(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106095353 B
(45)授权公告日 2019.04.09

(21)申请号 201610238008.0

(22)申请日 2012.12.06

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106095353 A

(43)申请公布日 2016.11.09

(30)优先权数据
61/567,579 2011.12.06 US
61/674,503 2012.07.23 US
61/703,449 2012.09.20 US

(62)分案原申请数据
201280060408.7 2012.12.06

(73)专利权人 杜比实验室特许公司
地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 J·S·米勒 S·戴勒
M·尼扎玛巴迪 R·阿特肯斯

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038
代理人 宿小猛

(51)Int.Cl.
G06F 3/14(2006.01)
G09G 5/00(2006.01)
G09G 5/10(2006.01)

(56)对比文件
CN 102187657 A,2011.09.14,
CN 102197641 A,2011.09.21,
WO 2011/107905 A1,2011.09.09,
US 2006/0215914 A1,2006.09.28,

审查员 吴琼乐

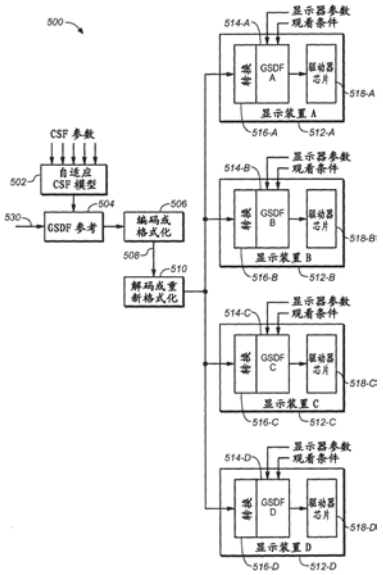
权利要求书2页 说明书50页 附图14页

(54)发明名称

改进不同显示能力之间基于感知照度非线性的图像数据交换的装置和方法

(57)摘要

本公开涉及改进不同显示能力之间基于感知照度非线性的图像数据交换的装置和方法。一种手持成像装置具有数据接收器，其被配置为接收参考编码图像数据。所述数据包括被外部译码系统编码的参考代码值。所述参考代码值表示参考灰度级，这些参考灰度级通过使用基于适于不同光水平的人类视觉对于空间频率的感知非线性的参考灰阶显示函数而被选择。所述成像装置还具有数据转换器，其被配置为访问参考代码值与该成像装置的装置特定代码值之间的代码映射。装置特定代码值被配置为生成特定于成像装置的灰度级。基于代码映射，数据转换器被配置为将参考编码图像数据转码为用装置特定代码值编码的装置特定图像数据。



CN 106095353 B

1.一种图像处理装置,包括:

非暂态存储介质;以及

存储在所述非暂态存储介质上的位流,所述位流包括图像和元数据,

其中,

(i)所述元数据包括最小照度值和最大照度值,

(ii)编码的图像是通过数字代码值D被编码的,所述数字代码值D表示至少部分地基于以下函数模型的归一化照度Y:

$$Y = \left(\frac{max\left[\left(V^{1/m} - c_1 \right),\ 0 \right]}{c_2 - c_3 V^{1/m}} \right)^{1/n},$$

其中,所述数字代码值D表示图像数据的分量的采样值,

(iii)参数n、m、c_1、c_2和c_3是预定值,并且

(iv)V表示所述数字代码值D的归一化值并且0≤V≤1,

其中,

$$n = \frac{2610}{4096} \times \frac{1}{4} \simeq 0.1593017578125;$$

$$m = \frac{2523}{4096} \times 128 \simeq 78.84375;$$

$$c_1 = c_3 - c_2 + 1 = \frac{3424}{4096} \simeq 0.8359375;$$

$$c_2 = \frac{2413}{4096} \times 32 \simeq 18.8515625;$$以及

$$c_3 = \frac{2392}{4096} \times 32 \simeq 18.6875。$$

2.根据权利要求1所述的装置,其中,所述归一化值V与所述数字代码值D之间的关系由以下函数提供:

$$V = \frac{D - 4 \cdot 2^{b-10}}{1015 \cdot 2^{b-10}}$$

其中,b是与用于表示所述数字代码值D的位数对应的位深。

3.根据权利要求2所述的装置,其中,所述位深b为10位。

4.根据权利要求2所述的装置,其中,所述位深b为12位。

5.一种图像处理装置,包括:

非暂态存储介质;以及

存储在所述非暂态存储介质上的位流,所述位流包括图像和元数据,

其中,

(i)所述元数据包括最小照度值和最大照度值,

(ii)编码的图像是通过数字代码值D被编码的,所述数字代码值D表示至少部分地基于

以下函数模型的归一化分量值Y：

$$Y = \left(\frac{max\left[\left(V^{1/m} - c_1 \right),\ 0 \right]}{c_2 - c_3 V^{1/m}} \right)^{1/n},$$

其中，所述数字代码值D表示图像数据的分量的采样值，

(iii)参数n、m、c_1、c_2和c_3是预定值，并且

(iv)V表示所述数字代码值D的归一化值V，并且0≤V≤1，

其中，

$$n = \frac{2610}{4096} \times \frac{1}{4} \simeq 0.1593017578125;$$

$$m = \frac{2523}{4096} \times 128 \simeq 78.84375;$$

$$c_1 = c_3 - c_2 + 1 = \frac{3424}{4096} \simeq 0.8359375;$$

$$c_2 = \frac{2413}{4096} \times 32 \simeq 18.8515625;$$以及

$$c_3 = \frac{2392}{4096} \times 32 \simeq 18.6875。$$

6.根据权利要求5所述的装置，其中，所述归一化分量值Y是红色(R)、绿色(G)或蓝色(B)分量。

7.根据权利要求5所述的装置，其中，所述归一化值V与所述数字代码值D之间的关系由以下函数提供：

$$V = \frac{D - 4 \cdot 2^{b-10}}{1015 \cdot 2^{b-10}}$$

其中，b是与用于表示所述数字代码值D的位数对应的位深。

8.根据权利要求7所述的装置，其中，所述位深b为10位。

9.根据权利要求7所述的装置，其中，所述位深b为12位。

改进不同显示能力之间基于感知照度非线性的图像数据交换的装置和方法

[0001] 本申请是申请号为201280060408.7、申请日为2012年12月6日、发明名称为“改进不同显示能力之间基于感知照度非线性的图像数据交换的装置和方法”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求于2011年12月6日提交的美国临时专利申请No.61/567,579;于2012年7月23日提交的美国临时专利申请No.61/674,503;以及于2012年9月20日提交的美国临时专利申请No.61/703,449的优先权,这些申请的全部内容都出于所有目的通过引用并入此。

技术领域

[0004] 本发明总地涉及图像数据。更特别地,本发明的实施例涉及不同显示能力之间基于感知非线性的图像数据交换。

背景技术

[0005] 技术的发展使得现代显示器设计可以呈现图像和视频内容,与相同内容呈现在落后的显示器上相比,各种质量特性得到显著改进。例如,一些更现代的显示器能够以比常规或标准显示器的标准动态范围(SDR)高的动态范围(DR)呈现内容。

[0006] 例如,一些现代的液晶显示器(LCD)具有光单元(背光单元、侧光单元等),该光单元提供光场,在该光场中可以与有源LCD元件的液晶取向状态的调制分开地对各个部分进行调制。该双调制方法是可扩展的(例如,可扩展到N个调制层,其中,N包括大于2的整 数),诸如可以通过显示器的电光学构造中的可控中间层(例如,可分别控制的LCD层的多个层)进行扩展。

[0007] 相比之下,一些现有的显示器具有比高动态范围(HDR)明显窄的动态范围(DR)。使用典型的阴极射线管(CRT)、具有恒定荧光白色背光照明或等离子体屏幕技术的液晶显示器(LCD)的移动装置、计算机平板、游戏装置、电视(TV)和计算机监视器设备的DR呈现能力可能限于大约三个数量级。这样的现有显示器因此代表标准动态范围(SDR),相对于HDR,有时也被称为“‘低’动态范围”或“LDR”。

[0008] HDR照相机所捕捉的图像可具有远大于大多数(如果不是所有)显示装置的动态范围的场景相关(scene-referred)HDR。场景相关HDR图像可以包括大量数据,并且可以被转换为便利于传输和存储的后期制作格式(例如,具有8位RGB、YCbCr或深色选项的HDMI视频信号;具有10位4:2:2采样率的1.5Gbps SDI视频信号;具有12位4:4:4或10位4:2:2采样率的3Gbps SDI;以及其他视频或图像格式)。后期制作图像可以包括比场景相关HDR图像的动态范围小得多的动态范围。此外,当图像被递送到终端用户的显示装置进行呈现时,沿途发生装置特定和/或制造商特定的图像变换,使得与原始的场景相关HDR图像相比,在呈现图像中引起大量视觉上明显的错误。

[0009] 在本部分中描述的方法是可从事的方法,但未必是以前已经构想或从事的方法。

因此,除非另外指出,否则,不应仅凭借包含于本部分中而认为在本部分中描述的方法中的任一种为现有技术。类似地,除非另外指出,否则,关于一种或更多种方法识别的问题不应基于本部分而认为在任何现有技术中已被识别。

[0010] GB2311432A公开了用于将图像数据的输入帧转换成具有不同空间频率谱的多个输出帧的方法。在根据人类视觉系统的模型向每个输出帧引用单独的增益之后,输出帧被组合,由此锐化或软化输入图像。

[0011] US2003/0174284A1公开了表现为使用随机交错空间频率的光栅刺激的两个交替强制选择检查的对比敏感度测试。

[0012] WO2007/014681A公开了调节显示系统以使得显示系统符合针对 所选择的参数范围的强制标准的方法。根据标准化的灰阶标准显示函数编码的图像被转换成显示器特定数字驱动水平。数字驱动水平被基于人类对比敏感度根据显示系统的本征传递函数曲线转换成照度输出。

附图说明

[0013] 在附图中以举例的方式、而非限制的方式例示本发明,在附图中,相似的标号表示类似的元件,其中:

[0014] 图1例示根据本发明的示例实施例的跨越多个光适应水平的对比敏感度函数曲线的示例族群;

[0015] 图2例示根据本发明的示例实施例的示例积分路径;

[0016] 图3例示根据本发明的示例实施例的示例灰阶(grayscale)显示函数;

[0017] 图4例示根据本发明的示例实施例的描绘Weber分数的曲线;

[0018] 图5例示根据本发明的示例实施例的与不同GSDF的装置交换图像数据的示例框架;

[0019] 图6例示根据本发明的示例实施例的示例转换单元;

[0020] 图7例示根据本发明的示例实施例的示例SDR显示器;

[0021] 图8A和图8B例示根据本发明的示例实施例的示例处理流程;

[0022] 图9例示根据本发明的示例实施例的在其上可以实现如本文中所描述的计算机或计算装置的示例硬件平台;

[0023] 图10A例示根据一些示例实施例的多个代码空间中的以JND为单位的代码错误的最大量,所述多个代码空间中的每个代码空间具有一个或多个不同位深中的不同的一个位深;

[0024] 图10B至图10E例示根据一些示例实施例的代码错误的分布;以及

[0025] 图11例示根据示例实施例的函数模型中的参数的值。

具体实施方式

[0026] 本文中描述与不同能力的显示器之间基于感知照度非线性的图像 数据交换相关的示例实施例。在以下的描述中,出于解释的目的,为了使得能够彻底理解本发明,阐述了大量的特定细节。但应理解,可以在没有这些特定细节的情况下实施本发明。在其它情况下,为了避免不必要地遮蔽、掩盖或混淆本发明,不以详尽的细节描述公知的结构和装置。

[0027] 本文中根据下面的大纲来描述示例实施例：

[0028] 1.总体概述

[0029] 2.对比敏感度函数(CSF)模型

[0030] 3.感知非线性

[0031] 4.数字代码值和灰度级(gray level)

[0032] 5.模型参数

[0033] 6.可变空间频率

[0034] 7.函数模型

[0035] 8.基于参考GSDF交换图像数据

[0036] 9.转换参考编码图像数据

[0037] 10.示例处理流程

[0038] 11.实现机构——硬件概述

[0039] 12.枚举示例实施例、等同、扩展、替代和其它

[0040] 1.总体概述

[0041] 本概述给出本发明的示例实施例的一些方面的基本描述。应当注意，本概述不是示例性实施例的各方面的详尽或全面的概括。并且，应当注意，本概述不应被理解为标识示例性实施例的任何特别重要的方面或要素，也不应被理解为特别地将示例性实施例的任何范围划界，也不总体上将本发明划界。本概述仅以简要和简化的格式给出与示例性实施例有关的一些概念，并且应被理解为仅是以下给出的示例性实施例的更详细的描述的概念性序言。

[0042] 如果两个照度值彼此相差不大，则人类视觉可能感知不到这两个照度值之间的差异。相反，如果照度值相差不小于最小可觉差(JND)， 则人类视觉仅感知到差异。由于人类视觉的感知非线性，各个JND的数量在光水平(light level)范围上为不均匀的大小或比例，而是随着不同的各个光水平而变化。另外，由于感知非线性，各个JND的数量在特定光水平处的空间频率范围上为不均匀的大小或比例，而是随着低于截止空间频率的不同空间频率而变化。

[0043] 通过用相等大小或线性缩放大小的照度量化步长被编码的图像数据与人类视觉的感知非线性不匹配。用通过在一个固定空间频率上的照度量化步长被进行编码的图像数据与人类视觉的感知非线性也不匹配。根据这些技术，当分配码字来表示量化照度值时，太多的码字可能分布在光水平范围的特定区域(例如，明亮区域)中，而太少的码字则可能分布在光水平范围的不同区域(例如，黑暗区域)中。

[0044] 在过于密集的区域中，大量码字可能不能生成感知差异，并且因此实际上被浪费。在稀疏的区域中，两个相邻码字可以生成比JND大得多的感知差异，并且可能生成轮廓畸变(也称为条带状)视觉伪像。

[0045] 根据如本文中所描述的技术，可以使用对比敏感度函数(contrast sensitivity function，CSF)来确定宽范围的光水平(例如，0至12,000cd/m^2)上的JND。在示例实施例中，选择在特定光水平的作为空间频率的函数的峰值JND来表示在该特定光水平的人类感知量。峰值JND的选择根据如下的人类视觉的行为：即当具有接近的、但是不同的照度值的背景被观看时人类视觉适应于提高的水平的视觉感知性水平，这在视频和图像显示视场中有

时被称为勾边效应(crispening effect)和/或Whittle的勾边效应,并且在本文中可以像这样进行描述。如本文中所使用的,术语“光适应水平(light adaptation level)”可以用于表示这样的光水平,在该光水平,在假定人类视觉适应于该光水平的情况下,选择/确定(例如,峰值)JND。如本文中所描述的峰值JND在不同光适应水平随空间频率而变化。

[0046] 如本文中所使用的,术语“空间频率”可以是指图像中的空间调制/变化的速率(其中,与相对于时间计算速率相对比,相对于空间距离或在空间距离上计算速率)。与可将空间频率固定为特定值的常规 方法相对比,如本文中所描述的空间频率可以例如在一个范围中或在一个范围上变化。在一些实施例中,峰值JND可被限于特定空间频率范围(例如,0.1至5.0、0.01至8.0个周期/度、或者更小的或更大的范围)内。

[0047] 参考灰阶显示函数(GSDF)可以基于CSF模型而产生。在一些实施例中,对于CSF模型假定非常广的视场,以用于产生更好地支持娱乐显示场的参考GSDF。GSDF是指参考数字代码值(或参考码字)集合、参考灰度级(或参考照度值)集合、以及这两个集合之间的映射。在示例实施例中,每个参考数字代码值对应于如JND所表示的(例如,在某一光适应水平的峰值JND)的人类感知量。在示例实施例中,相同数量的参考数字代码值可以对应于人类感知量。

[0048] 可以通过从初始值开始累积JND来获得GSDF。在示例实施例中,将中间码字值(例如,对于12位代码空间,2048)作为初始值给予参考数字代码。参考数字代码的初始值可以对应于初始参考灰度级(例如,100cd/m^2)。在参考数字代码一个接一个地递增时可以通过正累积JND(相加)来获得对于参考数字代码的其他值的其他参考灰度级,当参考数字代码一个接一个地递减时,可以通过负累积JND(相减)来获得对于参考数字代码的其他值的其他参考灰度级。在示例实施例中,在计算GSDF中的参考值时,可以使用诸如对比度阈值的量值来代替JND。在计算GSDF中实际上所使用的这些量值可以被定义为无单位比率,并且可以与相应的JND仅相差已知的或可确定的乘数、除法因子和/或偏差。

[0049] 代码空间可被选择为包括GSDF中的所有参考数字代码值。在一些实施例中,所有的参考数字代码值都驻存在其中的代码空间可以是下列代码空间之一:10位代码空间、11位代码空间、12位代码空间、13位代码空间、14位代码空间、15位代码空间、或者更大的或更小的代码空间。

[0050] 尽管可以使用大的代码空间(>15位)来托管所有的参考数字代码值,但是在特定实施例中,使用最高效的代码空间(例如,10位、 12位等)来托管参考GSDF中所产生的所有参考数字代码值。

[0051] 可以使用参考GSDF来对图像数据进行编码,所述图像数据例如由具有远大于大多数(如果不是所有)显示装置的动态范围的场景相关HDR的HDR照相机、演播室系统、或其他系统捕捉或产生。可以用多种分发或发送方法(例如,具有8位RGB、YCbCr或深色选项的HDMI视频信号;具有10位4:2:2采样率的1.5Gps SDI视频信号;具有12位4:4:4或10位4:2:2采样率的3Gps SDI;以及其他视频或图像格式)来将编码图像数据提供给下游装置。

[0052] 在一些实施例中,因为参考GSDF中的相邻参考数字代码值对应于在JND内的灰度级,所以人类视觉能够区分的细节可以完全或基本上保留在基于参考GSDF被编码的图像数据中。完全支持参考GSDF的显示器可以呈现不具有条带状或轮廓畸变伪像的图像。

[0053] 可以使用基于参考GSDF被编码的图像数据(或参考编码图像数据)来支持可能不

能完全支持参考GSDF中的所有参考照度值的多种能力较低的显示器。因为参考编码图像数据包括所支持的照度范围(其可以被设计为显示器所支持的范围的超集)中的所有感知细节,所以参考数字代码值可被以如下方式最佳地且高效率地转码为显示器特定数字代码值,即尽可能多地保留特定显示器能够支持的细节并且引起尽可能少的视觉上明显的错误。附加地和/或可选地,可以与从参考数字代码值到显示器特定数字代码值的转码相结合地或者作为该转码的一部分,执行去轮廓(decontour)和抖动(dither),以进一步改进图像或视频质量。

[0054] 如本文中所描述的技术是无关于颜色空间的。它们可以用于RGB颜色空间、YCbCr颜色空间或不同的颜色空间中。此外,可以将使用随空间频率变化的JND导出参考值(例如,参考数字代码值和参考灰度级)的技术应用于可以包括照度通道或者可以不包括照度通道的不同颜色空间(例如,RGB)中的除了照度通道之外的不同通道(例如,红色、绿色和蓝色通道之一)。例如,作为参考灰度级的代替,可以使用可应用于蓝色颜色通道的JND来导出参考蓝色值。因此,在一些 实施例中,可以用灰阶来取代颜色。附加地和/或可选地,还可以使用不同的CSF模型来代替Barten的模型。所以,对于同一CSF模型,可以使用不同的模型参数。

[0055] 在一些实施例中,如本文中所描述的机构形成媒体处理系统的一部分,所述媒体处理系统包括但不限于:手持装置、游戏机、电视、膝上型计算机、上网本计算机、蜂窝无线电话、电子书阅读器、销售点终端、台式计算机、计算机工作站、计算机亭、或各种其他类型的终端和媒体处理单元。

[0056] 对于本文中所描述的优选实施例以及总体原理和特征的各种修改对于本领域的技术人员将是清楚的。因此,本公开并非意图局限于所示的实施例,而是要被给予与本文中所描述的原理和特征一致的最广泛的范围。

[0057] 2.对比敏感度函数(CSF)模型

[0058] 可以用对比敏感度函数(CSF)来最好地描述人类视觉对于所呈现的图像中的空间结构的敏感度,CSF将对比敏感度描述为空间频率(或人类观察者所感知的图像中的空间调制/变化的速率)的函数。如本文中所使用的,对比敏感度S可以被认为是人类视觉神经信号处理中的增益,而对比度阈值C_T可以从对比敏感度的倒数确定,例如:

[0059] 对比敏感度=$S=1/C_T$表达式(1)

[0060] 如本文中所使用的,术语“对比度阈值”可以是指人眼感知到对比度差异所必要的(相对)对比度的最低值(例如,最小可觉差),或者与该最低值相关;在一些实施例中,还可以将对比度阈值描绘为照度值范围上除以光适应水平的最小可觉差的函数。

[0061] 在一些实施例中,可以在实验中直接测量对比度阈值,而不使用任何CSF模型。然而,在一些其他实施例中,可以基于CSF模型来确定对比度阈值。可以用若干个模型参数来构建CSF模型,并且可以使用CSF模型来导出GSDF,该GSDF的灰度级中的量化步长取决于由照度值和空间频率表征的光水平并且随该光水平而变化。示例实施例可以基于各种CSF模型中的一个或多个来实现,诸如下列文献中所 描述的CSF模型:Peter G.J.Barten的Contrast Sensitivity of the Human Eye and its Effects on Image Quality(1999)(在下文中,Barten的模型或Barten的CSF模型)、或A.B.Watson,MIT Press(1933)的Digital Images and Human Vision中的Scott Daly,第17章(在下文中,Daly的模型)。关于本发明的示例实施例,可以用实验、从理论上、用CSF模型或它们的组合来导出用于产生

参考灰阶显示函数(GSDF)的对比度阈值。

[0062] 如文本中所使用的,GSDF可以是指多个数字代码值(例如,1,2,3,…,N)到多个灰度级(L_1,L_2,L_3,…,L_N)的映射,其中,如表1中所示,数字代码值表示对比度阈值的索引值,灰度级对应于对比度阈值。

[0063] 表1

[0064]

数字代码值	灰度级(照度值)
1	L_1
2	L_2
3	L_3
…	…
i-1	L_{i-1}
i	L_i
i+1	L_{i+1}
…	…
N	L_N

[0065] 在实施例中,可以如下地与对比度(例如,C(i))相关地计算与数字代码值(例如,i)相应的灰度级(例如,L_i)和相邻灰度级(例如,L_{i+1}):

[0066]

$$C(i) = (L_{i+1} - L_i)/(L_{i+1} + L_i)$$
$$= (L_{i+1} - L_{mean}(i, i+1))/L_{mean}(i, i+1)$$
$$= \sim \tfrac{1}{2}\Delta L/L \qquad \text{表达式(2)}$$

[0067] 其中,C(i)表示限于L_i与L_{i+1}之间的照度范围的对比度。L_{mean}(i,i+1)包括两个相邻灰度级L_i和L_{i+1}的算术平均值或均值。对比度C(i)在算术上以因子2与Weber分数ΔL/L相关。这里,ΔL表示(L_{i+1}-L_i),L表示L_i、L_{i+1}、或L_i与L_{i+1}之间的中间值之一。

[0068] 在一些实施例中,GSDF产生器可以如下地将对比度C(i)设置为与在L_i与L_{i+1}之间(包括L_i与L_{i+1}在内)的照度水平L处的对比度阈值(例如,C_T(i))相等的或者成比例的值:

[0069] $C(i) = kC_\gamma(i)$ 表达式(3)

[0070] 其中,k表示乘法常数。关于本发明的实施例,可以使用其他描述性统计/定义(例如,几何均值、中间值、众数、方差或标准差)和/或缩放(x2、x3、除以或乘以缩放因子等)和/或偏移(+1、+2、-1、-2、减去或加上偏移等)和/或加权(例如,为两个相邻灰度级分配相同的或不同的权重因子)来将对比度阈值与用于计算GSDF中的灰度级的目的的对比度相关。

[0071] 如表达式(1)、(2)和(3)中所计算的,对比度或对比度阈值可以包括相对值,因此可以包括无单位量值(例如,所以S也可以是无单位的)。

[0072] 可以从基于描绘CSF模型的CSF的基本对比度阈值计算或基本对比度阈值测量来构建CSF模型。人类视觉不幸的是复杂的、自适应的和非线性的,使得不存在描述人类视觉的单个CSF曲线。相反,可以基于CSF模型来产生CSF曲线族群。即使就同一CSF模型而言,模型参数的不同值对于CSF曲线族群也生成不同的绘图。

[0073] 3.感知非线性

[0074] 图1例示跨越多个光适应水平的示例性CSF曲线族群。仅仅为了例示的目的，在图1中描绘的最高CSF曲线是针对照度值为每平方米1000坎德拉(cd/m^2或“尼特”)的光适应水平，其他高度降低的曲线是针对照度值以10降低因子连续减小的光适应水平。从CSF曲线可以读取的显著特征是，随着照度增大(光适应水平增大)，包括最大(或峰值)对比敏感度的总体对比敏感度增大。在图1中的CSF曲线上的对比敏感度达到峰值的峰值空间频率移位到更高的空间频率。类似地，CSF曲线上的最大可感知空间频率(截止频率)也增大，所述最大可感知空间频率是水平(空间频率)轴对CSF曲线的截取。

[0075] 在示例实施例中，可以用考虑了与人类感知相关的若干个关键效应的Barten的CSF模型来导出产生如图1中所示的CSF曲线族群的CSF函数。可以如下面的表达式(4)中所示那样计算根据Barten的CSF模型的示例CSF S(u)(或相应的对比度阈值m_i的倒数)。

[0076]

$$S(u)=\frac{1}{m_i}=\frac{M_{opt}(u)/k}{\sqrt{\frac{2}{T}\left(\frac{1}{X_0^2}+\frac{1}{X_{max}^2}+\frac{u^2}{N_{max}^2}\right)\left(\frac{1}{\eta pE}+\frac{\Phi_0}{1-e^{-(u/u_0)^2}}\right)}}$$

