。Frobenius 范数是一种矩阵范数，定义为矩阵 A 各项元素的绝对值平方的总和，即 $\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{i,j}|^2} = \sqrt{\text{tr}(A^H A)}$ 。交叉熵主要用于度量两个概率分布间的差异性信息，在神经网络中，假设 p 表示真实标记的分布，q 则为训练后的模型的预测标记分布，交叉熵损失函数可以衡量 p 与 q 的相似性，其公式为

$$J(\theta) = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y^{(i)} \log(h_{\theta}(x^{(i)})) + (1 - y^{(i)}) \log(1 - h_{\theta}(x^{(i)}))$$

其中，假设一共有 m 组已知样本， $(x^{(i)}, y^{(i)})$ 表示第 i 组数据及其对应的类别标记。 $x^{(i)} = (1, x_1^{(i)}, \dots, x_p^{(i)})^T$ 为 p+1 维向量， $y^{(i)}$ 则表示取 1, 2...k 中的一个表示类别标号的一个数（假设共有 k 类图像类型）。

步骤 d：用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。Softmax 是对逻辑回归的推广，逻辑回归用于处理二分类问题，其推广的 Softmax 回归则用于处理多分类问题。根据所输入需要执行色彩恢复的图像不同，通过该激活函数获得相似度最高的结果。

步骤五、输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

可选地，在其他实施例中，基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序还可以被分割为一个或者多个模块，一个或者多个模块被存储于存储器 11 中，并由一个或多个处理器（本实施例为处理器 12）所执行以完成本申请，本申请所称的模块是指能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段，用于描述基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序在基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置中的执行过程。

例如，参照图 3 所示，为本申请基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置一实施例中的黑白照片色彩恢复程序的程序模块示意图，该实施例中，所述黑白照片色彩恢复程序 01 可以被分割为图像获取及处理模块 10、图像识别模块 20、模型构建模块 30、模型训练模块 40 和图像色彩恢复模块 50，示例性地：

图像获取及处理模块 10 用于：从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式。

可选地，将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式包括将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式以及将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式，其中：

所述将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式方法如下：

$$[X, Y, Z] = [M] * [R, G, B],$$

其中，M 为一个 3x3 矩阵：

$$M = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix},$$

R、G、B 是经过 Gamma 校正的色彩分量： $R=g(r)$ ， $G=g(g)$ ， $B=g(b)$ ，而 r、g、b 为原始的色彩分量， $g(x)$ 是 Gamma 校正函数，

当 $x < 0.018$ 时， $g(x) = 4.5318 * x$ ，

当 $x \geq 0.018$ 时， $g(x) = 1.099 * d^{0.45} - 0.099$ ；

所述将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式包括：

$$L = 116 * f(Y1) - 16,$$

$$a = 500 * (f(X1) - f(Y1)),$$

$$b = 200 * (f(Y1) - f(Z1)),$$

其中 $f(x)$ 是 Gamma 函数的校正函数，

当 $x > 0.008856$ 时， $f(x) = x^{1/3}$ ，

当 $x \leq 0.008856$ 时， $f(x) = (7.787 * x) + (16 / 116)$ ，

X1、Y1、Z1 分别是线性归一化之后的 X、Y、Z 值。

图像识别模块 20 用于：利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割。

可选地，所述边缘检测算法包括 Canny 边缘检测算法，以及所述图像内所包含的物体的定位包括：

用高斯滤波器对所述彩色图像进行平滑滤波；

用一阶偏导的有限差分计算所述彩色图像的梯度的幅值和方向；

将非局部极大值点的幅度置为零，以得到细化的边缘；及

用双阈值法检测和连接所述彩色图像中的所包含的物体的边缘，完成所述图像内所包含的物体的定位。

可选地，所述阈值分割法包括设置一个阈值 T，并遍历所述彩色图像中的每个像素点，当像素点的灰度值大于 T 时，判断该像素点属于前景物体，当像素点的灰度值小于或者等于 T，判断该像素点属于背景物体。

模型构建模块 30 用于：构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络模型。

模型训练模块 40 用于：利用所述 Lab 色彩模式的彩色图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像中物体类别和颜色的预测。

可选地，所述训练卷积神经网络模型的方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

图像色彩恢复模块 50 用于：输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

上述图像获取及处理模块 10、图像识别模块 20、模型构建模块 30、模型训练模块 40 和图像色彩恢复模块 50 等程序模块被执行时所实现的功能或操作步骤与上述实施例大体相同，在此不再赘述。

此外，本申请实施例还提出一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序，所述基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序可被一个或多个处理器执行，以实现如下操作：