表达式(4)

[0077] 上面的表达式(4)中所使用的示例模型参数包括下面列出的表示：

[0078] ○2(数值因子)对应于双眼视觉(如果是单眼视觉，则为4)；

[0079] ○k表示信噪比，例如，3.0；

[0080] ○T表示眼睛的积分时间，例如，0.1秒；

[0081] ○X_0表示对象(例如，方形形状)的角度大小；

[0082] ○X_{max}表示眼睛的积分区域的最大角度大小(例如，12度)

[0083] ○N_{max}表示通过概率求和而累积的周期的最大数量，例如，15个周期

[0084] ○η表示眼睛的量子效率，例如，.03；

[0085] ○p表示光子转换因子；

[0086] ○E表示例如以特罗兰得为单位的视网膜照度；

[0087] ○Φ_0表示神经噪声的谱密度，例如，3×10^{-8}秒*度^2；以及

[0088] ○μ_0表示用于侧抑制的最大空间频率，例如，7个周期/度。

[0089] 可以如下给出光学调制传递函数M_{opt}：

[0090]

$$M_{opt}=e^{-2\pi^2\sigma^2u^2}$$

表达式(5)

[0091] 其中，σ表示与瞳孔和/或光水平相关的模型参数。

[0092] 可以使用如上面所讨论的Barten的CSF模型来描述与照度相关的感知非线性。还可以使用其他CSF模型来描述感知非线性。例如，Barten的CSF模型没有考虑眼调节(accommodation)效应，该眼调 节效应使得CSF的高空间频率区域中的截止空间频率降低。可以将由于眼调节而导致的该降低效应表达为减小观看距离的函数。

[0093] 例如，对于1.5米以上的观看距离，可以实现如Barten的CSF模型所描绘的最大截止空间频率，而不影响Barten的模型作为适合于描述感知非线性的模型的有效性。然而，对于小于1.5米的距离，眼调节效应开始变得显著，降低了Barten的模型的精度。

[0094] 因此,对于具有更近的观看距离(诸如0.5米)的平板显示器、以及可以具有近如0.125米的观看距离的智能电话,可能不能最佳地调整Barten的CSF模型。

[0095] 在一些实施例中,可以使用考虑了眼调节效应的Daly的CSF模型。在特定实施例中,可以部分地基于上面的表达式(4)中的Barten的CSF S(u)例如通过修正表达式(5)中的光学调制传递函数M_{opt}来构造Daly的CSF模型。

[0096] 4.数字代码值和灰度级

[0097] 如表1中所示的GSDF通过使用数字代码值表示与人类视觉中的对比度阈值相关联的灰度级来映射感知非线性。包括所有的被映射照度值的灰度级可被分布为使得它们被最佳地间隔以匹配人类视觉的感知非线性。

[0098] 在一些实施例中,当GSDF中的最大数量的灰度级相对于最大照度值范围足够大时,GSDF中的数字代码值可被如下方式使用,即在不造成灰度级步长跃变(step transition)可见(例如,在图像中可见为错误轮廓或条带;或图像的黑暗区域中的色移)的情况下实现最低数量(例如,低于总共4096个数字代码值)的灰度级。

[0099] 在一些其他实施例中,仍然可以使用有限数量的数字代码值来表示宽动态范围的灰度级。例如,当GSDF中的灰阶级(grayscale level)的最大数量相对于灰阶级的最大范围不够大(例如,在灰阶级范围为从0至12,000尼特的情况下8位表示的数字代码值)时,GSDF仍然可被以如下方式使用,即实现最低数量(例如,低于总共256个数字代码值)的灰度级,以降低或最小化灰度级步长跃变的可见性。就这 样的GSDF而言,可以在GSDF中的相对少的灰度级的整个层级结构中均匀地分布步长跃变的可感知错误/伪像的数量/程度。如本文中所使用的,术语“灰阶级”或“灰度级”可以互换地使用,并且可以是指所表示的照度值(GSDF中所表示的量化照度值)。

[0100] 可以通过对光适应水平上(不同照度值处)的对比度阈值进行堆叠或求积分来导出GSDF中的灰度级。在一些实施例中,灰度级之间的量化步长可被选择为使得任何两个相邻灰度级之间的量化步长落在JND内。特定光适应水平(或照度值)处的对比度阈值可以不大于在该特定自适应水平的最小可觉差(JND)。可以通过对对比度阈值(或JND)的分数进行求积分或堆叠来导出灰度级。在一些实施例中,数字代码值的数量多于足够表示所表示的照度动态范围中的所有JND的数量。

[0101] 可以对于特定光适应水平(或照度值)在除固定空间频率之外的不同空间频率处从CSF曲线选择用于计算灰阶级的对比度阈值或作为倒数的对比敏感度。在一些实施例中,对于光适应水平在与(例如,由于Whittle的勾边效应导致的)峰值对比敏感度相应的空间频率处从CSF曲线选择每个对比度阈值。另外,可以对于不同光适应水平在不同空间频率处从CSF曲线选择对比度阈值。

[0102] 计算/堆叠GSDF中的灰度级的示例表达式如下:

[0103] $$GSDF = ({}_{L_{min}}^{\Sigma} JND)$$

[0104] $JND = 1/S(f, L_A)$ 表达式(6)

[0105] 其中,f表示空间频率,其根据如本文中所描述的技术可以不同于固定数;L_A表示光适应水平。L_{min}可以是所有被映射灰度级中的最低照度值。如本文中所使用的,术语“尼特”或其缩写“nt”可以同义地或可互换地涉及或者指的是等同于或等于一(1)坎德拉每平方米(1尼特=1nt=1cd/m^2)的图像强度、明亮度、亮度和/或照度的单位。在一些实施例中,

L_{min}可以包括零值。在一些其他实施例中，L_{min}可以包括非零值(例如，可以低于显示装置通常能够实现的水平的某一暗黑水平，10^{-5}尼特、10^{-7}尼特等)。在一些实施例中，L_{min}可被用除最小 初始值之外的允许用减法或负数加法来进行堆叠计算的值(诸如中间值或最大值)取代。

[0106] 在一些实施例中，例如，如表达式(6)中所示，通过求和来执行JND的堆叠以导出GSDF中的灰度级。在一些其他实施例中，可以使用积分来代替离散求和。积分可以沿着从CSF确定的积分路径来进行积分(例如，表达式(4))。例如，积分路径可以包括对于CSF的(参考)动态范围中的所有光适应水平的峰值对比敏感度(例如，与不同空间频率相应的不同峰值敏感度)。

[0107] 如本文中所使用的，积分路径可以是指用于表示人类感知非线性并且建立数字代码值集合与参考灰度级(量化照度值)集合之间的映射的可见动态范围(VDR)曲线。可能要求该映射满足下述标准，即，在相应的光适应水平(照度值)以上或以下，每个量化步长(例如，表1中的两个相邻灰度级的照度差)小于JND。积分路径的在特定光适应水平(照度值)的瞬时导数(以尼特/空间-周期为单位)与该特定自适应水平的JND成比例。如本文中所使用的，术语“VDR”或“视觉动态范围”可以是指比标准动态范围广的动态范围，并且可以包括但不限于直到人类视觉眨眼间可以感知到的瞬时可感知的动态范围和色域的宽动态范围。

[0108] 基于如本文中所描述的技术，可以开发与任何特定显示器或图像处理装置无关的参考GSDF。在一些实施例中，可以将除光适应水平(照度)、空间频率和角度大小之外的一个或多个模型参数设置为常数(或固定)值。

[0109] 5.模型参数

[0110] 在一些实施例中，用覆盖宽范围的显示装置的保守模型参数值来构造CSF模型。保守模型参数值的使用提供了比现有的标准GSDF小的JND。因此，在一些实施例中，根据本文中所描述的技术的参考GSDF能够支持超过这些显示装置的要求的高精度的照度值。

[0111] 在一些实施例中，如本文中所描述的模型参数包括视场(FOV)参数。可以将FOV参数设置为45度、40度、35度、30度、25度的 值、或者支持宽范围的显示装置和观看场景(包括演播室、影院或高端娱乐系统中所使用的那些)的另一个更大的或更小的值。

[0112] 如本文中所描述的模型参数可以包括可以与例如视场有关的角度大小参数。可以将角度大小参数设置为45度×45度、40度×40度、35度×35度、30度×30度、25度×25度的值、或者支持宽范围的显示装置和观看场景的另一个更大的或更小的值。在一些实施例中，可以将部分用于导出参考GSDF的角度大小参数设置为n度×m度，其中，n和m均可以是30与40之间的数值，并且n和m可以相等或者可以不相等。

[0113] 在一些实施例中，使用更大的角度大小(例如，40度×40度)来生成具有更多灰阶级、因此具有更大对比敏感度的参考GSDF。可以使用GSDF来支持可能要求～30至40度的广视角的宽范围的观看和/或显示场景(例如，大屏幕视频显示器)。还可以使用敏感度由于选择大的角度大小而提高的GSDF来支持高度可变的观看和/或显示场景(例如，影院)。可以选择甚至更大的角度大小；然而，将角度大小提高到远高于某一角度大小(例如，40度)可以生成相对有限的余裕益处。

[0114] 在一些实施例中，参考GSDF模型覆盖大照度范围。例如，参考GSDF模型所表示的灰度级或量化照度值的范围为从0或大约0(例如，10^{-7}cd/m^2)至12,000cd/m^2。参考GSDF模型中

所表示的照度值的下界限可以为$10^{-7}cd/m^2$、或者更低的或更高的值(例如,0、10^{-5}、10^{-8}、$10^{-9}cd/m^2$等)。可以使用GSDF来支持具有不同周围光水平的宽范围的观看和/或显示场景。可以使用GSDF来支持具有不同暗黑水平的宽范围的显示装置(影院里、室内或户外)。

[0115] 参考GSDF模型中的所表示的照度值的上界限可以为12,000cd/m^2、或者更低的或更高的值(6000-8000、8000-10000、10000-12000、12000-15000cd/m^2等)。可以使用GSDF来支持具有高动态范围的宽范围的观看和/或显示场景。可以使用GSDF来支持具有不同最大照度水平的宽范围的显示装置(HDR TV、SDR显示器、膝上型计算机、平板计算机、手持装置等)。

[0116] 6.可变空间频率

[0117] 图2例示根据本发明的示例实施例的示例积分路径(被表示为VDR),其可以用作如本文中所描述的用于获得参考GSDF中的灰度级的积分路径。在实施例中,使用VDR曲线来精确地捕捉人类视觉在高动态范围的照度值上的峰值对比敏感度。

[0118] 如图2中所示,随着光适应水平(照度值)降低,峰值对比敏感度不在固定空间频率值处发生,而是在更小的空间频率处发生。这意味着,具有固定空间频率的技术(例如,DICOM)可能显著地低估人类视觉对于暗光适应水平(低照度值)的对比敏感度。较低的对比敏感度导致对比度阈值更高,导致量化照度值中的量化步长大小更大。

[0119] 与医学数字成像和通信(DICOM)标准不同,根据如本文中所描述的技术的VDR曲线不将空间频率模型参数固定为一个固定值,诸如每度4个周期。相反,VDR曲线随空间频率而变化,并且精确地捕捉在多个光适应水平的人类视觉的峰值对比敏感度。VDR曲线适当地考虑了由于人类视觉对于宽范围的光适应水平的自适应性而导致的勾边效应,并且帮助产生高精度的参考GSDF。这里,术语"高精度"意味着,基于在固定大小代码空间(例如,10位、12位等之一)的约束内最好地并且最高效率地捕捉人类视觉非线性的参考GSDF,去除了或大幅减小了由于照度值的量化而导致的感知错误。

[0120] 可以使用计算参考GSDF中的灰度级的计算处理(例如,表1)。在示例实施例中,该计算处理是迭代的或递归的,重复地从VDR曲线确定对比度阈值(或调制阈值,例如,表达式4中的m_l),并且应用对比度阈值来获得参考GSDF中的连续灰度级。该计算处理可以用下面的表达式(7)来实现:

[0121] $$m_i = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \text{所以:} L_{j+1} = L_j \frac{1+m_i}{1-m_i} \text{并且} L_{j-1} = L_j \frac{1-m_i}{1+m_i} \qquad \text{表达式(7)}$$

[0122] 可以将与JND相关联的对比度阈值m_l定义为相对量,例如,除以L_{max}或L_{min}的特定照度值的L_{max}与L_{min}之间的差值、或者L_{max}与L_{min}之间的值(例如,L_{max}和L_{min}的平均值)。在一些实施例中,可替代地,可以将m_l定义为除以L_{max}或L_{min}的特定照度值的倍数(例如,2倍)的L_{max}与L_{min}之间的差值、或者L_{max}与L_{min}之间的值。在将GSDF中的照度值量化为多个灰度级时,L_{max}和L_{min}可以是指这些多个灰度级中的相邻灰度级。结果,如表达式(7)中所示,L_j可以通过m_l分别与L_{j-1}和L_{j+1}相关。

[0123] 在替代实施例中,不是使用如表达式(7)中所示的线性表达式,而是可以使用非线性表达式来将JND或对比度阈值与灰度级相关。例如,可以使用基于被均值除的标准差的替代表达式来代替如所示的对于对比度阈值的简单比率。

[0124] 在一些实施例中,在数字代码值被表示为12位整数值的情况下,参考GSDF覆盖0至

12,000cd/m^2的范围。为了进一步改进参考GSDF的精度,可以将m_1与分数值f相乘。此外,可以将中心数字值L2048(指出,如与SDI兼容的12位代码空间中那样,数字代码值至少限于0和4096)映射到100cd/m^2。表达式(7)可以得到下面的表达式(8):

[0125] $L_{2048}=100cd/m^2 L_{j+1}=L_j\frac{1+f*m_i}{1-f*m_i}$并且$L_{j-1}=L_j\frac{1-f*m_i}{1+f*m_i}$ 表达式(8)

[0126] 其中,分数值f被设置为0.918177。在示例实施例中,数字代码的最小容许值被设置为码字(或整数值)16,其被设置为0(cd/m^2)。第二最低数字代码值17以5.27×10-7cd/m^2结束,而数字代码值4076以12,000cd/m^2结束。

[0127] 图3例示根据本发明的示例实施例的在12位代码空间中在多个灰度级(以对数照度值表示)与多个数字代码值之间映射的示例GSDF。

[0128] 图4例示描绘基于图3的示例GSDF的灰度级的Weber分数(Delta L/L或ΔL)的曲线。如图4所示的人类视觉的感知非线性被表示为对数照度轴上的照度值的函数。人类视觉的可比较的视觉差(例 如,JND)对应于较低照度值处的更大的Delta L/L。Weber分数的曲线对于高照度值渐进为常数值(例如,在更高照度值处满足Weber法则的情况下,Weber分数为0.002)。

[0129] 7.函数模型

[0130] 可以使用一个或多个分析函数来获得如本文中所描述的GSDF(参考GSDF或装置特定GSDF)中的数字代码值与灰度级之间的映射。所述一个或多个分析函数可以是专有的、基于标准的、或者从基于标准的函数的扩展。在一些实施例中,GSDF产生器(例如,图5的504)可以基于一个或多个分析函数(或公式)来产生一个或多个正向查找表(LUT)和/或一个或多个反向LUT的形式的GSDF。可以将这些LUT中的至少一些提供给各种图像数据编解码器(例如,图5的506)或多种显示装置,以用于为了对参考图像数据进行编码的目的而在参考灰度级与参考数字代码级之间进行转换。附加地,可选地,或可替代地,可以直接将分析函数(它们的系数用整数或浮点数表示)中的至少一些提供给图像数据编解码器或多种显示装置,以用于获得如本文中所描述的GSDF中的数字代码值与灰度级之间的映射和/或用于为了对图像数据进行编码的目的而在灰度级与数字代码级之间进行转换。

[0131] 在一些实施例中,如本文中所描述的分析函数包括如下的可以用于基于相应的灰度级预测数字代码值的正向函数:

[0132] $$D=\left[\frac{c_1+c_2L^n}{1+c_3L^n}\right]^m$$

表达式(9)

[0133] 其中,D表示数字代码的(例如,12位)值,L表示以尼特为单位的照度值或灰度级,n可以表示如表达式(9)所给出的logD/logL曲线的中间部分中的斜率,m可以表示logD/logL曲线的拐点的锐度,c1、c2和c3可以定义logD/logL曲线的端点和中间点。

[0134] 在一些实施例中,分析函数包括如下的逆函数,其与表达式(9)中的正向函数相对应,并且可用于基于相应的数字代码值来预测照度值:

[0135] $$L=\left[\frac{D^{1/m}-c_1}{c_2-c_3D^{1/m}}\right]^{1/n}$$

表达式(10)

[0136] 可以将使用表达式(9)基于多个照度值预测的数字代码值与所观察的数字代码值进行比较。所观察的数字代码值可以是、但不仅仅限于下列中的任何一个：如前面所讨论的基于CSF模型的数值计算。在实施例中，可以计算并且最小化所预测的数字代码值与所观察的数字代码值之间的偏差，以导出表达式(9)中的参数n、m、c_1、c_2和c_3的最佳值。

[0137] 同样地，可以将使用表达式(10)基于多个数字代码值预测的照度值与所观察的照度值进行比较。所观察的照度值可以(但不限于)如前面所讨论的通过使用基于CSF模型的数值计算而产生，或者通过使用人类视觉实验数据而产生。在实施例中，可以将所预测的照度值与所观察的照度值之间的偏差推导为参数n、m、c_1、c_2和c_3的函数，并且最小化该偏差以导出表达式(10)中的参数n、m、c_1、c_2和c_3的最佳值。

[0138] 用表达式(9)确定的参数n、m、c_1、c_2和c_3的最佳值集合可以与用表达式(10)确定的参数n、m、c_1、c_2和c_3的最佳值集合相同，或者可以不相同。在这两个集合之间不同的情况下，可以使用这两个集合中的一个或两者来产生数字代码值与照度值之间的映射。在一些实施例中，参数n、m、c_1、c_2和c_3的这两个最佳值集合在不同的情况下可以例如基于往返错误的最小化来被协调，所述往返错误是由于用表达式(9)和(10)两者执行正向译码(coding)操作和逆向译码操作两者而引入的。在一些实施例中，可以进行多个往返以研究导致的数字代码值和/或照度值或灰度级中的错误。在一些实施例中，表达式(9)和(10)中的参数的选择可以至少部分基于在一次、两次或更多次往返中不发生显著错误的准则。无显著往返错误的例子可以包括，但不仅仅限于下列错误中的任何一个：小于0.0001％、0.001％、0.01％、1％、2％或其他可配置值的错误。

[0139] 实施例包括使用一个或多个不同位长度的代码空间来表示数字控 制值。可以对于多个代码空间中的每个获得表达式(9)和(10)中的参数的优化值，所述多个代码空间中的每个代码空间具有一个或多个不同位长度中的不同的一个位长度。基于表达式(9)和(10)的优化值，可以确定代码错误的分布(例如，基于表达式(9)和(10)的数字代码值中的正向变换错误、逆向变换错误、或往返错误)。在一些实施例中，两个数字代码值中的数值差一(1)对应于这两个数字代码值所表示的两个照度值之间的在某一光水平的对比度阈值(或对应于JND)。图10A例示根据一些示例实施例的多个代码空间中的以JND为单位的代码错误的最大量，所述多个代码空间中的每个代码空间具有一个或多个不同精度(具有不同位长度)中的不同的一个精度。例如，基于如本文中所描述的函数模型，具有无限或无限制的位长度的代码空间的最大代码错误为11.252。与之相比，基于如本文中所描述的函数模型，12位长度(或4096)的代码空间的最大代码错误为11.298。这表明，就表达式(9)和(10)所表示的函数模型而言，用于数字代码值的12位长度的代码空间是优良的选择。

[0140] 图10B例示根据示例实施例的在表达式(9)所指定的正向变换(从照度值到数字代码值)的情况下12位长(或4096)的代码空间的代码错误的分布。图10C例示根据示例实施例的在表达式(10)所指定的反向变换(从数字代码值到照度值)的情况下12位长度(或4096)的代码空间的代码错误的分布。图10B和图10C都指示最大代码错误小于12.5。

[0141] 图11例示根据示例实施例的表达式(9)和(10)中可以使用的参数的值。在一些实施例中，如所示，在如本文中所描述的函数模型的特定实现中，可以使用基于整数的公式来表示/逼近这些非整数值。在一些其他的实施例中，在如本文中所描述的函数模型的特定实现中，可以使用具有一个或多个精度(例如，14位、16位或32位)之一的定点值、浮点值来表

示的这些非整数值。

[0142] 实施例包括使用具有除了表达式(9)和(10)中所给出的那些公式(其可以是色调映射曲线)之外的公式的函数模型。例如,如本文中 所描述的函数模型可以使用具有如下的Naka-Rushton公式的圆锥体模型:

[0143] $$L_d = \left[L_d^{\max} \left(\frac{L^n}{\sigma + L^n} \right) \right]^m$$ 表达式(11)

[0144] 其中,L表示照度值,n、m和σ表示与圆锥体模型相关联的模型参数,L_d表示可以用数字代码值编码的预测值。可以使用通过最小化偏差来获得模型参数的类似方法来导出用于表达式(11)的模型参数的最佳值。图10D例示根据示例实施例的在表达式(11)所指定的正向变换(从照度值到数字代码值)的情况下对于12位长度(或4096)的代码空间的代码错误的分布。在实施例中,如图10D中所示的最大代码错误为25个JND。

[0145] 在另一个例子中,可以产生具有如下的Raised mu公式的函数模型:

[0146] $$y = (1+\mu)^{x^{6.2}+(1-x)}$$ 表达式(12)

[0147] 其中,x表示照度值,y表示预测数字代码值。可以通过最小化偏差来获得模型参数μ的最佳值。图10E例示根据示例实施例的在表达式(12)所指定的正向变换(从照度值到数字代码值)的情况下对于12位长度(或4096)的代码空间的代码错误的分布。在实施例中,如图10D中所示的最大代码错误为17个JND。

[0148] 如本文中所示,在一些实施例中,可以使用函数模型来从照度值预测代码值或者从代码值预测照度值。函数模型所使用的公式可以是可逆的。可以实现执行这些值之间的正向和逆向变换的相同的或类似的处理逻辑。在一些实施例中,包括但不仅限于任何指数的模型参数可以用基于定点值或整数的公式来表示。因此,可以仅用硬件、仅用软件或硬件和软件的组合来高效率地实现所述处理逻辑的至少一部分。类似地,可以仅用硬件、仅用软件或硬件和软件的组合(包括ASIC或FPGA)来高效率地实现用函数模型或模型公式(诸如表达式(9)至表达式(12))产生的LUT的至少一部分。在一些实施例中,一个、两 个或更多个函数模型可以在单个计算装置、多个计算装置的构造、服务器等中实现。在一些实施例中,在照度值的可见动态范围的整个范围上,预测代码值中的错误可以在目标或观察值的14个代码值内。在一些实施例中,这适用于正向和逆向变换两者。在正向变换和逆向变换中可以使用相同的或不同的模型参数集合。可以用模型参数的最佳值来最大化往返精度。可以使用不同的代码空间。在特定实施例中,可以使用12位长度(4096)的代码空间来在可见动态范围的整个范围上以最小代码错误托管数字代码值。

[0149] 如本文中所使用的,参考GSDF可以是指包括参考数字代码值和参考灰度级的GSDF,这些参考数字代码值和参考灰度级根据函数模型(其模型参数可以用CSF模型下的目标值或观察值来确定)而相关,通过基于CSF模型的数值计算(例如,不确定数字代码值与照度值之间的映射的任何函数表示)而确定,或者用来自人类视觉研究的数据而确定。在一些实施例中,装置GSDF还可以包括可以在分析上用如本文中所描述的函数模型表示的数字代码值与灰度级之间的映射。

[0150] 8.基于参考GSDF交换图像数据

[0151] 为了例示的目的,描述了数字代码值驻存在12位代码空间中。然而,本发明不限于此。在参考GSDF中可以使用具有不同代码空间(例如,除了12位之外的不同位深)的数字代码值。例如,可以使用10位整数值来表示数字代码。不是在数字代码的12位表示中将数字代码值4076映射到照度值12000cd/m^2,而是可以在数字代码的10位表示中将数字代码值1019映射到照度值12000cd/m^2。因此,对于参考GSDF中的数字代码值,可以使用代码空间(位深)中的这些变化和其他变化。

[0152] 可以使用参考GSDF来在不同GSDF之间交换图像数据,该不同GSDF可分别针对每种类型的图像获取装置或图像呈现装置进行设计。例如,用特定类型的图像获取装置或图像呈现装置实现的GSDF可以隐含地或明确地取决于如下这样的模型参数,该模型参数与另一种类型的图像获取装置或图像呈现装置的装置特定GSDF或标准GSDF的 模型参数不匹配。

[0153] 参考GSDF可以对应于如图3和图4中所描绘的曲线形状。一般来讲,GSDF的形状取决于用于导出或设计GSDF的参数。因此,参考GSDF取决于参考CSF模型、以及用于从参考CSF模型产生参考GSDF的参考模型参数。装置特定GSDF的曲线形状取决于特定装置,(如果所述特定装置是显示器,则包括显示参数和观看条件)。

[0154] 在例子中,如图3中所示,其所支持的照度值范围限于小于500cd/m^2的显示器在高照度值区域处可能体验不到斜率增大(这在人类视觉转变到对数行为时对于所有频率发生)。驱动具有图3的曲线形状的显示器可以导致灰度级的非最佳(例如,次优)分配,其中太多灰度级分配在明亮区域中,而在黑暗区域中则分配不足。

[0155] 在另一个例子中,低对比度显示器被设计为在户外在各种日光条件下使用。该显示器的照度范围可以大部分地或几乎全部出现在图3的对数行为区域中。驱动具有图3的曲线形状的该低对比度显示器也可能导致灰度级的非最佳(例如,次优)分配,其中太多灰度级分配在黑暗区域中,而在明亮区域中则分配不足。

[0156] 根据如本文中所描述的技术,每个显示器可以使用其特定GSDF(不仅取决于显示器参数,而且还取决于例如影响实际黑色级的观看条件)来最佳地支持用参考GSDF编码的图像数据中的感知信息。用于图像数据的总体编码的一个或多个上游(例如,编码)装置使用参考GSDF来尽可能多地保留感知细节。然后将在参考GSDF中编码的图像数据递送给一个或多个下游(例如,解码)装置。在示例实施例中,基于参考GSDF的图像数据的编码与随后将对该图像数据进行解码和/或呈现的特定装置无关。

[0157] 每个装置(例如,显示器)具有其特定GSDF,其中,装置特定灰度级被支持/优化。特定灰度级对于显示器的制造商可以是已知的,或者可以被制造商专门设计为支持装置特定GSDF(其可以基于标准或者可以不基于标准)。装置的线路驱动器可以用特定于该装置的量化照度值来实现。对于该装置,可以基于特定于该装置的量化照度值 来最好地进行优化。另外,可以至少部分基于目前的周围光水平和/或装置的光学反射率(其对于制造商可以是已知的)来设置可以用作装置特定灰度级范围的下界限的暗黑级(例如,最低装置特定灰度级)。一旦暗黑级被如此设置,就可以通过隐含地或明确地累积(例如,堆叠/求取积分)装置的线路驱动器中的量化步长来获得或设置装置特定灰度级。当装置同时呈现图像时,灰度级的推导和/或调整可在运行时进行或者可以不在运行时进行。

[0158] 因此,根据如本文中所描述的技术,本发明的实施例可以包括,但不仅仅限于,用

参考GSDF对图像数据进行编码，并且用装置特定GSDF来解码和呈现该图像数据。

[0159] 可以使用如本文中所描述的技术来在具有不同GSDF的各种装置之间交换图像数据。图5例示根据本发明的示例实施例的与不同GSDF的装置交换图像数据的示例框架(500)。如图5中所示，可以使用自适应CSF模型(502)来产生参考GSDF(504)。术语“自适应”可以是指CSF模型对于人类视觉非线性和行为的自适应性。可以至少部分基于多个CSF参数(或模型参数)来构建自适应CSF模型。所述多个模型参数包括例如光适应水平、以度宽度计的显示区域、噪声水平、眼调节(物理观看距离)、照度或颜色调制矢量(其可以例如与自适应CSF模型(502)中所使用的测试图像或图像模式相关)。

[0160] 上游(例如，编码)装置可以在将用参考GSDF(504)编码的图像数据或其派生物被发送或分发到下游(例如，解码)装置之前接收该将用参考GSDF(504)编码的图像数据。将被编码的图像数据可以一开始为多种格式(基于标准的、专有的、其扩展等)中的任何一种格式，和/或可以从多个图像源(照相机、图像服务器、有形介质等)中的任何一个导出。将被编码的图像数据的例子包括但不仅仅限于原始的或其他的高位深图像(530)。原始的或其他的高位深图像可以来自照相机、演播室系统、艺术总监系统、另一上游图像处理系统、图像服务器、内容数据库等。图像数据可以包括但不仅仅限于，数字照片、视频图像帧、3D图像、非3D图像、计算机产生的图形等的图像 数据。图像数据可以包括场景相关图像、装置相关图像、或具有各种动态范围的图像。将被编码的图像数据的例子可以包括原始图像的高质量版本，该高质量版本将与元数据一起被编辑、下采样和/或压缩为用于分发给图像接收系统(下游图像处理系统，诸如各种制造商的显示器)的译码的位流。原始的或其他的高位深图像可以是专家、艺术工作室、广播公司、高端媒体制作实体等所使用的高采样率。将被编码的图像数据还可以整个地或部分地由计算机产生，或者甚至可以整个地或部分地从现有的图像源(诸如老电影和纪录片)获得。

[0161] 如本文中所使用的，词组“将被编码的图像数据”可以是指一个或多个图像的图像数据；将被编码的图像数据可以包括浮点图像数据或定点图像数据，并且可以在任何颜色空间中。在示例实施例中，所述一个或多个图像可以在RGB颜色空间中。在另一示例实施例中，所述一个或多个图像可以在YUV颜色空间中。在例子中，如本文中所描述的图像中的每个像素包括颜色空间中所定义的所有通道(例如，RGB颜色空间中的红色、绿色和蓝色颜色通道)的浮点像素值。在另一个例子中，如本文中所描述的图像中的每个像素包括颜色空间中所定义的所有通道的定点像素值(例如，用于RGB颜色空间中的红色、绿色和蓝色颜色通道的16位或更高/更低位数的固定点像素值)。每个像素可以可选地和/或可替代地包括对于颜色空间中的通道中的一个或多个的下采样的像素值。

[0162] 在一些实施例中，响应于接收到将被编码的图像数据，框架(500)中的上游装置将由该图像数据指定的或从该图像数据确定的照度值映射到参考GSDF中的参考数字代码值，并且基于将被编码的图像数据，产生用参考数字代码值编码的参考编码图像数据。从基于将被编码的图像数据的照度值到参考数字代码值的映射操作可以包括：选择数字代码值，这些数字代码值的相应的参考灰度级(例如，如表1中所示)匹配或者如参考GSDF中的任何其他参考照度值那样接近地逼近由将被编码的图像数据指定的或从该图像数据确定的照度值；并且用参考编码图像数据中的参考数字代码值来取代照度值。

[0163] 附加地，可选地或可替代地，可以将预处理和后处理步骤(其可以包括，但不仅仅

限于,颜色空间转换、下采样、上采样、色调映射、颜色分级、解压缩、压缩等)作为产生参考编码图像数据的一部分执行。

[0164] 在示例实施例中,框架(500)可以包括被配置为将参考编码图像数据编码和/或格式化为一个或多个译码位流或图像文件的软件和/或硬件组件(例如,编码或格式化单元(506))。译码位流或图像文件可以是基于标准的格式、专有格式、或至少部分基于基于标准的格式的扩展格式。附加地和/或可选地,译码位流或图像文件可以包括元数据,该元数据包含与用于产生参考编码图像数据的预处理或后处理相关、参考GSDF的相关参数中的一个或多个(例如,模型参数;如表1、图3和图4中所示的最小照度值、最大照度值、最小数字代码值、最大数字代码值等;识别多个CSF之中的一个CSF的识别字段;参考观看距离)。

[0165] 在一些实施例中,框架(500)可以包括一个或多个分立的上游装置。例如,框架(500)中的所述一个或多个上游装置中的至少一个可以被配置为基于参考GSDF来对图像数据进行编码。上游装置可以包括被配置为执行与图5的502、504和506相关的功能的软件和/或硬件组件。译码位流或图像文件可以由上游装置(图5的502、504和506)通过网络连接、数字接口、有形存储介质等输出,并且在图像数据流程(508)中被递送给其他图像处理装置进行处理或呈现。

[0166] 在一些示例实施例中,框架(500)还包括作为一个或多个分立装置的一个或多个下游装置。下游装置可以被配置为从图像数据流(508)接收/访问所述一个或多个上游装置输出的译码位流或图像文件。例如,下游装置可以包括被配置为对译码位流和图像文件进行解码和/或重新格式化并且恢复/检索其中的参考编码图像数据的软件和/或硬件组件(例如,解码或重新格式化单元(510))。如图5中所示,下游装置可以包括不同的一组显示装置。

[0167] 在一些实施例中,显示装置(未示出)可以被设计和/或实现为支 持参考GSDF。如果显示装置支持参考GSDF中的每一个灰度级,则可以提供高精度HDR图像呈现。显示装置可以以比人类视觉可能检测到的水平更细微的水平或相同的水平来呈现图像细节。

[0168] 在一些实施例中,显示装置的装置特定GSDF中的原生数字代码值(其可以被实现为显示系统中的数字化电压值,例如,数字驱动水平或DDL)可以对应于与参考GSDF中的数字代码值不同的装置特定灰度级(或照度值)。装置特定灰度级可以被设计为支持sRGB、Rec.709或其他规范(包括使用与互补密度相关的表示的那些规范)。附加地,可选地或可替代地,装置特定灰度级可以基于显示器驱动的基本DAC特性。

[0169] 在一些实施例中,显示装置A(512-A)可以被设计和/或实现为支持可见动态范围(VDR)显示器的装置特定GSDF A(514-A)。GSDF A(514-A)可以基于用于装置特定数字代码值的12位的位深(12位代码空间)、10,000:1对比率(CR)、以及>P3域。GSDF A(514-A)可以支持参考GSDF(504)的整个范围中的第一子范围(例如,0至5,000cd/m^2)内的灰度级。可替代地和/或可选地,GSDF A(514-A)可以支持参考GSDF(504)中的整个范围(例如,0至12,000cd/m^2),但是可以包括比参考GSDF(504)中的所有参考灰度级少的参考灰度级。

[0170] 在一些实施例中,显示装置B(512-B)可以被设计和/或实现为支持用于比VDR窄的动态范围的装置特定GSDF B(514-B)。例如,显示装置B(512-B)可以是标准动态范围(SDR)显示器。如本文中所使用的,术语“标准动态范围”和“低动态范围”和/或它们相应的缩写“SDR”和“LDR”可以同义地和/或互换地使用。在一些实施例中,GSDF B(514-B)可以支持用

于装置特定数字代码值的8位的位深、500-5,000:1对比率(CR)、以及如Rec.709中所定义的色域。在一些实施例中,GSDF B(514-B)可以提供参考GSDF(504)的第二子范围(例如,0至2000cd/m^2)内的灰度级。

[0171] 在一些实施例中,显示装置C(512-C)可以被设计和/或实现为 支持用于甚至比SDR窄的动态范围的装置特定GSDF C(514-C)。例如,显示装置C(512-C)可以是平板显示器。在一些实施例中,GSDF C(514-C)可以支持用于装置特定数字代码值的8位的位深、100-800:1对比率(CR)、以及比Rec.709中所定义的色域小的色域。在一些实施例中,GSDF C(514-C)可以提供参考GSDF(504)的第三子范围(例如,0至1,200cd/m^2)内的灰度级。

[0172] 在一些实施例中,显示装置(例如,显示装置D(512-D))可以被设计和/或实现为支持用于比SDR窄得多的非常有限的动态范围的装置特定GSDF(例如,GSDF D(514-D))。例如,显示装置D(512-D)可以是电子纸显示器。在一些实施例中,GSDF D(514-D)可以支持用于装置特定数字代码值的6位的位深、10:1或更小的对比率(CR)、以及比Rec.709中所定义的色域小得多的色域。在一些实施例中,GSDF D(514-D)可以提供参考GSDF(504)的第四子范围(例如,0至100cd/m^2)内的灰度级。

[0173] 图像呈现的精度可以随显示装置A至D(512-A至D)中的每个而适当地按比例降低。在一些实施例中,装置特定GSDF A至D(514-A至D)中的每个中的灰度级的子集可以与参考GSDF(504)中所支持的参考灰度级相关或者映射到该所支持的参考灰度级,以便在该显示装置所支持的灰度级范围中均匀地分布感知上显著的错误。

[0174] 在一些实施例中,具有装置特定GSDF(例如,514-A至514-D之一)的显示装置(例如,512-A至512-D之一)接收/提取基于参考GSDF编码的参考编码图像数据。作为响应,显示装置或其中的转换单元(516-A至516-D之一)将参考编码图像数据中所指定的参考数字代码值映射到显示装置本地的装置特定数字代码值。这可以以几种方式之一执行。在例子中,从参考数字代码值到装置特定数字代码值的映射包括选择如下这样的装置特定灰度级(对应于装置特定数字代码值),该装置特定灰度级匹配或者如任何其他装置特定灰度级那样接近地逼近参考灰度级(对应于参考数字代码值)。在另一个例子中,从参考数字代码值到装置特定数字代码值的映射包括:(1)基于与参考 GSDF相关联的参考灰度级(对应于参考数字代码值)来确定色调映射的照度值,并且(2)选择如下这样的装置特定灰度级(对应于装置特定数字代码值),该装置特定灰度级匹配或者如任何其他装置特定灰度级那样接近地逼近色调映射的照度值。

[0175] 随后,显示装置或其中的驱动器芯片(518-A至518-D之一)可以使用显示器特定数字代码值来用与显示器特定代码值相对应的装置特定灰度级来呈现图像。

[0176] 一般来讲,参考GSDF可以基于与显示器特定GSDF所基于的CSF模型不同的CSF模型。参考GSDF与装置特定GSDF之间的转换/映射是必要的。即使使用相同的CSF模型来产生参考GSDF和装置特定GSDF两者,在导出GSDF中也可以使用模型参数的不同值。对于参考GSDF,可以保守地设置模型参数值以为多种下游装置保留细节,而对于装置特定GSDF,模型参数可以反映显示装置将呈现图像的特定设计/实现和观看条件。参考GSDF与装置特定GSDF之间的转换/映射仍然是必要的,因为特定显示装置的观看条件参数(例如,周围光水平、显示装置的光学反射率等)与用于导出参考GSDF的模型参数值不同。这里,观看条件参数可以包括损害显示质量(例如,对比率等)并且抬高黑色级(例如,最低灰度级等)的那些

参数。根据如本文中所描述的技术的参考GSDF与装置特定GSDF之间的转换/映射改进了图像呈现质量(例如,通过增大高值区域处的照度值来改进对比率等等)。

[0177] 9.转换参考编码数据

[0178] 图6例示根据本发明的一些实施例的示例转换单元(例如,516)。转换单元(516)可以是,但不仅仅限于,如图5中所示的多个转换单元(例如,516-A至516-D)之一(例如,516-A)。在一些实施例中,转换单元(516)可以接收用于参考GSDF(REF GSDF)的第一定义数据、以及用于装置特定GSDF(例如,GSDF-A(图5的514-A))的第二定义数据。如本文中所使用的,如果装置是显示器,则术语“装置特定”和“显示器特定”可以同义地使用。

[0179] 基于所接收的定义数据,转换单元(516)将参考GSDF与显示器特定GSDF级联以形成转换查找表(转换LUT)。两个GSDF之间的级联可以包括:将两个GSDF中的灰度级进行比较,并且基于比较灰度级的结果,建立参考GSDF中的参考数字代码值与显示器特定GSDF中的显示器特定代码值之间的映射。

[0180] 更具体地,在给定参考GSDF中的参考数字代码值的情况下,可以基于参考GSDF来确定其相应的参考灰度级。可以使用如此确定的参考灰度级来找出显示器特定GSDF中的装置特定灰度级。在示例实施例中,所找出的装置特定灰度级可以匹配或者如显示器特定GSDF中的任何其他显示器特定灰度级那样接近地逼近参考灰度级。在另一个示例实施例中,可以通过对参考灰度级起作用的整体或局部色调映射算子来获得色调映射的照度值;所找出的装置特定灰度级可以匹配或者如显示器特定GSDF中的任何其他显示器特定灰度级那样接近地逼近色调映射的照度值。

[0181] 就装置特定灰度级而言,可以从显示器特定GSDF识别相应的显示器特定数字代码值。可以在转换LUT中添加或定义由参考数字代码值和显示器特定代码值组成的条目。

[0182] 可以对参考GSDF中的其他参考数字代码值重复如上所述的步骤。

[0183] 在一些实施例中,转换LUT可被预先构建并且在接收并处理如下这样的图像数据之前存储,该图像数据的处理将至少部分基于转换LUT执行。在替代实施例中,对将用转换LUT进行处理的图像数据进行分析。可以使用分析结果来设置或至少调整参考数字代码值与装置特定数字代码值之间的对应关系。例如,如果图像数据指示照度值的特定集中度或分布,则可以以保留照度值的集中区域中的大量细节的方式设置转换LUT。

[0184] 在一些实施例中,转换单元(516)包括被配置为比较参考GSDF和显示器特定GSDF(514-A)两者中的量化步长(例如,相邻数字代码值之间的照度值差或ΔL)的一个或多个软件和/或硬件组件(比较子单元(602))。例如,参考GSDF中的参考数字代码值处的量化步 长可以是参考照度值差(参考GSDF ΔL),而显示器特定GSDF中的显示器特定数字代码值处的量化步长可以是显示器特定照度值差(显示器特定GSDF ΔL)。这里,显示器特定数字代码值对应于参考数字代码值(或者与参考数字代码值在转换LUT中形成对)。在一些实施例中,比较子单元(602)将这两个照度值差进行比较。该操作实质上是可以基于ΔL值执行的或者可选地和/或可替代地基于两个GSDF曲线的相对斜率执行的测试。

[0185] 显示器特定GSDF中的照度值的量化步长典型地可以超过参考GSDF的量化步长,这是因为来自参考GSDF的(例如,对应于高位深域等的)一个或多个参考灰度级被合并到来自显示器特定GSDF的(例如,对应于低位深域等的)显示器特定灰度级。在这些情况下,使用抖动来去除条带状伪像。作为总体抖动的一部分,还对局部周围输出像素执行抖动(在空间中

和/或在时间中)。在某种意义上,人眼可以被表示为低通滤波器。至少在这个意义上,如本文中所描述的对局部周围像素进行平均因此创建了减少和/或去除条带状视觉伪像的期望输出灰度级,否则可能由于显示器特定GSDF中的大量化步长而存在这些条带状视觉伪像。

[0186] 在不是那么通常的情况下,参考GSDF的照度值的量化步长有时可能超过显示器特定GSDF的量化步长。使用基于去轮廓算法的处理,例如通过对相邻输入像素进行平均来基于输入灰度级合成输出灰度级。

[0187] 相应地,如果参考GSDF ΔL大于显示器特定GSDF ΔL(在图6中,为"Y"路径),则对于转换LUT中包括参考数字代码值和显示器特定数字代码值的条目设置去轮廓算法标志。

[0188] 如果参考GSDF ΔL小于显示器特定GSDF ΔL(在图6中,为"N"路径),则对于转换LUT中包括参考数字代码值和显示器特定数字代码值的条目设置抖动算法标志。

[0189] 如果参考GSDF ΔL等于显示器特定GSDF ΔL,则对于转换LUT中包括参考数字代码值和显示器特定数字代码值的条目既不设置去轮廓算法标志,也不设置抖动算法标志。

[0190] 去轮廓和抖动算法标志可以与转换LUT中的条目一起存储,或者可以被存储在转换LUT外部的、但是与转换LUT操作地链接的相关数据结构中。

[0191] 在一些实施例中,转换单元(516)被配置为:接收可以为高位深或浮点输入图像的形式的参考编码图像数据,并且将参考GSDF中所指定的参考数字代码值映射到显示器特定GSDF中所指定的显示器特定数字代码值。除了映射GSDF之间的数字代码值之外,转换单元(516)还可以被配置为基于前面所讨论的算法标志(去轮廓算法标志或抖动算法标志)的设置来执行去轮廓或抖动。

[0192] 如所指出的,参考GSDF有可能包含比显示器特定GSDF多的细节;因此,图6的"Y"路径可能不发生,或者可能不那么频繁地发生。在一些实施例中,可以省略"Y"路径和相关的处理以简化转换单元的实现。

[0193] 在一些实施例中,在对于参考编码图像数据中的像素确定的参考数字代码值被给定的情况下,转换单元(516)在转换LUT中查找相应的显示器特定数字代码值,并且用相应的显示器特定数字代码值取代参考数字代码值。附加地和/或可选地,转换单元(516)基于转换LUT中的包括参考数字代码值和显示器特定数字代码值的条目的算法标志的存在/设置来确定对于像素是应执行去轮廓算法、还是抖动算法。

[0194] 如果确定既不应执行去轮廓算法、又不应执行抖动算法(例如,没有关于执行任何一种算法的指示或标志),则暂时对该像素不执行去轮廓也不执行抖动。

[0195] 如果确定应执行去轮廓算法,则转换单元(516)可以执行一种或多种去轮廓算法(Decontour Algo)。执行所述一种或多种去轮廓算法可以包括:接收输入的局部相邻像素的图像数据,并将这些局部相邻像素的图像数据输入到去轮廓算法。

[0196] 如果确定应执行抖动算法,则转换单元(516)可以执行一种或多种抖动算法(Dithering Algo)。

[0197] 如果转换单元(516)确定对相邻像素需要执行去轮廓或抖动,则在去轮廓或抖动中仍可能涉及该像素。在例子中,可以使用像素的装置特定(输出)灰度级来对局部相邻像素进行抖动。在另一个例子中,可以使用像素的参考(输入)灰度级来对局部相邻像素进行去轮廓。

[0198] 在一些实施例中,转换单元(516)将前面的步骤的处理结果输出到下游处理单元

或子单元。处理结果包括显示器特定编码图像数据，其格式为用显示器特定GSDF(例如，GSDF-A)中的数字代码值编码的显示器特定位深输出图像。

[0199] 图7例示实现8位图像处理的示例SDR显示器(700)。SDR显示器(700)或其中的VDR解码单元(702)接收编码输入。编码输入包括可以是多种图像数据容器格式之一的图像数据容器中的参考译码图像数据。VDR解码单元(702)对编码输入进行解码，并且从其中确定/检索参考编码图像数据。参考编码图像数据可以包括颜色空间(例如，RGB颜色空间、YCbCr颜色空间等)中的各个像素的图像数据。各个像素的图像数据可以用参考GSDF中的参考数字代码值进行编码。

[0200] 附加地和/或可选地，SDR显示器(700)包括保持用于SDR显示器(700)的显示器参数的显示器管理单元(704)。显示器参数可以至少部分定义与SDR显示器(700)相关联的显示器特定GSDF(例如，图5的GSDF-B)。定义显示器特定GSDF的显示器参数可以包括SDR显示器(700)所支持的最大(max)和最小(min)灰度级。显示器参数还可以包括SDR显示器所支持的颜色基元(原色)、显示器大小(大小)、SDR显示器的图像呈现表面的光学反射率、周围光水平。显示器参数中的一些可以预先配置有固定值。显示器参数中的一些可以由SDR显示器(700)实时地或近乎实时地测量。显示器参数中的一些可以由SDR显示器(700)的用户配置。显示器参数中的一些可以预先配置有默认值，并且可以通过测量或者由用户被覆写。显示器管理单元(704)基于参考GSDF来建立显示器特定灰度级的感知非线性/使显示器特定灰度级的感知非线性成形，并且可以附加地 和/或可选地将色调映射作为建立显示器特定灰度级/使显示器特定灰度级成形的一部分执行。例如，为了根据参考GSDF建立显示器特定灰度级的感知非线性/使显示器特定灰度级的感知非线性成形的目的，显示器管理单元(704)可以建立如图5中所示的转换LUT和/或其他相关元数据(例如，抖动和去轮廓处理标志等)。显示器管理单元(704)可以实现如前面所讨论的级联操作来创建与参考GSDF和显示器特定GSDF中的一个或两者相关的转换LUT和/或其他相关元数据(712)。转换LUT和/或其他相关元数据(712)可被SDR显示器(700)中的其他单元或子单元访问并且使用。此外，可以使用转换LUT和/或其他相关元数据作为或者导出用于对感知非线性进行逆操作的元数据(714)。如本文中所使用的，对感知非线性进行逆操作可以包括将显示器特定数字代码值转换为显示器特定数字驱动水平(例如，显示装置中的数字化电压电平)。

[0201] 附加地和/或可选地，SDR显示器(700)包括如图5和图6中所示的转换单元(516)、以及8位感知量化器(706)。在一些实施例中，SDR显示器(700)或其中的转换单元(516)和8位感知量化器(706)将参考编码图像数据转换为用与显示器特定GSDF(例如，图5的GSDF-A或GSDF-B)相关联的显示器特定数字代码值编码的显示器特定位深输出图像，并且将显示器特定位深输出图像量化为8位代码空间中的感知编码图像数据。如本文中所使用的，术语“感知编码”可以是指基于人类视觉感知模型(诸如产生参考GSDF的CSF)的一种编码。

[0202] 附加地和/或可选地，SDR显示器(700)包括视频后处理单元(708)，其可以(但不仅仅限于)对8位照度表示的感知编码图像数据不执行图像处理操作、执行图像处理操作中的一个或多个。这些图像处理操作可以包括(但不仅仅限于)压缩、解压缩、颜色空间转换、下采样、上采样或颜色分级。这些操作的结果可以输出到SDR显示器(700)的其他部分。

[0203] 在示例实施例中，SDR显示器(700)包括8位逆感知量化器(710)， 其被配置为将图像处理操作的结果中的显示器特定数字代码值转换为显示器特定数字驱动水平(例如，数

字化电压电平)。逆感知量化器(710)所产生的(或者从数字代码值转换回的)显示器特定数字驱动水平可以特别地支持SDR显示器(700)中可支持的几种照度非线性之一。在例子中,逆感知量化器(710)将显示器特定数字代码值转换为显示器特定数字驱动水平以支持与Rec.709相关联的照度非线性。在另一个例子中,逆感知量化器(710)将显示器特定数字代码值转换为显示器特定数字驱动水平以支持与线性照度域或对数照度域(其可以相对容易地与局部调光操作整合)相关联的照度非线性。在另一个例子中,逆感知量化器(710)将显示器特定数字代码值转换为显示器特定数字驱动水平以支持显示器特定CSF(或其相关联的GSDF),其中,显示器特定灰度级对于特定显示器(700)被最佳地放置,并且可对于特定于显示器(700)的观看条件被调整。

[0204] 10.示例处理流程

[0205] 图8A例示根据本发明的实施例的示例处理流程。在一些实施例中,一个或多个计算装置或组件(诸如框架(500)中的一个或多个计算装置)可以执行该处理流程。在方框802中,计算装置接收将被编码的图像数据。

[0206] 在方框804中,计算装置基于参考数字代码值集合与参考灰度级集合之间的参考映射来将将被编码的图像数据编码为参考编码图像数据。这里,将被编码的图像数据中的照度值用参考数字代码值集合表示。参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差可以与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比。