从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式；

利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割；

构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络模型；

利用所述 Lab 色彩模式的彩色图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像中物体类别和颜色的预测；

输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

本申请计算机可读存储介质具体实施方式与上述基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置和方法各实施例基本相同，在此不作累述。

需要说明的是，上述本申请实施例序号仅仅为了描述，不代表实施例的优劣。并且本文中的术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、装置、物品或者方法不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、装置、物品或者方法所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括该要素的过程、装置、物品或者方法中还存在另外的相同要素。

通过以上的实施方式的描述，本领域的技术人员可以清楚地了解到上述实施例方法可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现，当然也可以通过硬件，但很多情况下前者是更佳的实施方式。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在如上所述的一个存储介质(如 ROM/RAM、磁碟、光盘)中，包括若干指令用以使得一台终端设备(可以是手机，计算机，服务器，或者网络设备等)执行本申请各个实施例所述的方法。

以上仅为本申请的优选实施例，并非因此限制本申请的专利范围，凡是利用本申请说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换，或直接或间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本申请的专利保护范围内。

权 利 要 求 书

1、一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，其特征在于，所述方法包括：

从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式；

利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割；

构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络模型；

利用所述 Lab 色彩模式的彩色图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像中物体类别和颜色的预测；

输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

2、如权利要求 1 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，其特征在于，将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式包括将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式以及将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式，其中：

所述将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式方法如下：

$$[X,Y,Z] = [M] * [R,G,B],$$

其中，M 为一个 3x3 矩阵：

$$M = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix},$$

R、G、B 是经过 Gamma 校正的色彩分量：R=g(r)，G=g(g)，B=g(b)，而 r、g、b 为原始的色彩分量，g(x) 是 Gamma 校正函数，

当 $x < 0.018$ 时， $g(x) = 4.5318 * x$ ，

当 $x \geq 0.018$ 时， $g(x) = 1.099 * d^{0.45} - 0.099$ ；

所述将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式包括：

$$L = 116 * f(Y1) - 16,$$

$$a = 500 * (f(X1) - f(Y1)),$$

$$b = 200 * (f(Y1) - f(Z1)),$$

其中 $f(x)$ 是 Gamma 函数的校正函数，

当 $x > 0.008856$ 时， $f(x) = x^{(1/3)}$ ，

当 $x \leq 0.008856$ 时， $f(x) = (7.787 * x) + (16 / 116)$ ，

X1、Y1、Z1 分别是线性归一化之后的 X、Y、Z 值。

3、如权利要求 1 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，其特征在于，所述边缘检测算法包括 Canny 边缘检测算法，以及所述图像内所包含的物体的定位包括：

用高斯滤波器对所述彩色图像进行平滑滤波；

用一阶偏导的有限差分计算所述彩色图像的梯度的幅值和方向；

将非局部极大值点的幅度置为零，以得到细化的边缘；及

用双阈值法检测和连接所述彩色图像中的所包含的物体的边缘，完成所述图像内所包含的物体的定位。

4、如权利要求 1 至 3 中任意一项所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，其特征在于，所述阈值分割法包括设置一个阈值 T ，并遍历所述彩色图像中的每个像素点，当像素点的灰度值大于 T 时，判断该像素点属于前景物体，当像素点的灰度值小于或者等于 T ，判断该像素点属于背景物体。

5、如权利要求 1 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，其特征在于，所述卷积神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

6、如权利要求 2 或 3 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，其特征在于，所述卷积神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

7、如权利要求 4 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法，其特征在于，所述卷积神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

8、一种基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，其特征在于，所述装置包括存储器和处理器，所述存储器上存储有可在所述处理器上运行的基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序，所述基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序被所述处理器执行时实现如下步骤：

从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式；

利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割；

构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络模型；

利用所述 Lab 色彩模式的彩色图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像中物体类别和颜色的预测；

输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

9、如权利要求 8 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，其特征在于，将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式包括将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式以及将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式，其中：