[0207] 在方框806中,计算装置输出参考编码图像数据。

[0208] 在实施例中,计算装置基于对比敏感度函数(CSF)模型来确定参考灰阶显示函数(GSDF);参考GSDF指定参考数字代码值集合与参考灰度级集合之间的参考映射。CSF模型包括一个或多个模型参数,这些模型参数可以具有落在包括下列中的一个或多个的范围中的角度大小:25度×25度与30度×30度之间、30度×30度与35度×35度之间、35度×35度与40度×40度之间、40度×40度与45度×45度之间、或大于45度×45度。

[0209] 在实施例中,计算装置将参考灰度级集合所支持的照度值范围内的中间照度值分配给托管参考数字代码值集合的代码空间中的中间数字代码值,并且通过执行堆叠或积分计算中的一个或多个来导出多个子映射,每个子映射将参考数字代码值集合中的参考数字代码值映射到参考灰度级集合中的参考灰度级。中间照度值可以在包括下列中的一个或多个的范围内选择:小于50尼特、50尼特与100尼特之间(包括50和100尼特在内)、100与500尼特之间(包括100和500尼特在内)、或不小于500尼特。

[0210] 在示例实施例中,参考灰度级集合覆盖上限的值为下列值的动态范围:小于500尼特、500尼特与1000尼特之间(包括500和1000尼特在内)、1000尼特与5000尼特之间(包括1000和5000尼特在内)、5000尼特与10000尼特之间(包括5000和10000尼特在内)、10000尼特与15000尼特之间(包括10000和15000尼特在内)、或大于15000尼特。

[0211] 在实施例中,从基于对比敏感度函数(CSF)模型确定的多个对比敏感度曲线之中的一个对比敏感度曲线确定峰值对比敏感度,所述CSF模型具有包括照度值变量、空间频率变量或者一个或多个其他变量中的一个或多个的模型参数。

[0212] 在实施例中,基于所述多个对比敏感度曲线中的至少两个对比敏感度曲线确定的至少两个峰值对比敏感度发生于两个不同的空间频率值处。

[0213] 在实施例中，计算装置将通过来自输入视频信号的将被编码的图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输入图像转换为通过输出视频信号中所包含的参考编码图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输出图像。

[0214] 在实施例中，将被编码的图像数据包括以下列之一编码的图像数 据：高分辨率高动态范围(HDR)图像格式、与电影艺术与科学学院(AMPAS)的学院颜色编码规范(ACES)标准相关联的RGB颜色空间、数字电影倡导联盟的P3颜色空间标准、参考输入媒介度量/参考输出媒介度量(RIMM/ROMM)标准、sRGB颜色空间、与国际电信联盟(ITU)的BT.709推荐标准相关联的RGB颜色空间等。

[0215] 在实施例中，两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差小于在特定光水平的最小可觉差阈值。

[0216] 在实施例中，所述特定光水平是两个照度值之间(包括该两个照度只在内)的照度值。

[0217] 在实施例中，参考数字代码值集合包括位深为下列位深的代码空间中的整数值：少于12位；12位与14位之间(包括在内(inclusive))；至少14位；或者14位或更多位。

[0218] 在实施例中，参考灰度级集合可以包括量化照度值集合。

[0219] 图8B例示根据本发明的实施例的另一示例处理流程。在一些实施例中，一个或多个计算装置或组件(诸如框架(500)中的一个或多个计算装置)可以执行该处理流程。在方框852中，计算装置确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的数字代码映射。这里，在参考映射中将参考数字代码值集合映射到参考灰度级集合，而在装置特定映射中将装置特定数字代码值集合映射到装置特定灰度级集合。

[0220] 在方框854中，计算装置接收用参考数字代码值编码的参考编码图像数据。参考编码图像数据中的照度值基于参考数字代码值集合。参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差可以与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比。

[0221] 在方框856中，计算装置基于数字代码映射来将用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据转码为用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据。装置特定图像数据中的照度值基于装置特定数字代码值集合。

[0222] 在实施例中，计算装置确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的对应关系集合。这里，对应关系集合中的一个对应关系将参考数字代码值集合中的参考数字代码值与装置特定数字代码值相关。计算装置还将参考数字代码值处的第一照度差与装置特定数字代码值处的第二照度差进行比较，并且基于第一照度差与第二照度差的比较来存储关于对于参考数字代码值是应执行抖动、去轮廓操作、还是不执行操作的算法标志。

[0223] 在实施例中，计算装置从像素的参考编码图像数据确定参考数字代码值，并且进一步确定是否针对参考数字代码值设置算法标志。响应于确定算法标志被设置为去轮廓，计算装置对所述像素执行去轮廓算法。可替代地，响应于确定算法标志被设置为抖动，计算装置对所述像素执行抖动操作。

[0224] 在实施例中，计算装置基于用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据来在显示器上呈现一个或多个图像。这里，显示器可以是(但不仅仅限于)下列显示器之一：可见动态范围(VDR)显示器、标准动态范围(SDR)显示器、平板计算机显示器或手持装置

显示器。

[0225] 在实施例中，装置特定灰阶显示函数(GSDF)指定了装置特定数字代码值集合与装置特定灰度级集合之间的装置特定映射。

[0226] 在实施例中，基于一个或多个显示器参数以及零个或更多个观看条件参数来导出装置特定映射。

[0227] 在实施例中，装置特定灰度级集合覆盖上限的值为下列值的动态范围：小于100尼特；不小于100尼特但小于500尼特；500尼特与1000尼特之间(包括)；1000尼特与5000尼特之间(包括)；5000尼特与10000尼特之间(包括)；或大于10000尼特。

[0228] 在实施例中，计算装置将通过来自输入视频信号的参考编码图像数据表示、接收、发送或存储的一个或多个输入图像转换为通过输出视频信号中所包含的装置特定图像数据表示、接收、发送或存储的一个或多个输出图像。

[0229] 在实施例中，装置特定图像数据支持下列之一的图像呈现：高分辨率高动态范围(HDR)图像格式、与电影艺术与科学学院(AMPAS)的学院颜色编码规范(ACES)标准相关联的RGB颜色空间、数字电影倡导联盟的P3颜色空间标准、参考输入媒介度量/参考输出媒介度量(RIMM/ROMM)标准、sRGB颜色空间、与国际电信联盟(ITU)的BT.709推荐标准相关联的RGB颜色空间。

[0230] 在实施例中，装置特定数字代码值集合包括位深为下列位深的代码空间中的整数值：8位；多于8位、但少于12位；12位或更多位。

[0231] 在实施例中，所述装置特定灰度级集合可以包括量化照度值集合。

[0232] 在各种实施例中，编码器、解码器、系统等执行如所描述的前面的方法的任何一种方法或一部分。

[0233] 11.实现机构——硬件概述

[0234] 根据一个实施例，本文中所描述的技术用一个或多个专用计算装置来实现。专用计算装置可以被硬连线来执行这些技术，或者可以包括被持久地编程为执行这些技术的数字电子装置(诸如一个或多个专用集成电路(ASIC)或现场可编程门阵列(FPGA))，或者可以包括被编程为按照固件、存储器、其它储存器或组合中的程序指令执行这些技术的一个或多个通用硬件处理器。这样的专用计算装置还可以通过定制编程来组合定制的硬连线逻辑、ASIC或FPGA以实现这些技术。专用计算装置可以是台式电脑系统、便携式电脑系统、手持装置、联网装置、或结合有实现这些技术的硬连线和/或程序逻辑的任何其它装置。

[0235] 例如，图9是例示在其上可以实现本发明的示例实施例的计算机系统900的框图。计算机系统900包括用于传送信息的总线902或其他通信机构、以及与总线902耦合的用于处理信息的硬件处理器504。硬件处理器904可以是例如通用微处理器。

[0236] 计算机系统900还包括耦合到总线902的用于存储将被处理器904执行的信息和指令的主存储器906，诸如随机存取存储器(RAM)或其他动态存储装置。主存储器906还可以用于存储处理器904执行 指令期间的临时变量或其他中间信息。这样的指令在被存储在处理器904可访问的非暂态存储介质上时使计算机系统900变为被定制为执行这些指令中所指定的操作的专用机器。

[0237] 计算机系统900还包括耦合到总线902的用于存储用于处理器904的静态信息和指令的只读存储器(ROM)908或其他静态存储装置。提供存储装置910，诸如磁盘或光学盘，并

且将存储装置910耦合到总线902以用于存储信息和指令。

[0238] 计算系统900可以通过总线902耦合到用于向计算机用户显示信息的显示器912，诸如液晶显示器。包括字母数字键和其他键的输入装置914耦合到总线902，以用于将信息和命令选择传送到处理器904。另一种类型的用户输入装置是用于将方向信息和命令选择传送给处理器904并且用于控制显示器912上的光标移动的光标控件916，诸如鼠标、轨迹球、或光标方向键。该输入装置通常具有两个轴(第一轴(例如，x)和第二轴(例如，y))上的两个自由度，这使得装置可以指定平面中的位置。

[0239] 计算机系统900可以使用定制的硬连线逻辑、一个或多个ASIC或FPGA、固件和/或程序逻辑(其与计算机系统组合来使计算机系统900变为专用机器)来实现本文中所描述的技术。根据一个实施例，本文中的技术由计算机系统900响应于处理器904执行包含在主存储器906中的一个或多个指令的一个或多个序列来执行。可以将这样的指令从另一存储介质(诸如存储装置910)读取到主存储器906中。包含在主存储器906中的指令序列的执行使处理器904执行本文中所描述的处理步骤。在替代实施例中，可以代替软件指令来使用硬连线电路系统，或者可以与软件指令组合使用硬连线电路系统。

[0240] 这里使用的术语“存储介质”指的是存储导致机器以特定的方式操作的数据和/或指令的任何非暂态介质。这种存储介质可包含非易失性介质和/或易失性介质。非易失性介质包含例如光盘或磁盘，诸如存储装置910。易失性介质包含诸如主存储器906的动态存储器。存储介质的常见形式包含例如软盘、柔性盘、硬盘、固态驱动器、磁带或 任何其它的磁性数据存储介质、CD-ROM、任何其它光学数据存储介质、具有孔图案的任何物理介质、RAM、PROM和EPROM、FLASH-EPROM、NVRAM、任何其它存储芯片或盒。

[0241] 存储介质与传输介质明显不同，但可与其组合使用。传输介质参与存储介质之间的信息传送。例如，传输介质包含共轴电缆、铜线和光纤，包括包含总线902的导线。传输介质也可采取声波或光波的形式，诸如在无线电波和红外数据通信期间产生的那些。

[0242] 各种形式的介质可涉及将一个或更多个指令的一个或更多个序列承载到处理器902以供执行。例如，可初始地在磁盘或远程计算机的固态驱动器上承载指令。远程计算机可将指令加载到其动态存储器中并且通过使用调制解调器在电话线上发送指令。计算机系统900本地的调制解调器可接收电话线上的数据，并且使用红外发射器以将数据转换成红外信号。红外检测器可接收在红外信号中承载的数据并且适当的电路可将该数据放置在总线902上。总线902将数据承载到主存储器906，从该主存储器906，处理器904检索和执行指令。由主存储器906接收的指令可以可选地在被处理器904执行之前或之后被存储于存储装置910上。

[0243] 计算机系统900还包括耦合到总线902的通信接口918。通信接口918提供耦合到网络链路920的双向数据通信，网络链路920连接到局域网922。例如，通信接口918可以是综合服务数字网络(ISDN)卡、电缆调制解调器、卫星调制解调器、或提供与相应类型的电话线的数据通信连接的调制解调器。另举一例，通信接口918可以是提供与兼容的LAN的数据通信连接的局域网(LAN)卡。还可以实现无线链路。在任何这样的实现中，通信接口918发送并接收传载表示各种类型的信息的数字数据流的电信号、电磁信号或光学信号。

[0244] 网络链路920通常通过一个或多个网络提供与其他数据装置的数据通信。例如，网络链路920可以通过局域网922提供与主机924或由互联网服务提供商(ISP)926操作的数据

设备的连接。ISP 926继而通过广域数据包数据通信网络(现在被称为“互联网”928)提供数据通信服务。局域网922和互联网928都使用传载数字数据流的电信号、电磁信号或光学信号。通过各种网络的信号以及网络链路920上通过通信接口918的信号是示例形式的传输介质,这些信号与计算机系统900来回传载数字数据。

[0245] 计算机系统900可以通过一个(多个)网络、网络链路920和通信接口918来发送消息和接收数据(包括程序代码)。在互联网例子中,服务器930可以通过互联网928、ISP 926、局域网922和通信接口918来发送所请求的应用程序代码。

[0246] 所接收的代码可以在被处理器904接收到时被执行、和/或被存储在存储装置910或其他非易失性储存器中以供以后执行。

[0247] 12.枚举示例实施例、等同、扩展、改变和其他

[0248] 以上已经关于不同能力的显示器之间基于感知照度非线性的图像数据交换描述了本发明的枚举示例实施例(“EEE”)。因此,本发明的实施例可以涉及在下面的表2中枚举的例子中的一个或多个。

[0249] 表2.枚举示例实施例

[0250]

（EEE1.） 一种方法，包括: 接收将被编码的图像数据; 基于参考数字代码值集合与参考灰度级集合之间的参考映射来将所接收的图像数据编码为参考编码图像数据，其中，所接收的图像数据中的照度值用参考数字代码值集合表示，其中，所接收的图像数据中的两个参考灰度级之间的照度差用参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值表示，并且其中，所述两个相邻参考数字代码值之间的照度差与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比；和 输出参考编码图像数据。
（EEE2.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，还包括基于对比敏感度函数（CSF）模型来确定参考灰阶显示函数（GSDF），其中，参考 GSDF 指定参考数字代码值集合与参考灰度级集合之间的参考映射。

[0251]

（EEE3.）根据枚举示例实施例 2 所述的方法，其中，CSF 模型包括一个或多个模型参数，并且其中，所述一个或多个模型参数包括落在包括下列中的一个或多个的范围中的角度大小：25 度 × 25 度与 30 度 × 30 度之间（包括在内）、30 度 × 30 度与 35 度 × 35 度之间（包括在内）、35 度 × 35 度与 40 度 × 40 度之间（包括在内）、40 度 × 40 度与 45 度 × 45 度之间（包括在内）、或大于 45 度 × 45 度。

（EEE4.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，还包括：

将参考灰度级集合所支持的照度值范围内的中间照度值分配给托管参考数字代码值集合的代码空间中的中间数字代码值；和

通过执行堆叠或积分计算中的一个或多个来导出多个子映射，每个子映射将参考数字代码值集合中的参考数字代码值映射到参考灰度级集合中的参考灰度级。

（EEE5.）根据枚举示例实施例 4 所述的方法，其中，中间照度值在包括下列中的一个或多个的范围内被选择：小于 50 尼特、50 尼特与 100 尼特之间（包括在内）、100 与 500 尼特之间（包括在内）、或大于 50 尼特。

（EEE6.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，参考灰度级集合覆盖上限的值为下列值的动态范围：小于 500 尼特、500 尼特与 1000 尼特之间（包括在内）、1000 尼特与 5000 尼特之间（包括在内）、5000 尼特与 10000 尼特之间（包括在内）、10000 尼特与 15000 尼特之间（包括在内）、或大于 15000 尼特。

（EEE7.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，从基于对比敏感度函数（CSF）模型确定的多个对比敏感度曲线之一个确定峰值对比敏感度，所述 CSF 模型具有包括照度值变量、空间频率变量或者一个或多个其他变量中的一个或多个的模型参数。

[0252]

（EEE8.）根据枚举示例实施例 7 所述的方法，其中，基于所述多个对比敏感度曲线中的至少两个对比敏感度曲线确定的至少两个峰值对比敏感度发生于两个不同的空间频率值处。

（EEE9.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，还包括将通过来自输入视频信号的将编码的图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输入图像转换为通过输出视频信号中所包含的参考编码图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输出图像。

（EEE10.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，将被编码的图像数据包括以下列之一被编码的图像数据：高动态范围（HDR）图像格式、与电影艺术与科学学院（AMPAS）的学院颜色编码规范（ACES）标准相关联的 RGB 颜色空间、数字电影倡导联盟的 P3 颜色空间标准、参考输入媒介度量/参考输出媒介度量（RIMM/ROMM）标准、sRGB 颜色空间、或与国际电信联盟（ITU）的 BT.709 推荐标准相关联的 RGB 颜色空间。

（EEE11.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，所述两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差小于在所述特定光水平的最小可觉差（JND）阈值。

（EEE12.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，所述特定光水平包括所述两个照度值之间（包括在内）的照度值。

（EEE13.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，参考数字代码值集合包括位深为下列位深中的至少一个的编码空间中的整数值：少于 12 位；12 位与 14 位之间（包括在内）；至少 14 位；或者 14 位或更多位。

[0253]

（EEE14.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，参考灰度级集合可包括量化照度值集合。

（EEE15.）根据枚举示例实施例 1 所述的方法，其中，至少部分基于用一个或多个函数表示的函数模型来确定参考 GSDF。

（EEE16.）根据枚举示例实施例 15 所述的方法，其中，函数模型包括一个或多个模型参数，并且其中，通过最小化预测代码值与目标代码值之间的偏差来对模型参数的值进行优化。

（EEE17.）一种方法，包括以下步骤：
确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的数字代码映射，其中，在参考映射中将参考数字代码值集合映射到参考灰度级集合，并且其中，在装置特定映射中将装置特定数字代码值集合映射到装置特定灰度级集合；接收用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据，其中，参考编码图像数据中的照度值基于参考数字代码值集合，其中， 参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比；并且基于数字代码映射，将用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据转码为用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据，其中，装置特定图像数据中的照度值基于装置特定数字代码值集合。

（EEE18.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，还包括：确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的对应关系集合，其中，对应关系集合中的一个对应关系将参考数字代码值集合中的参考数字代码值与装置特定数字代码值相关；将参考数字代码值处的第一照度差与装置特定数字代码值处的第二照度差进行比较；并且基于第

[0254]

一照度差与第二照度差的比较来存储关于对于参考数字代码值是应执行抖动、去轮廓操作、还是不执行操作的算法标志。

（EEE19.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，还包括：从像素的参考编码图像数据确定参考数字代码值；并且确定是否对于所述参考数字代码值设置算法标志。

（EEE20.）根据枚举示例实施例 19 所述的方法，还包括：响应于确定算法标志被设置为去轮廓，对所述像素执行去轮廓算法。

（EEE21.）根据枚举示例实施例 19 所述的方法，还包括：响应于确定算法标志被设置为抖动，对所述像素执行抖动算法。

（EEE22.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，还包括：基于用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据来在显示器上呈现一个或多个图像，显示器是下列显示器之一：可见动态范围（VDR）显示器、标准动态范围（SDR）显示器、平板计算机显示器或手持装置显示器。

（EEE23.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，装置特定灰阶显示函数（GSDF）指定装置特定数字代码值集合与装置特定灰度级集合之间的装置特定映射。

（EEE24.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，基于一个或多个显示器参数以及零个或更多个观看条件参数来导出装置特定映射。

（EEE25.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，装置特定灰度级集合覆盖上限的值为下列值的动态范围：小于 100 尼特；不小于

[0255]

100 尼特、但小于 500 尼特；500 尼特与 1000 尼特之间（包括在内）；1000 尼特与 5000 尼特之间（包括在内）；5000 尼特与 10000 尼特之间（包括在内）；或大于 10000 尼特。

（EEE26.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，还包括：将通过来自输入视频信号的参考编码图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输入图像转换为通过输出视频信号中所包含的装置特定图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输出图像。

（EEE27.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，装置特定图像数据支持以下列之一的图像呈现：高动态范围（HDR）图像格式、与电影艺术与科学学院（AMPAS）的学院颜色编码规范（ACES）标准相关联的 RGB 颜色空间、数字电影倡导联盟的 P3 颜色空间标准、参考输入媒介度量/参考输出媒介度量（RIMM/ROMM）标准、sRGB 颜色空间、或与国际电信联盟（ITU）的 BT.709 推荐标准相关联的 RGB 颜色空间。

（EEE28.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，所述两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差小于在所述特定光水平的最小可觉差阈值。

（EEE29.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，所述特定光水平包括所述两个照度值之间（包括所述两个照度值在内）的照度值。

（EEE30.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，装置特定数字代码值集合包括具有下列位深的代码空间中的整数值：8 位；多于 8 位、但少于 12 位；或者 12 位或更多位。

（EEE31.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，装置特定灰

[0256]

度级集合包括量化照度值集合。

（EEE32.）根据枚举示例实施例 17 所述的方法，其中，至少部分基于用一个或多个函数表示的函数模型来确定参考映射和装置特定映射中的至少一个。

（EEE33.）根据枚举示例实施例 32 所述的方法，其中，函数模型包括一个或多个模型参数，并且其中，通过最小化预测代码值与目标代码值之间的偏差来对模型参数的值进行优化。

（EEE34.）一种执行枚举示例实施例 1-16（包括在内）所述的方法中的任何一种方法的编码器。

（EEE35.）一种执行枚举示例实施例 17-33（包括在内）所述的方法中的任何一种方法的解码器。

（EEE36.）一种执行枚举示例实施例 1-33（包括在内）所述的方法中的任何一种方法的系统。

（EEE37.）一种系统，包括：
编码器，被配置为：
接收将被编码的图像数据；
基于参考数字代码值集合与参考灰度级集合之间的参考映射来将所接收的图像数据编码为参考编码图像数据，其中，将被编码的图像数据中的照度值用参考数字代码值集合表示，其中，参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比；和
输出参考编码图像数据；和
解码器，被配置为：

[0257]

确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的数字代码映射，其中，在装置特定映射中将装置特定数字代码值集合映射到装置特定灰度级集合；

接收参考编码图像数据；和

基于数字代码映射，将用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据转码为用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据，其中，装置特定图像数据中的照度值基于装置特定数字代码值集合。

（EEE38.）一种图像解码器，包括：

映射确定器，确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的数字代码映射，其中，在参考映射中将参考数字代码值集合映射到参考灰度级集合，并且其中，在装置特定映射中将装置特定数字代码值集合映射到装置特定灰度级集合；

接收器，接收用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据，其中，参考编码图像数据中的照度值基于参考数字代码值集合，其中，参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比；和

转码器，基于数字代码映射，将用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据转码为用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据，其中，装置特定图像数据中的照度值基于装置特定数字代码值集合。

（EEE39.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，解码器被配置为：

确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的对应关系集合，其中，对应关系集合中的一个对应关系将参考数字代码值集合中的参考数字代码值与装置特定数字代码值相关；

将参考数字代码值处的第一照度差与装置特定数字代码值处的第

[0258]

二照度差进行比较；并且

基于第一照度差与第二照度差的比较来存储算法标志，其中，该算法标志用于标记对于参考数字代码值是应执行抖动、去轮廓操作、还是不执行操作。

（EEE40.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，解码器被进一步配置为：从像素的参考编码图像数据确定参考数字代码值；并且确定是否对于所述参考数字代码值设置算法标志。

（EEE41.）根据枚举示例实施例 40 所述的解码器，其中，解码器被进一步配置为：响应于确定算法标志被设置为去轮廓，对所述像素执行去轮廓功能。

（EEE42.）根据枚举示例实施例 40 所述的解码器，其中，解码器被进一步配置为：响应于确定算法标志被设置为抖动，对所述像素执行抖动功能。

（EEE43.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，解码器被进一步配置为：基于用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据来在显示器上呈现一个或多个图像，显示器是下列显示器之一：可见动态范围（VDR）显示器、标准动态范围（SDR）显示器、平板计算机显示器或手持装置显示器。

（EEE44.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，装置特定灰阶显示函数（GSDF）指定装置特定数字代码值集合与装置特定灰度级集合之间的装置特定映射。

（EEE45.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，基于一个或多个显示器参数以及零个或多个观看条件参数来导出装置特定映

[0259]

射。

（EEE46.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，装置特定灰度级集合跨越（例如，覆盖）上限的值为下列值的动态范围：小于 100 尼特；不小于 100 尼特、但小于 500 尼特；500 尼特与 1000 尼特之间（包括在内）；1000 尼特与 5000 尼特之间（包括在内）；5000 尼特与 10000 尼特之间（包括在内）；或大于 10000 尼特。

（EEE47.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，还包括转换器，其用于将通过来自输入视频信号的参考编码图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输入图像转换为通过输出视频信号中所包含的装置特定图像数据被表示、接收、发送或存储的一个或多个输出图像。

（EEE48.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，装置特定图像数据支持以下列之一的图像呈现：高动态范围（HDR）图像格式、与电影艺术与科学学院（AMPAS）的学院颜色编码规范（ACES）标准相关联的 RGB 颜色空间、数字电影倡导联盟的 P3 颜色空间标准、参考输入媒介度量/参考输出媒介度量（RIMM/ROMM）标准、sRGB 颜色空间、或与国际电信联盟（ITU）的 BT.709 推荐标准相关联的 RGB 颜色空间。

（EEE49.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，所述两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差小于在所述特定光水平的最小可觉差（JND）阈值。

（EEE50.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，所述特定光水平包括所述两个照度值之间（包括所述两个照度值在内）的照度值。

[0260]

（EEE51.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，装置特定数字代码值集合包括具有下列位深的代码空间中的整数值：8 位；多于 8 位、但少于 12 位；或者 12 位或更多位。

（EEE52.）根据枚举示例实施例 31 所述的解码器，其中，装置特定灰度级集合包括量化照度值集合。

（EEE53.）根据枚举示例实施例 38 所述的解码器，其中，至少部分基于用一个或多个函数表示的函数模型来确定参考映射和装置特定映射中的至少一个。

（EEE54.）根据枚举示例实施例 53 所述的解码器，其中，函数模型包括一个或多个模型参数，并且其中，通过最小化预测代码值与目标代码值之间的偏差来对模型参数的值进行优化。

（EEE55.）一种非暂态计算机可读存储介质，包括被编码和由该介质存储的指令，所述指令在被计算机或其处理器执行时使得、控制或程序化所述计算机或处理器以运行、执行或控制处理，所述处理用于对图像进行解码，所述图像解码处理包括以下步骤：
确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的数字代码映射，其中，在参考映射中将参考数字代码值集合映射到参考灰度级集合，并且其中，在装置特定映射中将装置特定数字代码值集合映射到装置特定灰度级集合；
接收用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据，其中，参考编码图像数据中的照度值基于参考数字代码值集合，其中，参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比；和
基于数字代码映射，将用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数

[0261]

据转码为用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据。

（EEE56.）一种图像解码系统，包括：
用于确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的数字代码映射的装置，其中，在参考映射中将参考数字代码值集合映射到参考灰度级集合，并且其中，在装置特定映射中将装置特定数字代码值集合映射到装置特定灰度级集合；
用于接收用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据的装置，其中，参考编码图像数据中的照度值基于参考数字代码值集合，其中，参考数字代码值集合中的两个相邻参考数字代码值所表示的两个参考灰度级之间的照度差与适于特定光水平的人类视觉的峰值对比敏感度成反比；和
用于基于数字代码映射将用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据转码为用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据的装置，其中，装置特定图像数据中的照度值基于装置特定数字代码值集合。

（EEE57.）一种方法，包括以下步骤：
接收用参考代码值编码的参考编码图像数据，参考代码值表示参考灰度级集合，灰度级集合中的第一对相邻灰度级与适于第一光水平的人类视觉的第一峰值对比敏感度相关，灰度级集合中的第二对相邻灰度级与适于不同的第二光水平的人类视觉的第二峰值对比敏感度相关；
访问参考代码值与装置特定代码值之间的代码映射，装置特定代码值表示装置特定灰度级集合；和
基于代码映射将参考编码图像数据转码为用装置特定控制代码编码的装置特定图像数据。

（EEE58.）根据枚举示例实施例 57 所述的方法，其中，参考灰度级集合覆盖上限的值为下列值的动态范围：小于 500 尼特；500 尼特与

[0262]

1000 尼特之间（包括在内）；1000 尼特与 5000 尼特之间（包括在内）；5000 尼特与 10000 尼特之间（包括在内）；10000 尼特与 15000 尼特之间（包括在内）；或大于 15000 尼特。

（EEE59.）根据枚举示例实施例 57 所述的方法，其中，基于支持大于 40 度的视场的人类视觉模型来配置参考灰度级集合。

（EEE60.）根据枚举示例实施例 57 所述的方法，其中，参考灰度级集合与低于截止空间频率的可变空间频率相关。

（EEE61.）根据枚举示例实施例 57 所述的方法，其中，代码映射被配置为在装置特定灰度级所覆盖的动态范围中均匀地分布感知明显的错误。

（EEE62.）根据枚举示例实施例 57 所述的方法，其中，灰度级集合中的第一对相邻灰度级的第一照度值差以乘法常数与第一峰值对比敏感度成反比，并且其中，第二对相邻灰度级的第二照度值差以同一乘法常数与第二峰值对比敏感度成反比。

（EEE63.）根据枚举示例实施例 57 所述的方法，其中，多个参考代码值中的参考代码值和所述参考代码值所表示的参考灰度级具有不同的数值。

（EEE64.）根据枚举示例实施例 57 所述的方法，其中，基于代码映射将参考编码图像数据转码为用装置特定控制代码编码的装置特定图像数据包括：
确定参考代码值处的两个相邻参考代码值之间的第一照度值差；
确定装置特定代码值处的两个相邻装置特定代码值之间的第二照度值差，其中，装置特定代码值对应于参考代码值；和

[0263]

基于第一照度值差和第二照度值差的比较来将抖动算法或去轮廓算法之一应用于装置特定图像数据中的至少一个像素。

（EEE65.）一种成像装置，包括:
数据接收器，被配置为接收包括参考代码值的参考编码图像数据，参考编码图像数据被外部译码系统编码，参考代码值表示参考灰度级，参考灰度级通过使用基于适于不同光水平的人类视觉对于空间频率的感知非线性的参考灰阶显示函数而被选择;
数据转换器，被配置为访问参考代码值与成像装置的装置特定代码值之间的代码映射，装置特定代码值被配置为生成被配置用于成像装置的装置特定灰度级，数据转换器被配置为基于代码映射来将参考编码图像数据转码为用装置特定代码值编码的装置特定图像数据，
其中，成像装置是下列中的至少一个: 游戏机、电视、膝上型计算机、台式计算机、上网本计算机、计算机工作站、蜂窝无线电话、电子书阅读器、销售点终端和计算机亭。

[0264] 下面的表3描述了用于将数字视频代码值转换为显示点处的绝对线性照度水平的感知曲线EOTF的计算。还包括用于将绝对线性照度转换为数字代码值的逆OETF计算。

[0265] 表3.感知曲线EOTF的示例性规范

[0266]

示例性方程定义:
D=感知曲线数字代码值，SDI 认可的无符号整数，10 或 12 位
b=数字信号表示中的每个分量的位数
V=规范化的感知曲线信号值，$0 \leqslant V \leqslant 1$
Y=规范化的照度值，$0 \leqslant Y \leqslant 1$
L=绝对照度值，$0 \leqslant L \leqslant 10{,}000\ cd/m^2$

示例性 EOTF 解码方程:

[0267]

$$V = \frac{D-4 \cdot 2^{b-10}}{1015 \cdot 2^{b-10}}$$

$$Y = \left(\frac{max\left[\left(V^{1/m} - c_1 \right), \quad 0 \right]}{c_2 - c_3 V^{1/m}} \right)^{1/n}$$

$$L = 10000 \cdot Y$$

示例性 OETF 编码方程:

$$Y = \frac{L}{10000}$$

$$V = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^n}{1 + c_3 Y^n} \right)^m$$

$$D = INT(1015 \cdot V \cdot 2^{b-10}) + 4 \cdot 2^{b-10}$$

示例性常数:

$$n = \frac{2610}{4096} \times \frac{1}{4} \approx 0.15930176$$

$$m = \frac{2523}{4096} \times 128 = 78.84375$$

$$c_1 = c_3 - c_2 + 1 = \frac{3424}{4096} = 0.8359375$$

$$c_2 = \frac{2413}{4096} \times 32 = 18.8515625$$

$$c_3 = \frac{2392}{4096} \times 32 = 18.6875$$

注释:

1. 算子 INT 对于 0 至 0.4999...范围中的分数部分返回值 0，对于 0.5 至 0.9999...范围中的分数部分返回值+1，即，它将大于 0.5 的分数上舍入。

2. 所有常数都被定义为 12 位有理数的整数倍以避免舍入问题。

3. 以与上述 Y 信号分量相同的方式计算 R、G 或 B 信号分量。

[0268] 下面的表4示出10位的示例性值。

[0269] 表4.10位的值的示例性表

[0270]

D	V	Y	L (cd/m²)
0	保留		
1	保留		
2	保留		
3	保留		
4	0.00000	0.000E+00	0.00000
5	0.00099	4.096E-09	0.00004
6	0.00197	1.329E-08	0.00013
7	0.00296	2.659E-08	0.00027
8	0.00394	4.374E-08	0.00044
9	0.00493	6.463E-08	0.00065
10	0.00591	8.922E-08	0.00089
11	0.00690	1.175E-07	0.00117
12	0.00788	1.495E-07	0.00149
13	0.00887	1.852E-07	0.00185
14	0.00985	2.248E-07	0.00225
15	0.01084	2.681E-07	0.00268
16	0.01182	3.154E-07	0.00315
17	0.01281	3.666E-07	0.00367
18	0.01379	4.219E-07	0.00422
19	0.01478	4.812E-07	0.00481
20	0.01576	5.447E-07	0.00545
21	0.01675	6.125E-07	0.00613
22	0.01773	6.846E-07	0.00685
23	0.01872	7.610E-07	0.00761
24	0.01970	8.420E-07	0.00842
25	0.02069	9.275E-07	0.00927
26	0.02167	1.018E-06	0.01018
27	0.02266	1.112E-06	0.01112
28	0.02365	1.212E-06	0.01212
29	0.02463	1.317E-06	0.01317
30	0.02562	1.426E-06	0.01426
31	0.02660	1.541E-06	0.01541
32	0.02759	1.661E-06	0.01661
33	0.02857	1.786E-06	0.01786
34	0.02956	1.916E-06	0.01916
35	0.03054	2.052E-06	0.02052
36	0.03153	2.193E-06	0.02193
37	0.03251	2.340E-06	0.02340
38	0.03350	2.493E-06	0.02493
39	0.03448	2.652E-06	0.02652
40	0.03547	2.816E-06	0.02816
41	0.03645	2.987E-06	0.02987
42	0.03744	3.163E-06	0.03163
43	0.03842	3.346E-06	0.03346
44	0.03941	3.536E-06	0.03536
45	0.04039	3.731E-06	0.03731
46	0.04138	3.934E-06	0.03934
47	0.04236	4.143E-06	0.04143
48	0.04335	4.358E-06	0.04358
49	0.04433	4.581E-06	0.04581
50	0.04532	4.810E-06	0.04810
51	0.04631	5.047E-06	0.05047
52	0.04729	5.291E-06	0.05291
53	0.04828	5.542E-06	0.05542
54	0.04926	5.801E-06	0.05801
55	0.05025	6.067E-06	0.06067
56	0.05123	6.341E-06	0.06341
57	0.05222	6.623E-06	0.06623
58	0.05320	6.913E-06	0.06913
59	0.05419	7.211E-06	0.07211
60	0.05517	7.517E-06	0.07517
61	0.05616	7.831E-06	0.07831
62	0.05714	8.154E-06	0.08154
63	0.05813	8.485E-06	0.08485
64	0.05911	8.825E-06	0.08825
65	0.06010	9.174E-06	0.09174
66	0.06108	9.532E-06	0.09532
67	0.06207	9.899E-06	0.09899
68	0.06305	1.027E-05	0.10275
69	0.06404	1.066E-05	0.10660
70	0.06502	1.106E-05	0.11055
71	0.06601	1.146E-05	0.11460
72	0.06700	1.187E-05	0.11874
73	0.06798	1.230E-05	0.12298
74	0.06897	1.273E-05	0.12733
75	0.06995	1.318E-05	0.13177
76	0.07094	1.363E-05	0.13632
77	0.07192	1.410E-05	0.14097
78	0.07291	1.457E-05	0.14573
79	0.07389	1.506E-05	0.15060
80	0.07488	1.556E-05	0.15558
81	0.07586	1.607E-05	0.16067
82	0.07685	1.659E-05	0.16587
83	0.07783	1.712E-05	0.17119
84	0.07882	1.766E-05	0.17662
85	0.07980	1.822E-05	0.18217
86	0.08079	1.878E-05	0.18783
87	0.08177	1.936E-05	0.19362
88	0.08276	1.995E-05	0.19953
89	0.08374	2.056E-05	0.20556
90	0.08473	2.117E-05	0.21172
91	0.08571	2.180E-05	0.21801
92	0.08670	2.244E-05	0.22443
93	0.08768	2.310E-05	0.23097
94	0.08867	2.377E-05	0.23765
95	0.08966	2.445E-05	0.24447
96	0.09064	2.514E-05	0.25142
97	0.09163	2.585E-05	0.25850
98	0.09261	2.657E-05	0.26573
99	0.09360	2.731E-05	0.27310

[0271]

D	V	Y	L(cd/m²)
100	0.09458	2.806E-05	0.28061
101	0.09557	2.883E-05	0.28826
102	0.09655	2.961E-05	0.29607
103	0.09754	3.040E-05	0.30402
104	0.09852	3.121E-05	0.31212
105	0.09951	3.204E-05	0.32038
106	0.10049	3.288E-05	0.32879
107	0.10148	3.374E-05	0.33736
108	0.10246	3.461E-05	0.34608
109	0.10345	3.550E-05	0.35497
110	0.10443	3.640E-05	0.36402
111	0.10542	3.732E-05	0.37324
112	0.10640	3.826E-05	0.38262
113	0.10739	3.922E-05	0.39217
114	0.10837	4.019E-05	0.40189
115	0.10936	4.118E-05	0.41179
116	0.11034	4.219E-05	0.42186
117	0.11133	4.321E-05	0.43211
118	0.11232	4.425E-05	0.44254
119	0.11330	4.531E-05	0.45315
120	0.11429	4.639E-05	0.46394
121	0.11527	4.749E-05	0.47492
122	0.11626	4.861E-05	0.48609
123	0.11724	4.975E-05	0.49746
124	0.11823	5.090E-05	0.50901
125	0.11921	5.208E-05	0.52076
126	0.12020	5.327E-05	0.53271
127	0.12118	5.449E-05	0.54486
128	0.12217	5.572E-05	0.55722
129	0.12315	5.698E-05	0.56978
130	0.12414	5.825E-05	0.58255
131	0.12512	5.955E-05	0.59552
132	0.12611	6.087E-05	0.60872
133	0.12709	6.221E-05	0.62212
134	0.12808	6.357E-05	0.63575
135	0.12906	6.496E-05	0.64959
136	0.13005	6.637E-05	0.66366
137	0.13103	6.780E-05	0.67796
138	0.13202	6.925E-05	0.69248
139	0.13300	7.072E-05	0.70724
140	0.13399	7.222E-05	0.72223
141	0.13498	7.375E-05	0.73746
142	0.13596	7.529E-05	0.75292
143	0.13695	7.686E-05	0.76863
144	0.13793	7.846E-05	0.78458
145	0.13892	8.008E-05	0.80079
146	0.13990	8.172E-05	0.81724
147	0.14089	8.339E-05	0.83395
148	0.14187	8.509E-05	0.85091
149	0.14286	8.681E-05	0.86814

D	V	Y	L(cd/m²)
150	0.14384	8.856E-05	0.88562
151	0.14483	9.034E-05	0.90338
152	0.14581	9.214E-05	0.92140
153	0.14680	9.397E-05	0.93969
154	0.14778	9.583E-05	0.95826
155	0.14877	9.771E-05	0.97711
156	0.14975	9.962E-05	0.99624
157	0.15074	1.016E-04	1.01565
158	0.15172	1.035E-04	1.03535
159	0.15271	1.055E-04	1.05534
160	0.15369	1.076E-04	1.07563
161	0.15468	1.096E-04	1.09622
162	0.15567	1.117E-04	1.11710
163	0.15665	1.138E-04	1.13829
164	0.15764	1.160E-04	1.15979
165	0.15862	1.182E-04	1.18160
166	0.15961	1.204E-04	1.20372
167	0.16059	1.226E-04	1.22616
168	0.16158	1.249E-04	1.24892
169	0.16256	1.272E-04	1.27201
170	0.16355	1.295E-04	1.29543
171	0.16453	1.319E-04	1.31918
172	0.16552	1.343E-04	1.34326
173	0.16650	1.368E-04	1.36769
174	0.16749	1.392E-04	1.39246
175	0.16847	1.418E-04	1.41758
176	0.16946	1.443E-04	1.44304
177	0.17044	1.469E-04	1.46887
178	0.17143	1.495E-04	1.49505
179	0.17241	1.522E-04	1.52160
180	0.17340	1.549E-04	1.54851
181	0.17438	1.576E-04	1.57579
182	0.17537	1.603E-04	1.60345
183	0.17635	1.631E-04	1.63148
184	0.17734	1.660E-04	1.65990
185	0.17833	1.689E-04	1.68871
186	0.17931	1.718E-04	1.71791
187	0.18030	1.748E-04	1.74750
188	0.18128	1.777E-04	1.77749
189	0.18227	1.808E-04	1.80789
190	0.18325	1.839E-04	1.83870
191	0.18424	1.870E-04	1.86991
192	0.18522	1.902E-04	1.90155
193	0.18621	1.934E-04	1.93361
194	0.18719	1.966E-04	1.96609
195	0.18818	1.999E-04	1.99900
196	0.18916	2.032E-04	2.03235
197	0.19015	2.066E-04	2.06614
198	0.19113	2.100E-04	2.10037
199	0.19212	2.135E-04	2.13506

[0272]

D	V	Y	L (cd/m²)
200	0.19310	2.170E-04	2.17019
201	0.19409	2.206E-04	2.20579
202	0.19507	2.242E-04	2.24185
203	0.19606	2.278E-04	2.27837
204	0.19704	2.315E-04	2.31537
205	0.19803	2.353E-04	2.35285
206	0.19901	2.391E-04	2.39081
207	0.20000	2.429E-04	2.42926
208	0.20099	2.468E-04	2.46821
209	0.20197	2.508E-04	2.50765
210	0.20296	2.548E-04	2.54760
211	0.20394	2.588E-04	2.58805
212	0.20493	2.629E-04	2.62902
213	0.20591	2.671E-04	2.67051
214	0.20690	2.713E-04	2.71252
215	0.20788	2.755E-04	2.75507
216	0.20887	2.798E-04	2.79815
217	0.20985	2.842E-04	2.84177
218	0.21084	2.886E-04	2.88594
219	0.21182	2.931E-04	2.93066
220	0.21281	2.976E-04	2.97594
221	0.21379	3.022E-04	3.02179
222	0.21478	3.068E-04	3.06820
223	0.21576	3.115E-04	3.11519
224	0.21675	3.163E-04	3.16276
225	0.21773	3.211E-04	3.21092
226	0.21872	3.260E-04	3.25967
227	0.21970	3.309E-04	3.30903
228	0.22069	3.359E-04	3.35898
229	0.22167	3.410E-04	3.40955
230	0.22266	3.461E-04	3.46074
231	0.22365	3.513E-04	3.51255
232	0.22463	3.565E-04	3.56500
233	0.22562	3.618E-04	3.61808
234	0.22660	3.672E-04	3.67180
235	0.22759	3.726E-04	3.72618
236	0.22857	3.781E-04	3.78121
237	0.22956	3.837E-04	3.83690
238	0.23054	3.893E-04	3.89327
239	0.23153	3.950E-04	3.95031
240	0.23251	4.008E-04	4.00803
241	0.23350	4.066E-04	4.06645
242	0.23448	4.126E-04	4.12556
243	0.23547	4.185E-04	4.18537
244	0.23645	4.246E-04	4.24590
245	0.23744	4.307E-04	4.30715
246	0.23842	4.369E-04	4.36912
247	0.23941	4.432E-04	4.43182
248	0.24039	4.495E-04	4.49527
249	0.24138	4.559E-04	4.55946

D	V	Y	L (cd/m²)
250	0.24236	4.624E-04	4.62440
251	0.24335	4.690E-04	4.69011
252	0.24433	4.757E-04	4.75659
253	0.24532	4.824E-04	4.82385
254	0.24631	4.892E-04	4.89189
255	0.24729	4.961E-04	4.96073
256	0.24828	5.030E-04	5.03036
257	0.24926	5.101E-04	5.10081
258	0.25025	5.172E-04	5.17207
259	0.25123	5.244E-04	5.24416
260	0.25222	5.317E-04	5.31707
261	0.25320	5.391E-04	5.39084
262	0.25419	5.465E-04	5.46545
263	0.25517	5.541E-04	5.54091
264	0.25616	5.617E-04	5.61725
265	0.25714	5.694E-04	5.69446
266	0.25813	5.773E-04	5.77255
267	0.25911	5.852E-04	5.85153
268	0.26010	5.931E-04	5.93142
269	0.26108	6.012E-04	6.01221
270	0.26207	6.094E-04	6.09393
271	0.26305	6.177E-04	6.17657
272	0.26404	6.260E-04	6.26014
273	0.26502	6.345E-04	6.34467
274	0.26601	6.430E-04	6.43014
275	0.26700	6.517E-04	6.51658
276	0.26798	6.604E-04	6.60400
277	0.26897	6.692E-04	6.69239
278	0.26995	6.782E-04	6.78178
279	0.27094	6.872E-04	6.87217
280	0.27192	6.964E-04	6.96357
281	0.27291	7.056E-04	7.05600
282	0.27389	7.149E-04	7.14945
283	0.27488	7.244E-04	7.24395
284	0.27586	7.339E-04	7.33949
285	0.27685	7.436E-04	7.43610
286	0.27783	7.534E-04	7.53378
287	0.27882	7.633E-04	7.63254
288	0.27980	7.732E-04	7.73240
289	0.28079	7.833E-04	7.83335
290	0.28177	7.935E-04	7.93542
291	0.28276	8.039E-04	8.03862
292	0.28374	8.143E-04	8.14295
293	0.28473	8.248E-04	8.24842
294	0.28571	8.355E-04	8.35505
295	0.28670	8.463E-04	8.46285
296	0.28768	8.572E-04	8.57183
297	0.28867	8.682E-04	8.68200
298	0.28966	8.793E-04	8.79337
299	0.29064	8.906E-04	8.90595

[0273]

D	V	Y	L (cd/m²)
300	0.29163	9.020E-04	9.01976
301	0.29261	9.135E-04	9.13480
302	0.29360	9.251E-04	9.25109
303	0.29458	9.369E-04	9.36864
304	0.29557	9.487E-04	9.48746
305	0.29655	9.608E-04	9.60757
306	0.29754	9.729E-04	9.72897
307	0.29852	9.852E-04	9.85168
308	0.29951	9.976E-04	9.97571
309	0.30049	1.010E-03	10.10108
310	0.30148	1.023E-03	10.22779
311	0.30246	1.036E-03	10.35585
312	0.30345	1.049E-03	10.48529
313	0.30443	1.062E-03	10.61612
314	0.30542	1.075E-03	10.74834
315	0.30640	1.088E-03	10.88197
316	0.30739	1.102E-03	11.01703
317	0.30837	1.115E-03	11.15352
318	0.30936	1.129E-03	11.29147
319	0.31034	1.143E-03	11.43087
320	0.31133	1.157E-03	11.57176
321	0.31232	1.171E-03	11.71414
322	0.31330	1.186E-03	11.85803
323	0.31429	1.200E-03	12.00343
324	0.31527	1.215E-03	12.15037
325	0.31626	1.230E-03	12.29886
326	0.31724	1.245E-03	12.44891
327	0.31823	1.260E-03	12.60054
328	0.31921	1.275E-03	12.75376
329	0.32020	1.291E-03	12.90859
330	0.32118	1.307E-03	13.06505
331	0.32217	1.322E-03	13.22314
332	0.32315	1.338E-03	13.38288
333	0.32414	1.354E-03	13.54430
334	0.32512	1.371E-03	13.70739
335	0.32611	1.387E-03	13.87219
336	0.32709	1.404E-03	14.03870
337	0.32808	1.421E-03	14.20695
338	0.32906	1.438E-03	14.37694
339	0.33005	1.455E-03	14.54869
340	0.33103	1.472E-03	14.72223
341	0.33202	1.490E-03	14.89756
342	0.33300	1.507E-03	15.07471
343	0.33399	1.525E-03	15.25369
344	0.33498	1.543E-03	15.43451
345	0.33596	1.562E-03	15.61720
346	0.33695	1.580E-03	15.80177
347	0.33793	1.599E-03	15.98824
348	0.33892	1.618E-03	16.17663
349	0.33990	1.637E-03	16.36695

D	V	Y	L (cd/m²)
350	0.34089	1.656E-03	16.55922
351	0.34187	1.675E-03	16.75346
352	0.34286	1.695E-03	16.94970
353	0.34384	1.715E-03	17.14794
354	0.34483	1.735E-03	17.34820
355	0.34581	1.755E-03	17.55051
356	0.34680	1.775E-03	17.75488
357	0.34778	1.796E-03	17.96133
358	0.34877	1.817E-03	18.16989
359	0.34975	1.838E-03	18.38056
360	0.35074	1.859E-03	18.59338
361	0.35172	1.881E-03	18.80835
362	0.35271	1.903E-03	19.02551
363	0.35369	1.924E-03	19.24486
364	0.35468	1.947E-03	19.46644
365	0.35567	1.969E-03	19.69025
366	0.35665	1.992E-03	19.91632
367	0.35764	2.014E-03	20.14468
368	0.35862	2.038E-03	20.37534
369	0.35961	2.061E-03	20.60832
370	0.36059	2.084E-03	20.84364
371	0.36158	2.108E-03	21.08134
372	0.36256	2.132E-03	21.32141
373	0.36355	2.156E-03	21.56390
374	0.36453	2.181E-03	21.80882
375	0.36552	2.206E-03	22.05620
376	0.36650	2.231E-03	22.30605
377	0.36749	2.256E-03	22.55840
378	0.36847	2.281E-03	22.81327
379	0.36946	2.307E-03	23.07068
380	0.37044	2.333E-03	23.33067
381	0.37143	2.359E-03	23.59324
382	0.37241	2.386E-03	23.85843
383	0.37340	2.413E-03	24.12626
384	0.37438	2.440E-03	24.39674
385	0.37537	2.467E-03	24.66992
386	0.37635	2.495E-03	24.94581
387	0.37734	2.522E-03	25.22443
388	0.37833	2.551E-03	25.50582
389	0.37931	2.579E-03	25.78999
390	0.38030	2.608E-03	26.07697
391	0.38128	2.637E-03	26.36679
392	0.38227	2.666E-03	26.65947
393	0.38325	2.696E-03	26.95504
394	0.38424	2.725E-03	27.25352
395	0.38522	2.755E-03	27.55495
396	0.38621	2.786E-03	27.85934
397	0.38719	2.817E-03	28.16672
398	0.38818	2.848E-03	28.47713
399	0.38916	2.879E-03	28.79059

[0274]