所述将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式方法如下：

$$[X,Y,Z] = [M] * [R,G,B],$$

其中，M 为一个 3x3 矩阵：

$$M = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix},$$

R、G、B 是经过 Gamma 校正的色彩分量：R=g(r)，G=g(g)，B=g(b)，而 r、g、b 为原始的色彩分量，g(x) 是 Gamma 校正函数，

当 $x < 0.018$ 时， $g(x) = 4.5318 * x$ ，

当 $x \geq 0.018$ 时， $g(x) = 1.099 * d^{0.45} - 0.099$ ；

所述将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式包括：

$$L = 116 * f(Y1) - 16,$$

$$a = 500 * (f(X1) - f(Y1)),$$

$$b = 200 * (f(Y1) - f(Z1)),$$

其中 $f(x)$ 是 Gamma 函数的校正函数，

当 $x > 0.008856$ 时， $f(x) = x^{(1/3)}$ ，

当 $x \leq 0.008856$ 时， $f(x) = (7.787 * x) + (16 / 116)$ ，

X1、Y1、Z1 分别是线性归一化之后的 X、Y、Z 值。

10、如权利要求 8 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，其特征在于，所述边缘检测算法包括 Canny 边缘检测算法，以及所述图像内所包含的物体的定位包括：

用高斯滤波器对所述彩色图像进行平滑滤波；

用一阶偏导的有限差分计算所述彩色图像的梯度的幅值和方向；

将非局部极大值点的幅度置为零，以得到细化的边缘；及

用双阈值法检测和连接所述彩色图像中的所包含的物体的边缘，完成所述图像内所包含的物体的定位。

11、如权利要求 8 或 9 或 10 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，其特征在于，所述阈值分割法包括设置一个阈值 T，并遍历所述彩色图像中的每个像素点，当像素点的灰度值大于 T 时，判断该像素点属于前景物体，当像素点的灰度值小于或者等于 T，判断该像素点属于背景物体。

12、如权利要求 8 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，其特征在于，所述卷积神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

13、如权利要求 9 或 10 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，其特征在于，所述卷积神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

14、如权利要求 11 所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复装置，其特征在于，所述卷积神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

15、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质上存储有基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序，所述基于神经网络的黑白照片色彩恢复程序可被一个或者多个处理器执行，以实现如权利要求 1 至 5 中任一项所述的基于神经网络的黑白照片色彩恢复方法的步骤。

如下步骤：

从网络中获取彩色图像，并将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式；

利用边缘检测算法和阈值分割法对 Lab 色彩模式的彩色图像进行图像内物体的定位和前景物体的分割；

构建结合全局先验和局部图像特征结构的卷积神经网络模型；

利用所述 Lab 色彩模式的彩色图像以及上述确定的卷积神经网络模型结构，训练卷积神经网络模型进行图像中物体类别和颜色的预测；

输入需要执行色彩恢复的黑白图像，获取所述黑白图像中的 L 分量，并将所述 L 分量输入训练好的卷积神经网络模型中，生成对应的 ab 分量，最后将 L、a、b 三个分量结合产生所述黑白图像对应的彩色图像。

16、如权利要求 15 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，将所述彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 Lab 色彩模式包括将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式以及将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式，

其中：

所述将彩色图像从 RGB 色彩模式转化为 XYZ 色彩模式方法如下：

$$[X,Y,Z] = [M] * [R,G,B],$$

其中，M 为一个 3x3 矩阵：

$$M = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix},$$

R、G、B 是经过 Gamma 校正的色彩分量： $R=g(r)$ ， $G=g(g)$ ， $B=g(b)$ ，而 r、g、b 为原始的色彩分量， $g(x)$ 是 Gamma 校正函数，

当 $x < 0.018$ 时， $g(x) = 4.5318 * x$ ，

当 $x \geq 0.018$ 时， $g(x) = 1.099 * d^{0.45} - 0.099$ ；

所述将彩色图像从 XYZ 色彩转化为 Lab 色彩模式包括：

$$L = 116 * f(Y1) - 16,$$

$$a = 500 * (f(X1) - f(Y1)),$$

$$b = 200 * (f(Y1) - f(Z1)),$$

其中 $f(x)$ 是 Gamma 函数的校正函数，

当 $x > 0.008856$ 时， $f(x) = x^{1/3}$ ，

当 $x \leq 0.008856$ 时， $f(x) = (7.787 * x) + (16 / 116)$ ，

X1、Y1、Z1 分别是线性归一化之后的 X、Y、Z 值。

17、如权利要求 15 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述边缘检测算法包括 Canny 边缘检测算法，以及所述图像内所包含的物体的定位包括：

用高斯滤波器对所述彩色图像进行平滑滤波；

用一阶偏导的有限差分计算所述彩色图像的梯度的幅值和方向；

将非局部极大值点的幅度置为零，以得到细化的边缘；及

用双阈值法检测和连接所述彩色图像中的所包含的物体的边缘，完成所述图像内所包含的物体的定位。

18、如权利要求 15 或 16 或 17 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述阈值分割法包括设置一个阈值 T，并遍历所述彩色图像中的每个像素点，当像素点的灰度值大于 T 时，判断该像素点属于前景物体，当像素点的灰度值小于或者等于 T，判断该像素点属于背景物体。