D	V	Y	L (cd/m²)
400	0.39015	2.911E-03	29.10712
401	0.39113	2.943E-03	29.42676
402	0.39212	2.975E-03	29.74953
403	0.39310	3.008E-03	30.07546
404	0.39409	3.040E-03	30.40459
405	0.39507	3.074E-03	30.73692
406	0.39606	3.107E-03	31.07251
407	0.39704	3.141E-03	31.41137
408	0.39803	3.175E-03	31.75354
409	0.39901	3.210E-03	32.09905
410	0.40000	3.245E-03	32.44792
411	0.40099	3.280E-03	32.80018
412	0.40197	3.316E-03	33.15588
413	0.40296	3.352E-03	33.51503
414	0.40394	3.388E-03	33.87767
415	0.40493	3.424E-03	34.24383
416	0.40591	3.461E-03	34.61355
417	0.40690	3.499E-03	34.98684
418	0.40788	3.536E-03	35.36376
419	0.40887	3.574E-03	35.74432
420	0.40985	3.613E-03	36.12857
421	0.41084	3.652E-03	36.51652
422	0.41182	3.691E-03	36.90823
423	0.41281	3.730E-03	37.30372
424	0.41379	3.770E-03	37.70303
425	0.41478	3.811E-03	38.10618
426	0.41576	3.851E-03	38.51322
427	0.41675	3.892E-03	38.92418
428	0.41773	3.934E-03	39.33909
429	0.41872	3.976E-03	39.75800
430	0.41970	4.018E-03	40.18093
431	0.42069	4.061E-03	40.60792
432	0.42167	4.104E-03	41.03901
433	0.42266	4.147E-03	41.47423
434	0.42365	4.191E-03	41.91363
435	0.42463	4.236E-03	42.35723
436	0.42562	4.281E-03	42.80509
437	0.42660	4.326E-03	43.25723
438	0.42759	4.371E-03	43.71369
439	0.42857	4.417E-03	44.17451
440	0.42956	4.464E-03	44.63974
441	0.43054	4.511E-03	45.10941
442	0.43153	4.558E-03	45.58355
443	0.43251	4.606E-03	46.06222
444	0.43350	4.655E-03	46.54545
445	0.43448	4.703E-03	47.03328
446	0.43547	4.753E-03	47.52575
447	0.43645	4.802E-03	48.02291
448	0.43744	4.852E-03	48.52479
449	0.43842	4.903E-03	49.03144

D	V	Y	L (cd/m²)
450	0.43941	4.954E-03	49.54290
451	0.44039	5.006E-03	50.05921
452	0.44138	5.058E-03	50.58042
453	0.44236	5.111E-03	51.10657
454	0.44335	5.164E-03	51.63771
455	0.44433	5.217E-03	52.17387
456	0.44532	5.272E-03	52.71511
457	0.44631	5.326E-03	53.26147
458	0.44729	5.381E-03	53.81299
459	0.44828	5.437E-03	54.36973
460	0.44926	5.493E-03	54.93172
461	0.45025	5.550E-03	55.49901
462	0.45123	5.607E-03	56.07166
463	0.45222	5.665E-03	56.64970
464	0.45320	5.723E-03	57.23319
465	0.45419	5.782E-03	57.82218
466	0.45517	5.842E-03	58.41671
467	0.45616	5.902E-03	59.01683
468	0.45714	5.962E-03	59.62260
469	0.45813	6.023E-03	60.23406
470	0.45911	6.085E-03	60.85126
471	0.46010	6.147E-03	61.47426
472	0.46108	6.210E-03	62.10311
473	0.46207	6.274E-03	62.73785
474	0.46305	6.338E-03	63.37855
475	0.46404	6.403E-03	64.02525
476	0.46502	6.468E-03	64.67801
477	0.46601	6.534E-03	65.33688
478	0.46700	6.600E-03	66.00191
479	0.46798	6.667E-03	66.67316
480	0.46897	6.735E-03	67.35069
481	0.46995	6.803E-03	68.03455
482	0.47094	6.872E-03	68.72480
483	0.47192	6.942E-03	69.42149
484	0.47291	7.012E-03	70.12468
485	0.47389	7.083E-03	70.83443
486	0.47488	7.155E-03	71.55079
487	0.47586	7.227E-03	72.27383
488	0.47685	7.300E-03	73.00361
489	0.47783	7.374E-03	73.74018
490	0.47882	7.448E-03	74.48361
491	0.47980	7.523E-03	75.23395
492	0.48079	7.599E-03	75.99127
493	0.48177	7.676E-03	76.75562
494	0.48276	7.753E-03	77.52708
495	0.48374	7.831E-03	78.30570
496	0.48473	7.909E-03	79.09155
497	0.48571	7.988E-03	79.88469
498	0.48670	8.069E-03	80.68519
499	0.48768	8.149E-03	81.49310

[0275]

D	V	Y	L (cd/m²)
500	0.48867	8.231E-03	82.30851
501	0.48966	8.313E-03	83.13146
502	0.49064	8.396E-03	83.96204
503	0.49163	8.480E-03	84.80031
504	0.49261	8.565E-03	85.64633
505	0.49360	8.650E-03	86.50017
506	0.49458	8.736E-03	87.36191
507	0.49557	8.823E-03	88.23161
508	0.49655	8.911E-03	89.10934
509	0.49754	9.000E-03	89.99518
510	0.49852	9.089E-03	90.88920
511	0.49951	9.179E-03	91.79146
512	0.50049	9.270E-03	92.70205
513	0.50148	9.362E-03	93.62103
514	0.50246	9.455E-03	94.54848
515	0.50345	9.548E-03	95.48448
516	0.50443	9.643E-03	96.42909
517	0.50542	9.738E-03	97.38241
518	0.50640	9.834E-03	98.34449
519	0.50739	9.932E-03	99.31543
520	0.50837	1.003E-02	100.29530
521	0.50936	1.013E-02	101.28417
522	0.51034	1.023E-02	102.28213
523	0.51133	1.033E-02	103.28927
524	0.51232	1.043E-02	104.30565
525	0.51330	1.053E-02	105.33136
526	0.51429	1.064E-02	106.36648
527	0.51527	1.074E-02	107.41110
528	0.51626	1.085E-02	108.46530
529	0.51724	1.095E-02	109.52917
530	0.51823	1.106E-02	110.60279
531	0.51921	1.117E-02	111.68624
532	0.52020	1.128E-02	112.77962
533	0.52118	1.139E-02	113.88301
534	0.52217	1.150E-02	114.99650
535	0.52315	1.161E-02	116.12018
536	0.52414	1.173E-02	117.25414
537	0.52512	1.184E-02	118.39847
538	0.52611	1.196E-02	119.55326
539	0.52709	1.207E-02	120.71860
540	0.52808	1.219E-02	121.89459
541	0.52906	1.231E-02	123.08132
542	0.53005	1.243E-02	124.27889
543	0.53103	1.255E-02	125.48739
544	0.53202	1.267E-02	126.70692
545	0.53300	1.279E-02	127.93758
546	0.53399	1.292E-02	129.17946
547	0.53498	1.304E-02	130.43266
548	0.53596	1.317E-02	131.69729
549	0.53695	1.330E-02	132.97344

D	V	Y	L (cd/m²)
550	0.53793	1.343E-02	134.26122
551	0.53892	1.356E-02	135.56073
552	0.53990	1.369E-02	136.87207
553	0.54089	1.382E-02	138.19535
554	0.54187	1.395E-02	139.53067
555	0.54286	1.409E-02	140.87814
556	0.54384	1.422E-02	142.23786
557	0.54483	1.436E-02	143.60995
558	0.54581	1.450E-02	144.99451
559	0.54680	1.464E-02	146.39166
560	0.54778	1.478E-02	147.80150
561	0.54877	1.492E-02	149.22415
562	0.54975	1.507E-02	150.65972
563	0.55074	1.521E-02	152.10833
564	0.55172	1.536E-02	153.57009
565	0.55271	1.550E-02	155.04511
566	0.55369	1.565E-02	156.53351
567	0.55468	1.580E-02	158.03542
568	0.55567	1.596E-02	159.55094
569	0.55665	1.611E-02	161.08021
570	0.55764	1.626E-02	162.62334
571	0.55862	1.642E-02	164.18046
572	0.55961	1.658E-02	165.75168
573	0.56059	1.673E-02	167.33714
574	0.56158	1.689E-02	168.93696
575	0.56256	1.706E-02	170.55126
576	0.56355	1.722E-02	172.18018
577	0.56453	1.738E-02	173.82384
578	0.56552	1.755E-02	175.48237
579	0.56650	1.772E-02	177.15591
580	0.56749	1.788E-02	178.84459
581	0.56847	1.805E-02	180.54854
582	0.56946	1.823E-02	182.26789
583	0.57044	1.840E-02	184.00279
584	0.57143	1.858E-02	185.75337
585	0.57241	1.875E-02	187.51977
586	0.57340	1.893E-02	189.30212
587	0.57438	1.911E-02	191.10058
588	0.57537	1.929E-02	192.91528
589	0.57635	1.947E-02	194.74636
590	0.57734	1.966E-02	196.59398
591	0.57833	1.985E-02	198.45827
592	0.57931	2.003E-02	200.33939
593	0.58030	2.022E-02	202.23748
594	0.58128	2.042E-02	204.15270
595	0.58227	2.061E-02	206.08519
596	0.58325	2.080E-02	208.03511
597	0.58424	2.100E-02	210.00261
598	0.58522	2.120E-02	211.98785
599	0.58621	2.140E-02	213.99098

[0276]

D	V	Y	L (cd/m^2)
600	0.58719	2.160E-02	216.01217
601	0.58818	2.181E-02	218.05157
602	0.58916	2.201E-02	220.10935
603	0.59015	2.222E-02	222.18566
604	0.59113	2.243E-02	224.28067
605	0.59212	2.264E-02	226.39455
606	0.59310	2.285E-02	228.52747
607	0.59409	2.307E-02	230.67959
608	0.59507	2.329E-02	232.85108
609	0.59606	2.350E-02	235.04212
610	0.59704	2.373E-02	237.25287
611	0.59803	2.395E-02	239.48352
612	0.59901	2.417E-02	241.73423
613	0.60000	2.440E-02	244.00519
614	0.60099	2.463E-02	246.29658
615	0.60197	2.486E-02	248.60857
616	0.60296	2.509E-02	250.94136
617	0.60394	2.533E-02	253.29512
618	0.60493	2.557E-02	255.67004
619	0.60591	2.581E-02	258.06630
620	0.60690	2.605E-02	260.48411
621	0.60788	2.629E-02	262.92364
622	0.60887	2.654E-02	265.38509
623	0.60985	2.679E-02	267.86866
624	0.61084	2.704E-02	270.37454
625	0.61182	2.729E-02	272.90293
626	0.61281	2.755E-02	275.45403
627	0.61379	2.780E-02	278.02804
628	0.61478	2.806E-02	280.62516
629	0.61576	2.832E-02	283.24561
630	0.61675	2.859E-02	285.88958
631	0.61773	2.886E-02	288.55729
632	0.61872	2.912E-02	291.24894
633	0.61970	2.940E-02	293.96476
634	0.62069	2.967E-02	296.70495
635	0.62167	2.995E-02	299.46973
636	0.62266	3.023E-02	302.25931
637	0.62365	3.051E-02	305.07393
638	0.62463	3.079E-02	307.91380
639	0.62562	3.108E-02	310.77915
640	0.62660	3.137E-02	313.67020
641	0.62759	3.166E-02	316.58719
642	0.62857	3.195E-02	319.53033
643	0.62956	3.225E-02	322.49987
644	0.63054	3.255E-02	325.49605
645	0.63153	3.285E-02	328.51909
646	0.63251	3.316E-02	331.56923
647	0.63350	3.346E-02	334.64673
648	0.63448	3.378E-02	337.75181
649	0.63547	3.409E-02	340.88473

D	V	Y	L (cd/m^2)
650	0.63645	3.440E-02	344.04574
651	0.63744	3.472E-02	347.23509
652	0.63842	3.505E-02	350.45302
653	0.63941	3.537E-02	353.69979
654	0.64039	3.570E-02	356.97566
655	0.64138	3.603E-02	360.28090
656	0.64236	3.636E-02	363.61575
657	0.64335	3.670E-02	366.98049
658	0.64433	3.704E-02	370.37537
659	0.64532	3.738E-02	373.80068
660	0.64631	3.773E-02	377.25668
661	0.64729	3.807E-02	380.74365
662	0.64828	3.843E-02	384.26186
663	0.64926	3.878E-02	387.81159
664	0.65025	3.914E-02	391.39312
665	0.65123	3.950E-02	395.00674
666	0.65222	3.987E-02	398.65273
667	0.65320	4.023E-02	402.33138
668	0.65419	4.060E-02	406.04299
669	0.65517	4.098E-02	409.78784
670	0.65616	4.136E-02	413.56624
671	0.65714	4.174E-02	417.37849
672	0.65813	4.212E-02	421.22488
673	0.65911	4.251E-02	425.10573
674	0.66010	4.290E-02	429.02134
675	0.66108	4.330E-02	432.97202
676	0.66207	4.370E-02	436.95808
677	0.66305	4.410E-02	440.97986
678	0.66404	4.450E-02	445.03765
679	0.66502	4.491E-02	449.13179
680	0.66601	4.533E-02	453.26260
681	0.66700	4.574E-02	457.43041
682	0.66798	4.616E-02	461.63555
683	0.66897	4.659E-02	465.87835
684	0.66995	4.702E-02	470.15916
685	0.67094	4.745E-02	474.47831
686	0.67192	4.788E-02	478.83615
687	0.67291	4.832E-02	483.23302
688	0.67389	4.877E-02	487.66928
689	0.67488	4.921E-02	492.14528
690	0.67586	4.967E-02	496.66137
691	0.67685	5.012E-02	501.21792
692	0.67783	5.058E-02	505.81528
693	0.67882	5.105E-02	510.45383
694	0.67980	5.151E-02	515.13393
695	0.68079	5.199E-02	519.85596
696	0.68177	5.246E-02	524.62029
697	0.68276	5.294E-02	529.42731
698	0.68374	5.343E-02	534.27740
699	0.68473	5.392E-02	539.17094

[0277]

D	V	Y	L (cd/m²)
700	0.68571	5.441E-02	544.10833
701	0.68670	5.491E-02	549.08996
702	0.68768	5.541E-02	554.11624
703	0.68867	5.592E-02	559.18755
704	0.68966	5.643E-02	564.30431
705	0.69064	5.695E-02	569.46692
706	0.69163	5.747E-02	574.67581
707	0.69261	5.799E-02	579.93138
708	0.69360	5.852E-02	585.23405
709	0.69458	5.906E-02	590.58426
710	0.69557	5.960E-02	595.98243
711	0.69655	6.014E-02	601.42899
712	0.69754	6.069E-02	606.92438
713	0.69852	6.125E-02	612.46904
714	0.69951	6.181E-02	618.06341
715	0.70049	6.237E-02	623.70795
716	0.70148	6.294E-02	629.40310
717	0.70246	6.351E-02	635.14933
718	0.70345	6.409E-02	640.94709
719	0.70443	6.468E-02	646.79685
720	0.70542	6.527E-02	652.69908
721	0.70640	6.587E-02	658.65426
722	0.70739	6.647E-02	664.66286
723	0.70837	6.707E-02	670.72537
724	0.70936	6.768E-02	676.84228
725	0.71034	6.830E-02	683.01407
726	0.71133	6.892E-02	689.24124
727	0.71232	6.955E-02	695.52430
728	0.71330	7.019E-02	701.86376
729	0.71429	7.083E-02	708.26011
730	0.71527	7.147E-02	714.71389
731	0.71626	7.212E-02	721.22561
732	0.71724	7.278E-02	727.79579
733	0.71823	7.344E-02	734.42496
734	0.71921	7.411E-02	741.11367
735	0.72020	7.479E-02	747.86245
736	0.72118	7.547E-02	754.67184
737	0.72217	7.615E-02	761.54240
738	0.72315	7.685E-02	768.47469
739	0.72414	7.755E-02	775.46925
740	0.72512	7.825E-02	782.52667
741	0.72611	7.896E-02	789.64751
742	0.72709	7.968E-02	796.83234
743	0.72808	8.041E-02	804.08176
744	0.72906	8.114E-02	811.39634
745	0.73005	8.188E-02	818.77668
746	0.73103	8.262E-02	826.22339
747	0.73202	8.337E-02	833.73706
748	0.73300	8.413E-02	841.31830
749	0.73399	8.490E-02	848.96773

D	V	Y	L (cd/m²)
750	0.73498	8.567E-02	856.68597
751	0.73596	8.645E-02	864.47366
752	0.73695	8.723E-02	872.33141
753	0.73793	8.803E-02	880.25988
754	0.73892	8.883E-02	888.25970
755	0.73990	8.963E-02	896.33154
756	0.74089	9.045E-02	904.47604
757	0.74187	9.127E-02	912.69387
758	0.74286	9.210E-02	920.98570
759	0.74384	9.294E-02	929.35220
760	0.74483	9.378E-02	937.79407
761	0.74581	9.463E-02	946.31199
762	0.74680	9.549E-02	954.90665
763	0.74778	9.636E-02	963.57876
764	0.74877	9.723E-02	972.32902
765	0.74975	9.812E-02	981.15816
766	0.75074	9.901E-02	990.06690
767	0.75172	9.991E-02	999.05595
768	0.75271	1.008E-01	1008.12607
769	0.75369	1.017E-01	1017.27800
770	0.75468	1.027E-01	1026.51247
771	0.75567	1.036E-01	1035.83026
772	0.75665	1.045E-01	1045.23213
773	0.75764	1.055E-01	1054.71885
774	0.75862	1.064E-01	1064.29119
775	0.75961	1.074E-01	1073.94996
776	0.76059	1.084E-01	1083.69593
777	0.76158	1.094E-01	1093.52991
778	0.76256	1.103E-01	1103.45271
779	0.76355	1.113E-01	1113.46516
780	0.76453	1.124E-01	1123.56806
781	0.76552	1.134E-01	1133.76227
782	0.76650	1.144E-01	1144.04861
783	0.76749	1.154E-01	1154.42793
784	0.76847	1.165E-01	1164.90110
785	0.76946	1.175E-01	1175.46898
786	0.77044	1.186E-01	1186.13245
787	0.77143	1.197E-01	1196.89237
788	0.77241	1.208E-01	1207.74965
789	0.77340	1.219E-01	1218.70519
790	0.77438	1.230E-01	1229.75989
791	0.77537	1.241E-01	1240.91466
792	0.77635	1.252E-01	1252.17044
793	0.77734	1.264E-01	1263.52815
794	0.77833	1.275E-01	1274.98874
795	0.77931	1.287E-01	1286.55317
796	0.78030	1.298E-01	1298.22238
797	0.78128	1.310E-01	1309.99736
798	0.78227	1.322E-01	1321.87908
799	0.78325	1.334E-01	1333.86853

[0278]

D	V	Y	L (cd/m²)
800	0.78424	1.346E-01	1345.96672
801	0.78522	1.358E-01	1358.17464
802	0.78621	1.370E-01	1370.49332
803	0.78719	1.383E-01	1382.92378
804	0.78818	1.395E-01	1395.46706
805	0.78916	1.408E-01	1408.12422
806	0.79015	1.421E-01	1420.89630
807	0.79113	1.434E-01	1433.78438
808	0.79212	1.447E-01	1446.78954
809	0.79310	1.460E-01	1459.91285
810	0.79409	1.473E-01	1473.15543
811	0.79507	1.487E-01	1486.51839
812	0.79606	1.500E-01	1500.00283
813	0.79704	1.514E-01	1513.60991
814	0.79803	1.527E-01	1527.34075
815	0.79901	1.541E-01	1541.19651
816	0.80000	1.555E-01	1555.17836
817	0.80099	1.569E-01	1569.28748
818	0.80197	1.584E-01	1583.52505
819	0.80296	1.598E-01	1597.89226
820	0.80394	1.612E-01	1612.39034
821	0.80493	1.627E-01	1627.02051
822	0.80591	1.642E-01	1641.78399
823	0.80690	1.657E-01	1656.68205
824	0.80788	1.672E-01	1671.71592
825	0.80887	1.687E-01	1686.88689
826	0.80985	1.702E-01	1702.19625
827	0.81084	1.718E-01	1717.64528
828	0.81182	1.733E-01	1733.23529
829	0.81281	1.749E-01	1748.96761
830	0.81379	1.765E-01	1764.84357
831	0.81478	1.781E-01	1780.86453
832	0.81576	1.797E-01	1797.03183
833	0.81675	1.813E-01	1813.34685
834	0.81773	1.830E-01	1829.81099
835	0.81872	1.846E-01	1846.42564
836	0.81970	1.863E-01	1863.19222
837	0.82069	1.880E-01	1880.11216
838	0.82167	1.897E-01	1897.18689
839	0.82266	1.914E-01	1914.41788
840	0.82365	1.932E-01	1931.80660
841	0.82463	1.949E-01	1949.35454
842	0.82562	1.967E-01	1967.06319
843	0.82660	1.985E-01	1984.93407
844	0.82759	2.003E-01	2002.96871
845	0.82857	2.021E-01	2021.16866
846	0.82956	2.040E-01	2039.53547
847	0.83054	2.058E-01	2058.07072
848	0.83153	2.077E-01	2076.77601
849	0.83251	2.096E-01	2095.65294

D	V	Y	L (cd/m²)
850	0.83350	2.115E-01	2114.70314
851	0.83448	2.134E-01	2133.92824
852	0.83547	2.153E-01	2153.32990
853	0.83645	2.173E-01	2172.90979
854	0.83744	2.193E-01	2192.66960
855	0.83842	2.213E-01	2212.61104
856	0.83941	2.233E-01	2232.73582
857	0.84039	2.253E-01	2253.04569
858	0.84138	2.274E-01	2273.54240
859	0.84236	2.294E-01	2294.22773
860	0.84335	2.315E-01	2315.10346
861	0.84433	2.336E-01	2336.17142
862	0.84532	2.357E-01	2357.43342
863	0.84631	2.379E-01	2378.89131
864	0.84729	2.401E-01	2400.54696
865	0.84828	2.422E-01	2422.40224
866	0.84926	2.444E-01	2444.45906
867	0.85025	2.467E-01	2466.71934
868	0.85123	2.489E-01	2489.18502
869	0.85222	2.512E-01	2511.85806
870	0.85320	2.535E-01	2534.74043
871	0.85419	2.558E-01	2557.83414
872	0.85517	2.581E-01	2581.14120
873	0.85616	2.605E-01	2604.66365
874	0.85714	2.628E-01	2628.40356
875	0.85813	2.652E-01	2652.36299
876	0.85911	2.677E-01	2676.54405
877	0.86010	2.701E-01	2700.94886
878	0.86108	2.726E-01	2725.57957
879	0.86207	2.750E-01	2750.43834
880	0.86305	2.776E-01	2775.52735
881	0.86404	2.801E-01	2800.84881
882	0.86502	2.826E-01	2826.40496
883	0.86601	2.852E-01	2852.19805
884	0.86700	2.878E-01	2878.23034
885	0.86798	2.905E-01	2904.50415
886	0.86897	2.931E-01	2931.02179
887	0.86995	2.958E-01	2957.78560
888	0.87094	2.985E-01	2984.79796
889	0.87192	3.012E-01	3012.06126
890	0.87291	3.040E-01	3039.57792
891	0.87389	3.067E-01	3067.35037
892	0.87488	3.095E-01	3095.38108
893	0.87586	3.124E-01	3123.67255
894	0.87685	3.152E-01	3152.22729
895	0.87783	3.181E-01	3181.04784
896	0.87882	3.210E-01	3210.13677
897	0.87980	3.239E-01	3239.49668
898	0.88079	3.269E-01	3269.13018
899	0.88177	3.299E-01	3299.03992

[0279]

D	V	Y	L [cd/m²]
900	0.88276	3.329E-01	3329.22857
901	0.88374	3.360E-01	3359.69884
902	0.88473	3.390E-01	3390.45346
903	0.88571	3.421E-01	3421.49517
904	0.88670	3.453E-01	3452.82676
905	0.88768	3.484E-01	3484.45106
906	0.88867	3.516E-01	3516.37089
907	0.88966	3.549E-01	3548.58913
908	0.89064	3.581E-01	3581.10868
909	0.89163	3.614E-01	3613.93247
910	0.89261	3.647E-01	3647.06346
911	0.89360	3.681E-01	3680.50463
912	0.89458	3.714E-01	3714.25901
913	0.89557	3.748E-01	3748.32965
914	0.89655	3.783E-01	3782.71964
915	0.89754	3.817E-01	3817.43208
916	0.89852	3.852E-01	3852.47012
917	0.89951	3.888E-01	3887.83695
918	0.90049	3.924E-01	3923.53576
919	0.90148	3.960E-01	3959.56982
920	0.90246	3.996E-01	3995.94239
921	0.90345	4.033E-01	4032.65679
922	0.90443	4.070E-01	4069.71636
923	0.90542	4.107E-01	4107.12448
924	0.90640	4.145E-01	4144.88457
925	0.90739	4.183E-01	4183.00009
926	0.90837	4.221E-01	4221.47450
927	0.90936	4.260E-01	4260.31135
928	0.91034	4.300E-01	4299.51418
929	0.91133	4.339E-01	4339.08659
930	0.91232	4.379E-01	4379.03221
931	0.91330	4.419E-01	4419.35473
932	0.91429	4.460E-01	4460.05783
933	0.91527	4.501E-01	4501.14528
934	0.91626	4.543E-01	4542.62085
935	0.91724	4.584E-01	4584.48837
936	0.91823	4.627E-01	4626.75172
937	0.91921	4.669E-01	4669.41478
938	0.92020	4.712E-01	4712.48152
939	0.92118	4.756E-01	4755.95591
940	0.92217	4.800E-01	4799.84198
941	0.92315	4.844E-01	4844.14381
942	0.92414	4.889E-01	4888.86551
943	0.92512	4.934E-01	4934.01124
944	0.92611	4.980E-01	4979.58519
945	0.92709	5.026E-01	5025.59161
946	0.92808	5.072E-01	5072.03478
947	0.92906	5.119E-01	5118.91905
948	0.93005	5.166E-01	5166.24879
949	0.93103	5.214E-01	5214.02842