19、如权利要求 15 或 16 或 17 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述卷积神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

20、如权利要求 18 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述卷积

神经网络模型的训练方法如下：

确定输入输出向量，其中，所述输入向量为图像的 L 分量，输出向量为对图像内物体类别和颜色的预测；

对所述 L 分量进行卷积操作；

构建评价网络模型输出的预测值与真实值之间的差异的损失函数；及

用 Softmax 函数输出物体类别的分类标签。

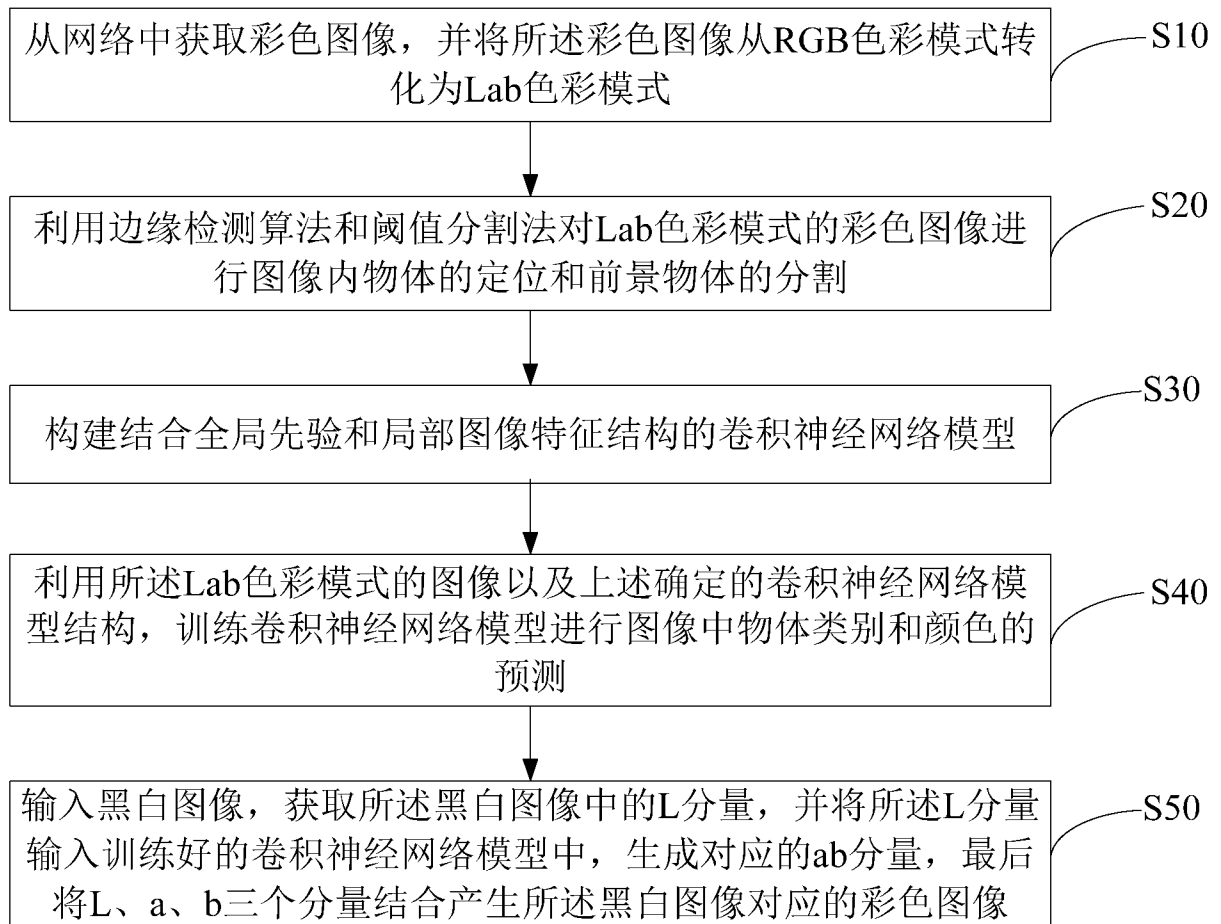


图 1

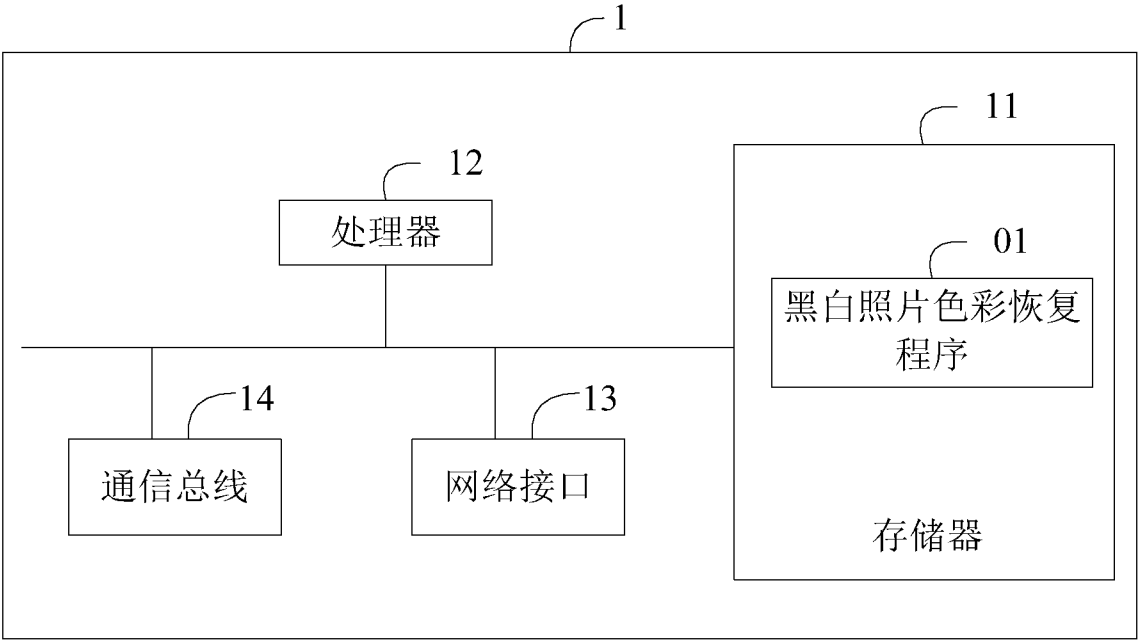


图 2

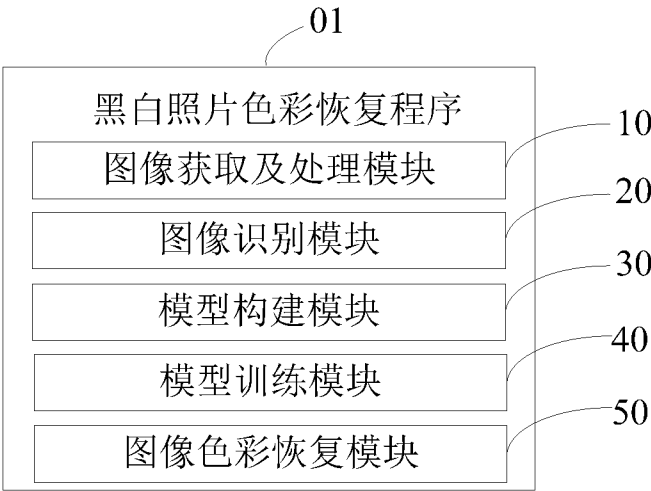


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/088627

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 7/11(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

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 SIPOABS DWPI: 神经网络, 黑白照片, 彩色, NEURAL NETWORK, BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH, COLOURS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108921932 A (FUZHOU UNIVERSITY) 30 November 2018 (2018-11-30) entire document	1-20
A	CN 108460770 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 28 August 2018 (2018-08-28) entire document	1-20



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

24 September 2019

Date of mailing of the international search report

30 September 2019

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/CN2019/088627

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	108921932	A	30 November 2018	None		
CN	108460770	A	28 August 2018	WO	2018107825	A1
						21 June 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/088627

A. 主题的分类 G06T 7/11 (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) G06T 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 SIPOABS DWPI: 神经网络, 黑白照片, 彩色, NEURAL NETWORK, BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH, COLOURS		
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 108921932 A (福州大学) 2018年 11月 30日 (2018 - 11 - 30) 全文	1-20
A	CN 108460770 A (华为技术有限公司) 2018年 8月 28日 (2018 - 08 - 28) 全文	1-20
☐ 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 2019年 9月 24日		国际检索报告邮寄日期 2019年 9月 30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		授权官员 林亮亮 电话号码 86-(010)-62411890

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/088627

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	108921932	A	2018年 11月 30日	无	
CN	108460770	A	2018年 8月 28日	W0	2018107825 A1 2018年 6月 21日