D	V	Y	L [cd/m²]
950	0.93202	5.262E-01	5262.26241
951	0.93300	5.311E-01	5310.95529
952	0.93399	5.360E-01	5360.11161
953	0.93498	5.410E-01	5409.73600
954	0.93596	5.460E-01	5459.83311
955	0.93695	5.510E-01	5510.40765
956	0.93793	5.561E-01	5561.46439
957	0.93892	5.613E-01	5613.00814
958	0.93990	5.665E-01	5665.04375
959	0.94089	5.718E-01	5717.57614
960	0.94187	5.771E-01	5770.61028
961	0.94286	5.824E-01	5824.15118
962	0.94384	5.878E-01	5878.20392
963	0.94483	5.933E-01	5932.77361
964	0.94581	5.988E-01	5987.86545
965	0.94680	6.043E-01	6043.48465
966	0.94778	6.100E-01	6099.63651
967	0.94877	6.156E-01	6156.32637
968	0.94975	6.214E-01	6213.55964
969	0.95074	6.271E-01	6271.34178
970	0.95172	6.330E-01	6329.67830
971	0.95271	6.389E-01	6388.57478
972	0.95369	6.448E-01	6448.03685
973	0.95468	6.508E-01	6508.07022
974	0.95567	6.569E-01	6568.68063
975	0.95665	6.630E-01	6629.87391
976	0.95764	6.692E-01	6691.65593
977	0.95862	6.754E-01	6754.03264
978	0.95961	6.817E-01	6817.01005
979	0.96059	6.881E-01	6880.59422
980	0.96158	6.945E-01	6944.79129
981	0.96256	7.010E-01	7009.60746
982	0.96355	7.075E-01	7075.04901
983	0.96453	7.141E-01	7141.12226
984	0.96552	7.208E-01	7207.83362
985	0.96650	7.275E-01	7275.18956
986	0.96749	7.343E-01	7343.19663
987	0.96847	7.412E-01	7411.86143
988	0.96946	7.481E-01	7481.19065
989	0.97044	7.551E-01	7551.19105
990	0.97143	7.622E-01	7621.86945
991	0.97241	7.693E-01	7693.23276
992	0.97340	7.765E-01	7765.28795
993	0.97438	7.838E-01	7838.04207
994	0.97537	7.912E-01	7911.50226
995	0.97635	7.986E-01	7985.67571
996	0.97734	8.061E-01	8060.56972
997	0.97833	8.136E-01	8136.19165
998	0.97931	8.213E-01	8212.54893
999	0.98030	8.290E-01	8289.64909

[0280]

D	V	Y	L (cd/m^2)
1000	0.98128	8.367E-01	8367.49974
1001	0.98227	8.446E-01	8446.10856
1002	0.98325	8.525E-01	8525.48333
1003	0.98424	8.606E-01	8605.63189
1004	0.98522	8.687E-01	8686.56220
1005	0.98621	8.768E-01	8768.28228
1006	0.98719	8.851E-01	8850.80025
1007	0.98818	8.934E-01	8934.12431
1008	0.98916	9.018E-01	9018.26275
1009	0.99015	9.103E-01	9103.22396
1010	0.99113	9.189E-01	9189.01642
1011	0.99212	9.276E-01	9275.64869
1012	0.99310	9.363E-01	9363.12944
1013	0.99409	9.451E-01	9451.46742
1014	0.99507	9.541E-01	9540.67150
1015	0.99606	9.631E-01	9630.75061
1016	0.99704	9.722E-01	9721.71382
1017	0.99803	9.814E-01	9813.57027
1018	0.99901	9.906E-01	9906.32922
1019	1.00000	1.000E+00	10000.00000
1020	保留		
1021	保留		
1022	保留		
1023	保留		

[0281] 在以上的说明书中，参照可随实现而改变的大量的具体细节描述了本发明的实施例。因此，什么是本发明以及本发明的申请人意图什么成为本发明的专有和专用的指示是包含任何随后的校正的一组权利要求，这些权利要求以这些权利要求发布的特定的形式从本申请发发布。这里对于包含于这些权利要求中的术语明确阐述的任何定义应掌控在权利要求中使用的这些术语的意思。由此，没有在权利要求中明确详述的限制、要素、性能、特征、优点或属性不应以任何的方式限制这些权利要求的范围。因此，说明书和附图应视为解释性而不是限制性的。

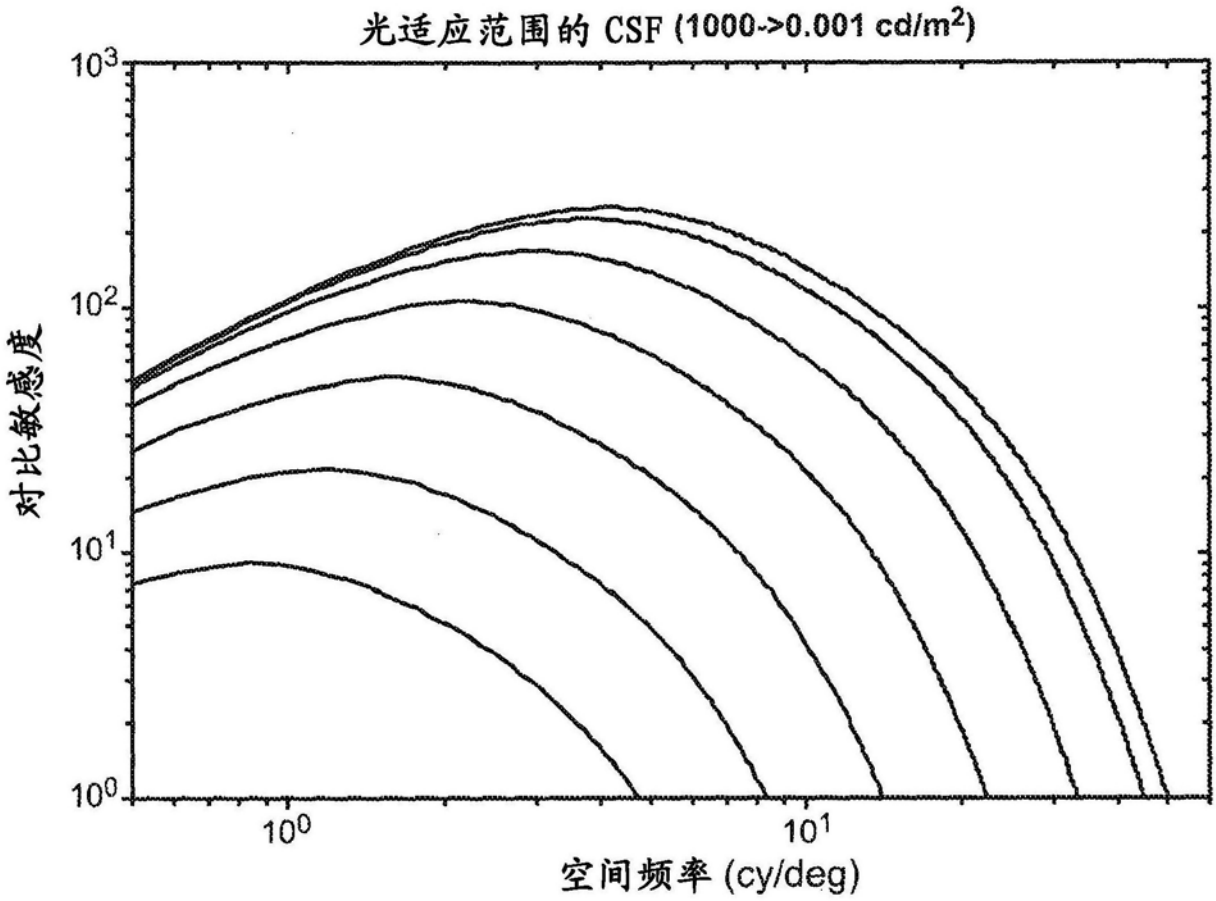

光适应范围的 CSF (1000->0.001 cd/m2)
对比敏感度
空间频率 (cy/deg)
10^3
10^2
10^1
10^0
10^0
10^1

图1

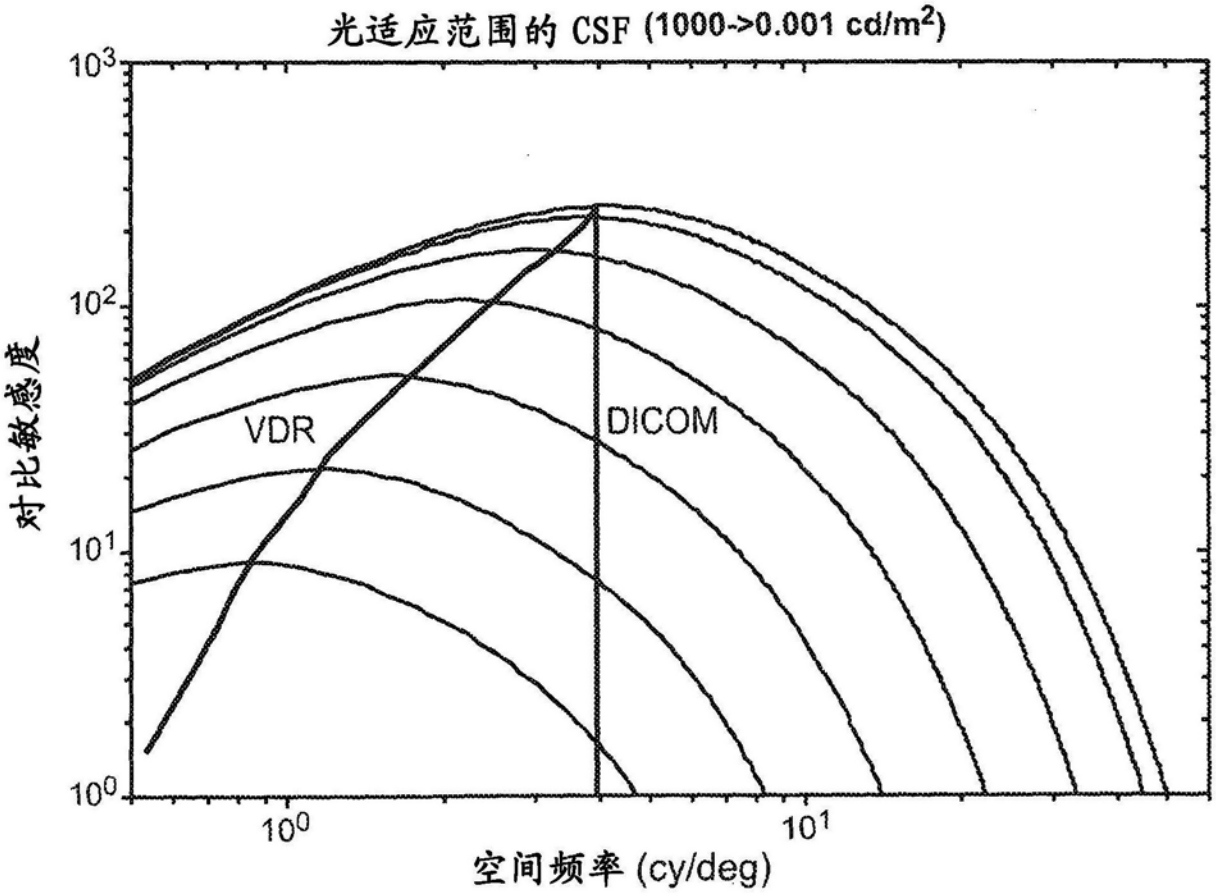

光适应范围的 CSF (1000->0.001 cd/m2)
对比敏感度
空间频率 (cy/deg)
VDR
DICOM
10^3
10^2
10^1
10^0
10^0
10^1

图2

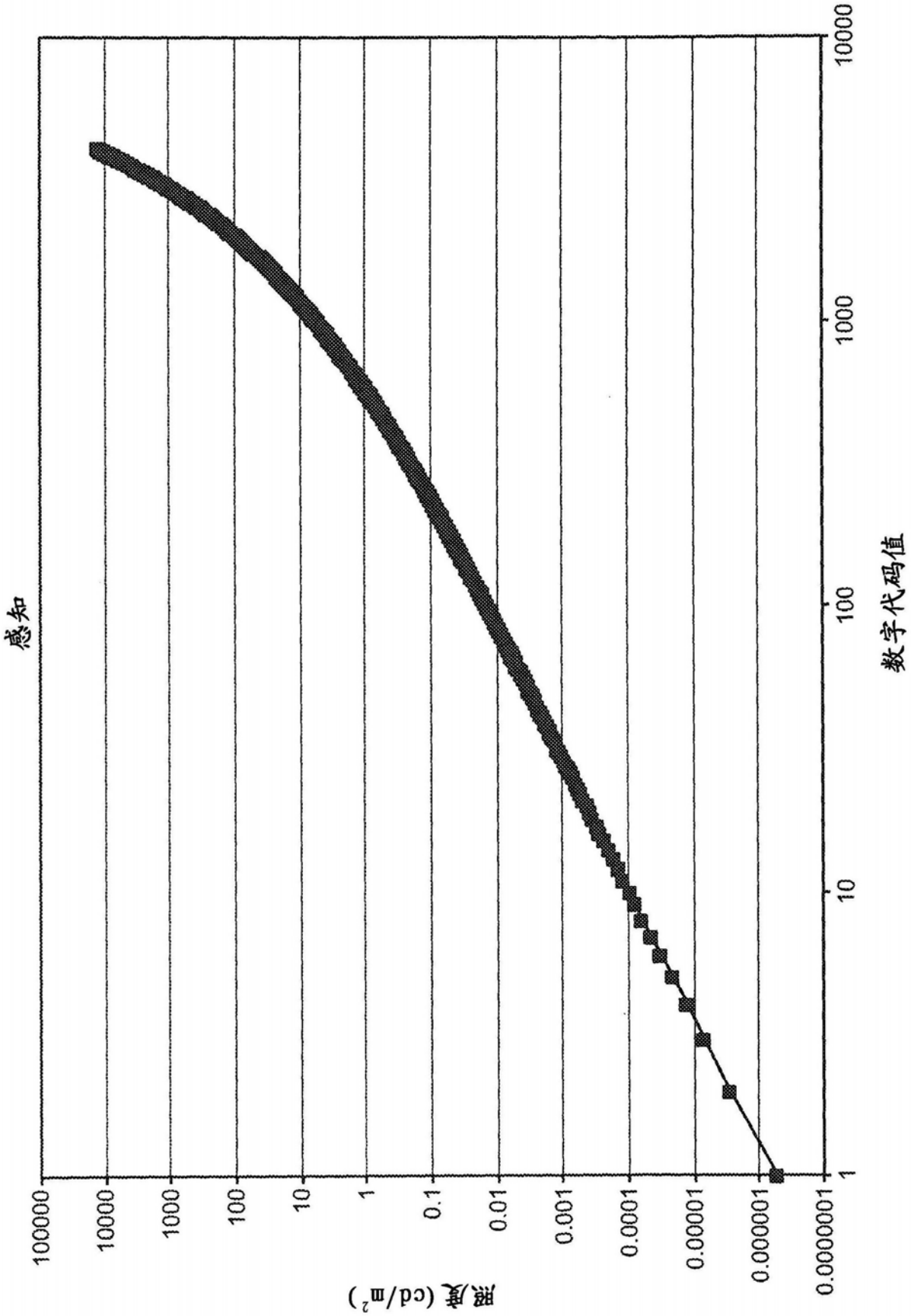

感知
数字代码值
照度 (cd/m²)
100000
10000
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.000001
0.0000001
10000
1000
100
10
1

图3

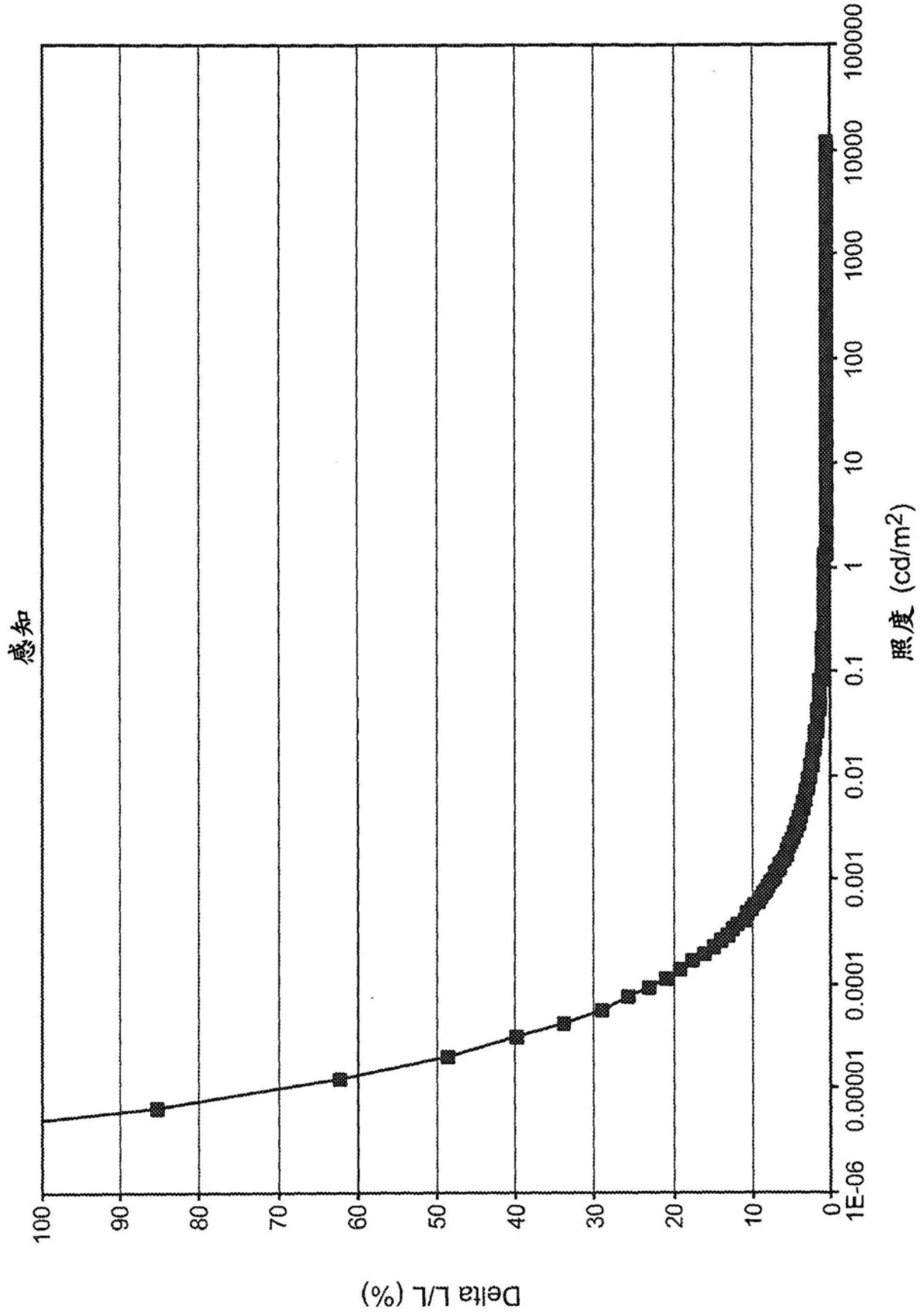

感知
Delta L/L (%)
照度 (cd/m2)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1E-06
0.00001
0.0001
0.001
0.01
0.1
1
10
100
1000
10000
100000

图4

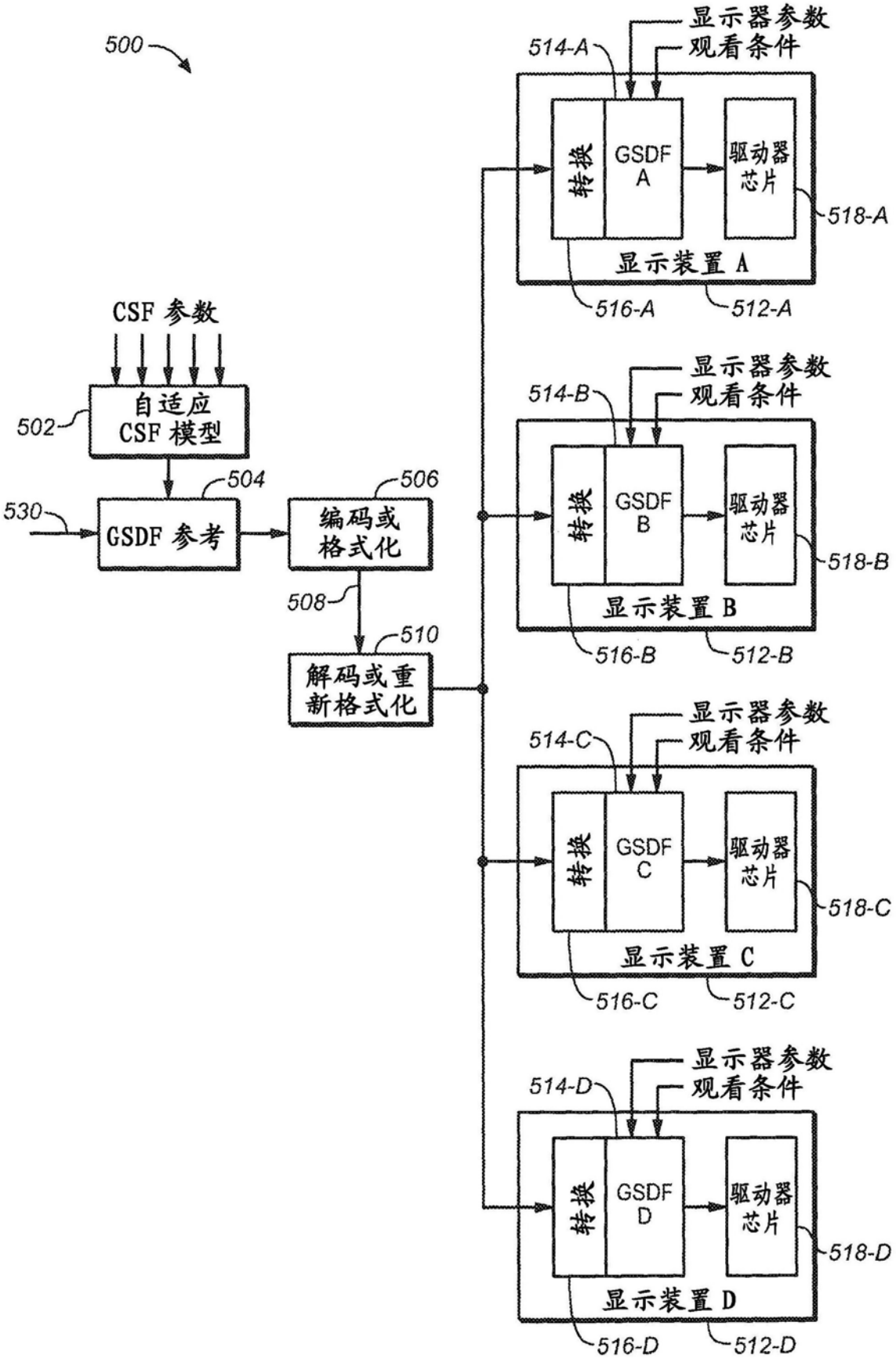

500
CSF 参数
自适应 CSF 模型
502
504
GSDF 参考
530
506
编码或格式化
508
510
解码或重新格式化
显示器参数
观看条件
514-A
转换
GSDF A
驱动器芯片
518-A
显示装置 A
516-A
512-A
514-B
GSDF B
518-B
显示装置 B
516-B
512-B
514-C
GSDF C
518-C
显示装置 C
516-C
512-C
514-D
GSDF D
518-D
显示装置 D
516-D
512-D

图5

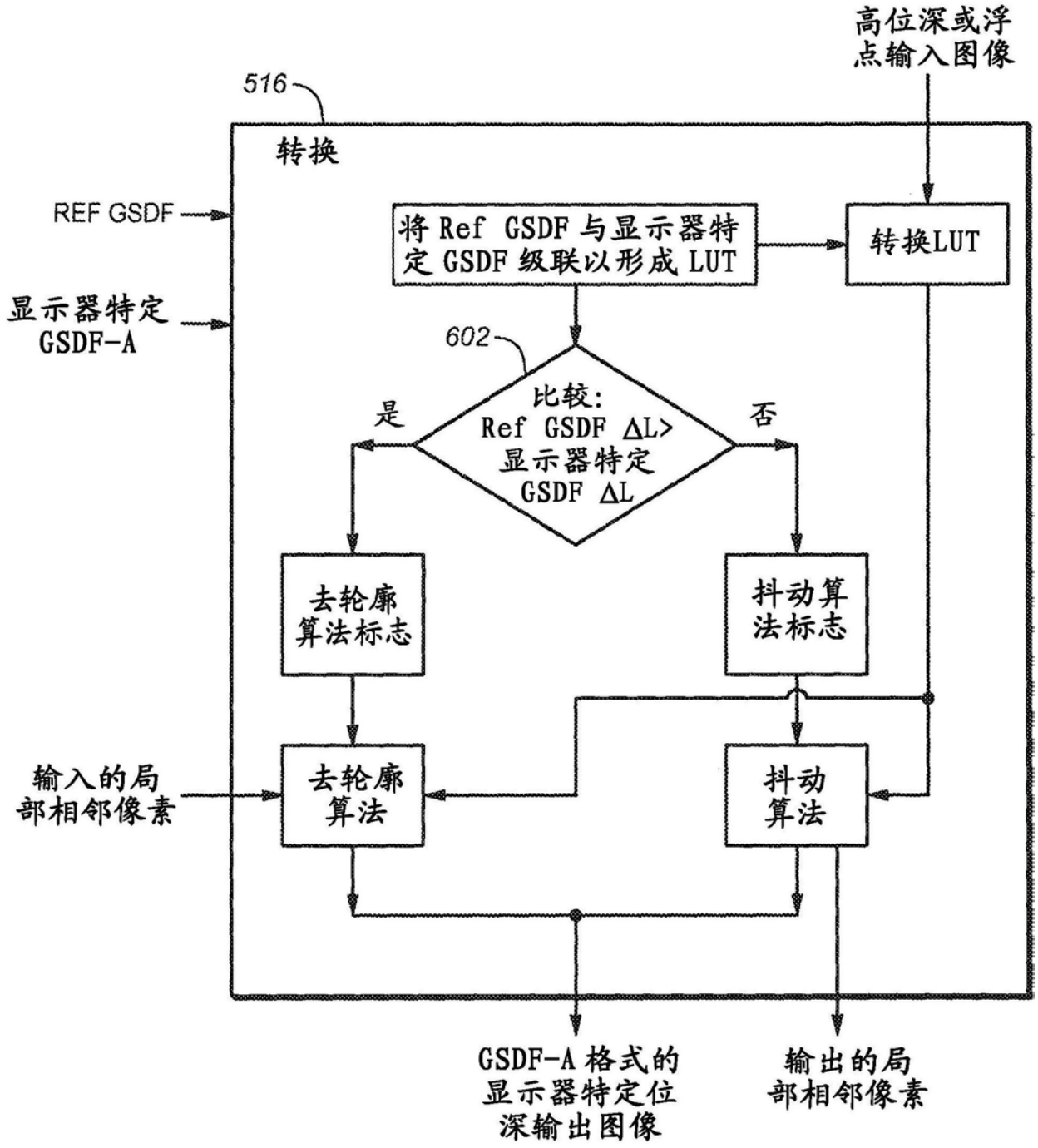

高位深或浮点输入图像
516
转换
REF GSDF
显示器特定 GSDF-A
将 Ref GSDF 与显示器特定 GSDF 级联以形成 LUT
转换LUT
602
比较: Ref GSDF ΔL> 显示器特定 GSDF ΔL
是
否
去轮廓算法标志
抖动算法标志
输入的局部相邻像素
去轮廓算法
抖动算法
GSDF-A 格式的显示器特定位深输出图像
输出的局部相邻像素

图6

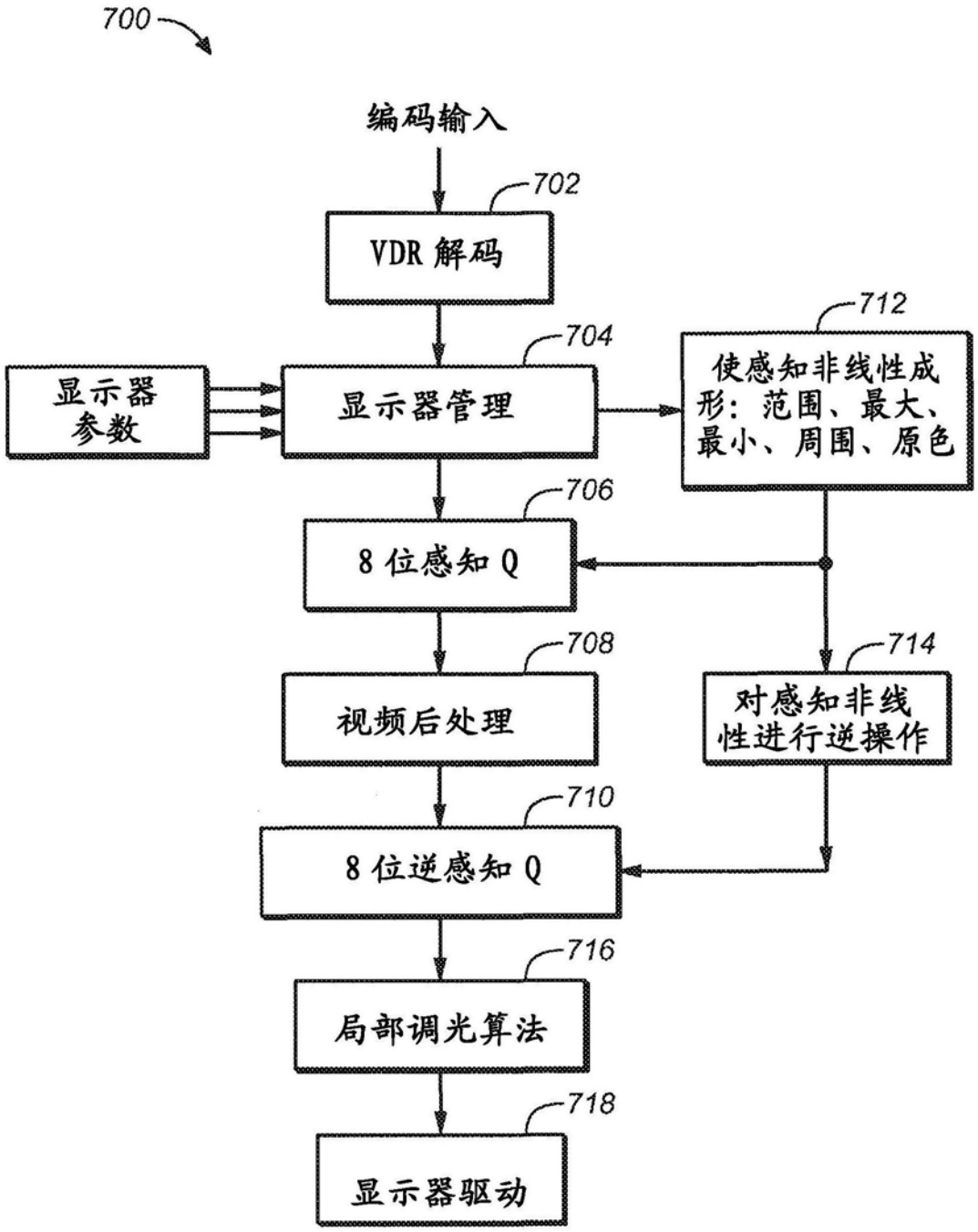

700
编码输入
702
VDR 解码
704
显示器参数
显示器管理
712
使感知非线性成形：范围、最大、最小、周围、原色
706
8 位感知 Q
708
视频后处理
714
对感知非线性进行逆操作
710
8 位逆感知 Q
716
局部调光算法
718
显示器驱动

图7

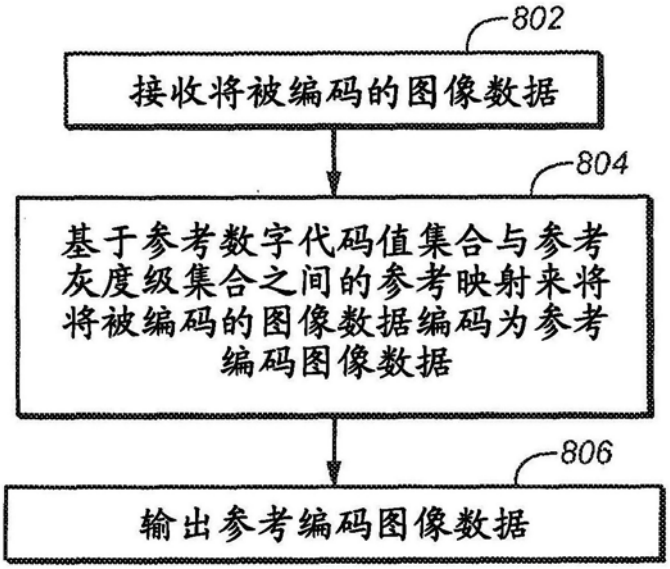

802
接收将被编码的图像数据
804
基于参考数字代码值集合与参考灰度级集合之间的参考映射来将将被编码的图像数据编码为参考编码图像数据
806
输出参考编码图像数据

图8A

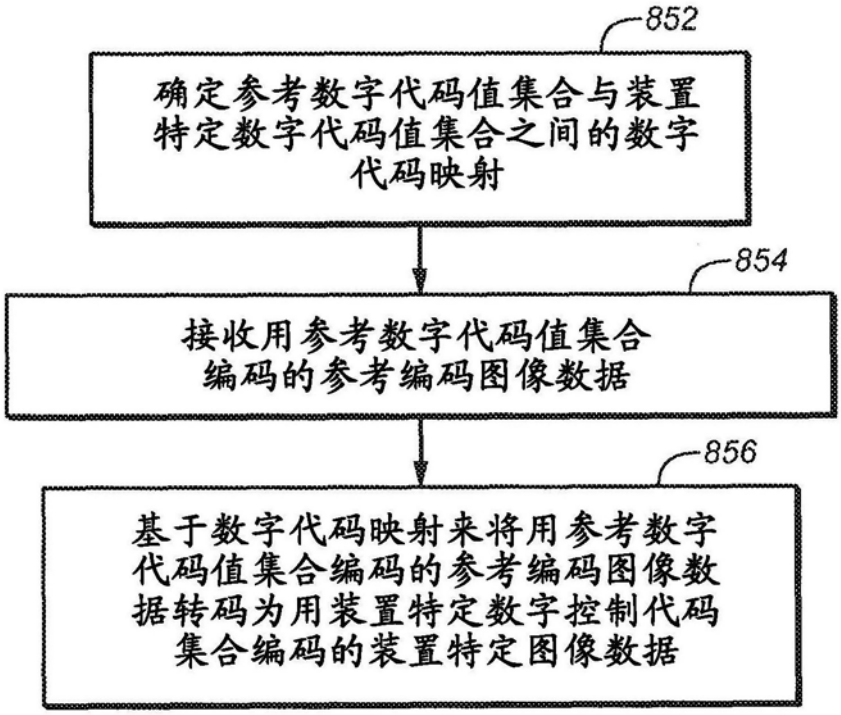

852
确定参考数字代码值集合与装置特定数字代码值集合之间的数字代码映射
854
接收用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据
856
基于数字代码映射来将用参考数字代码值集合编码的参考编码图像数据转码为用装置特定数字控制代码集合编码的装置特定图像数据

图8B

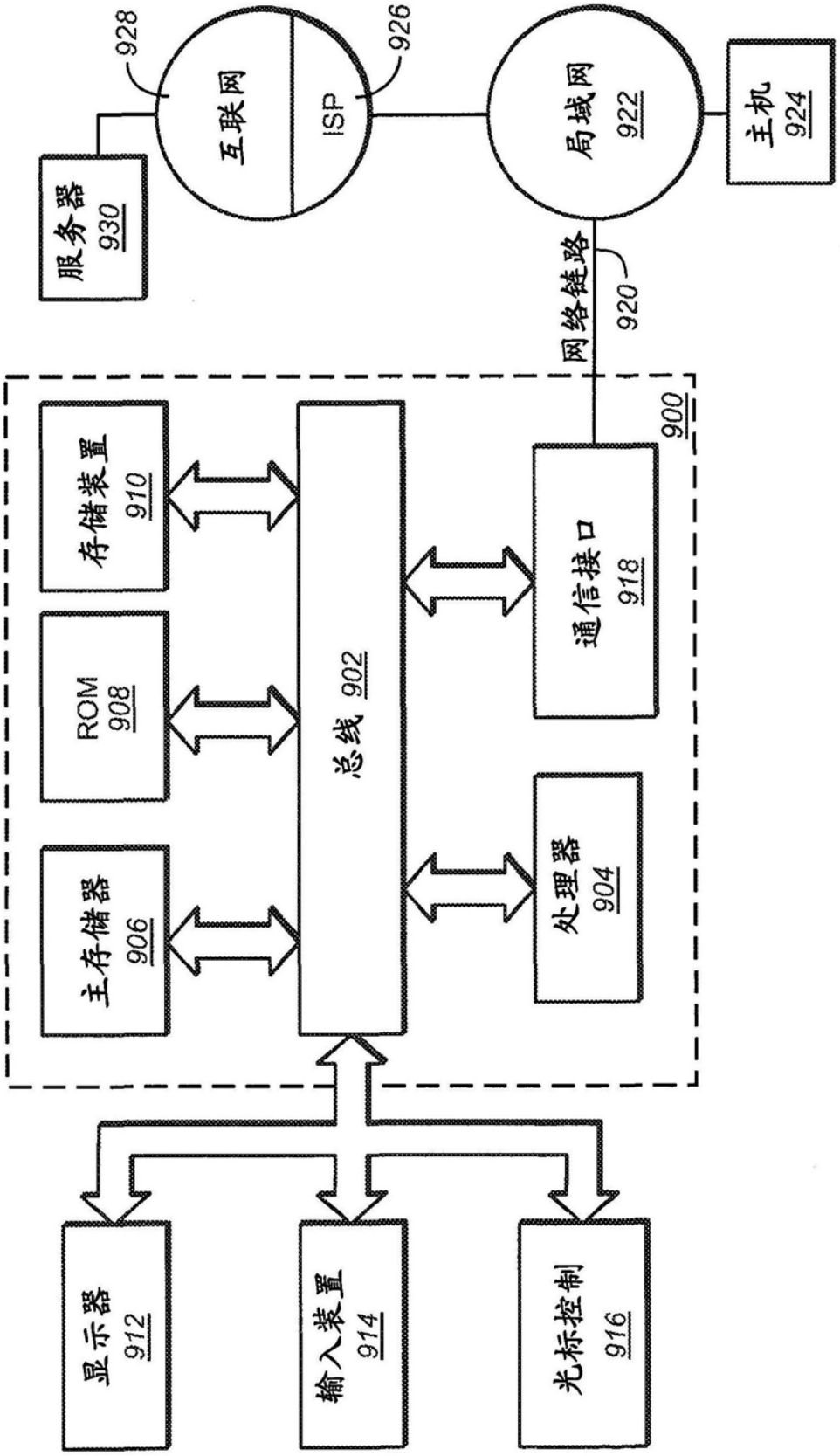

928
互联网
ISP
926
局域网
922
主机
924
服务器
930
网络链路
920
900
存储装置
910
ROM
908
主存储器
906
总线 902
通信接口
918
处理器
904
显示器
912
输入装置
914
光标控制
916

图9

量化	最大代码错误（来自 CSF 峰值）
inf	11.252
4096	11.298
2048	11.373
1024	12.089
512	12.451
256	13.288

图10A

参数		公式
n	0.16956	(2778/4096)/4
m	77.968	(2495/4096)*128
c1	0.96484	(3952/4096)
c2	3.7627	(3853/4096)*4
c3	2.5166	(3436/4096)*4

图11

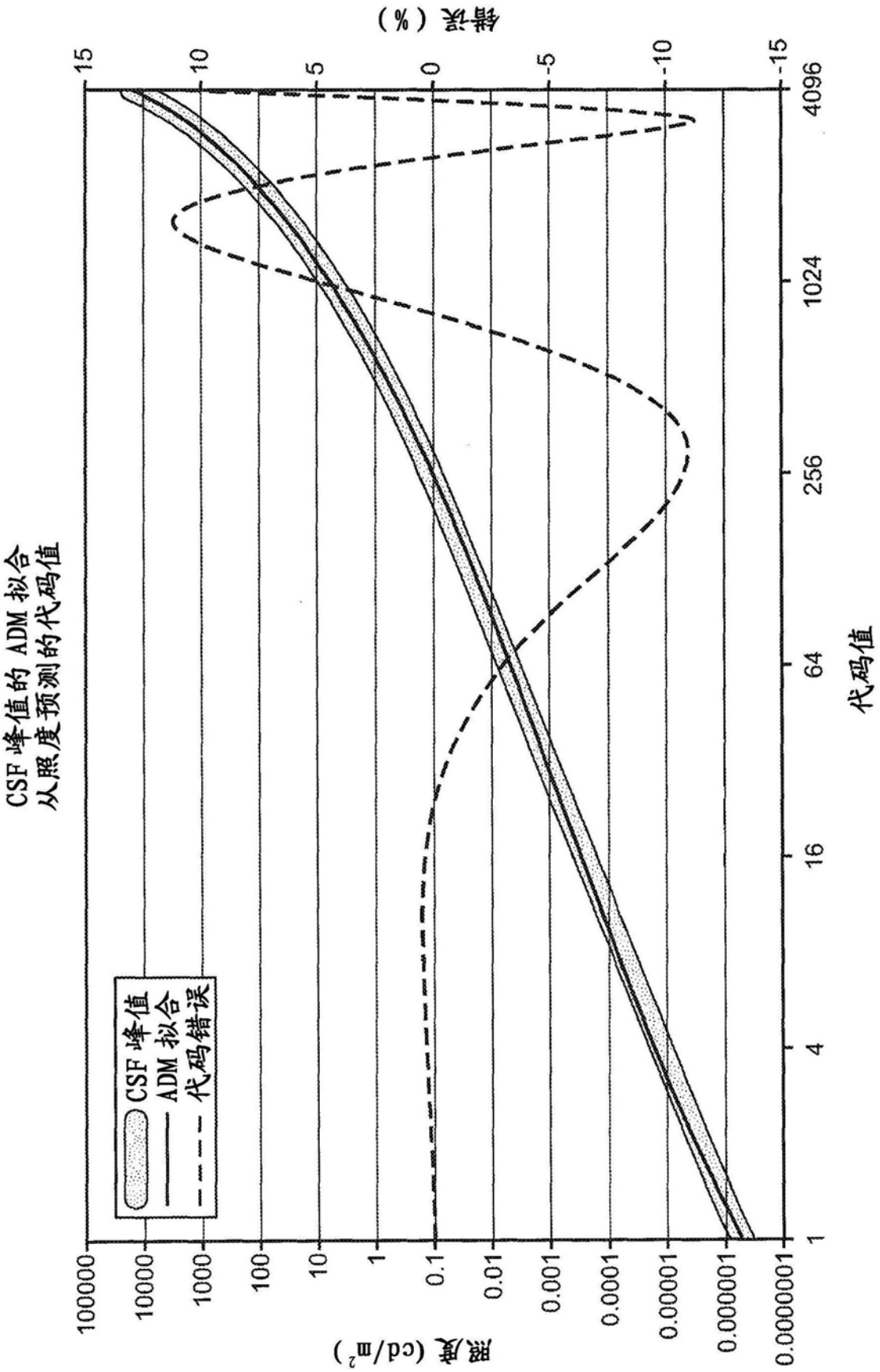

CSF 峰值的 ADM 拟合
从照度预测的代码值
CSF 峰值
ADM 拟合
代码错误
亮度 (cd/m²)
代码值
错误 (%)
100000
10000
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.000001
0.0000001
1
4
16
64
256
1024
4096
15
10
5
0
-5
-10
-15

图10B

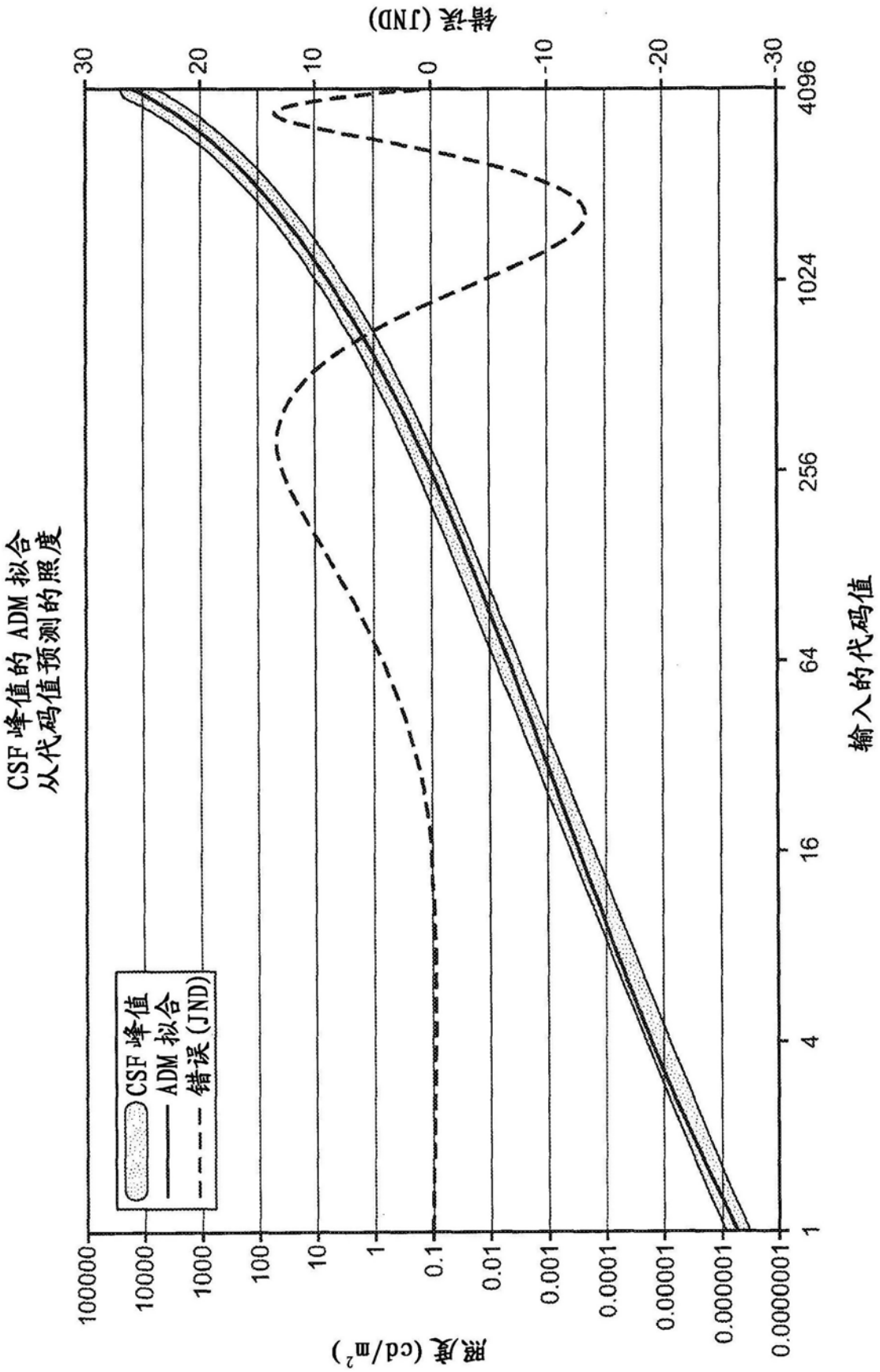

CSF 峰值的 ADM 拟合
从代码值预测的照度
CSF 峰值
ADM 拟合
错误 (JND)
照度 (cd/m²)
100000
10000
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.000001
0.0000001
错误 (JND)
30
20
10
0
-10
-20
-30
输入的代码值
1
4
16
64
256
1024
4096

图10C

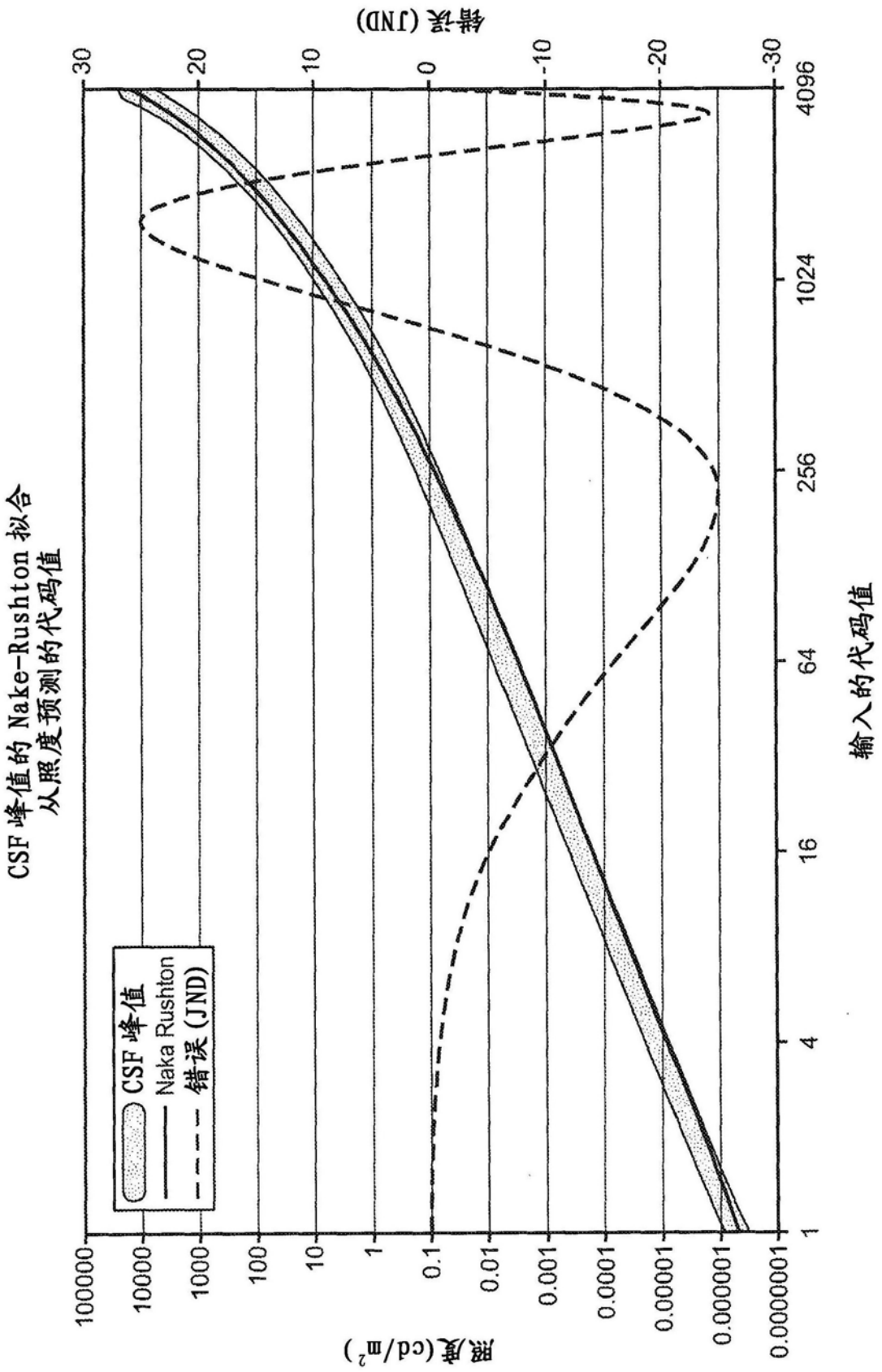

CSF 峰值的 Nake-Rushton 拟合
从照度预测的代码值
CSF 峰值
Naka Rushton
错误 (JND)
亮度 (cd/m²)
100000
10000
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.000001
0.0000001
错误 (JND)
30
20
10
0
-10
-20
-30
1
4
16
64
256
1024
4096
输入的代码值

图10D

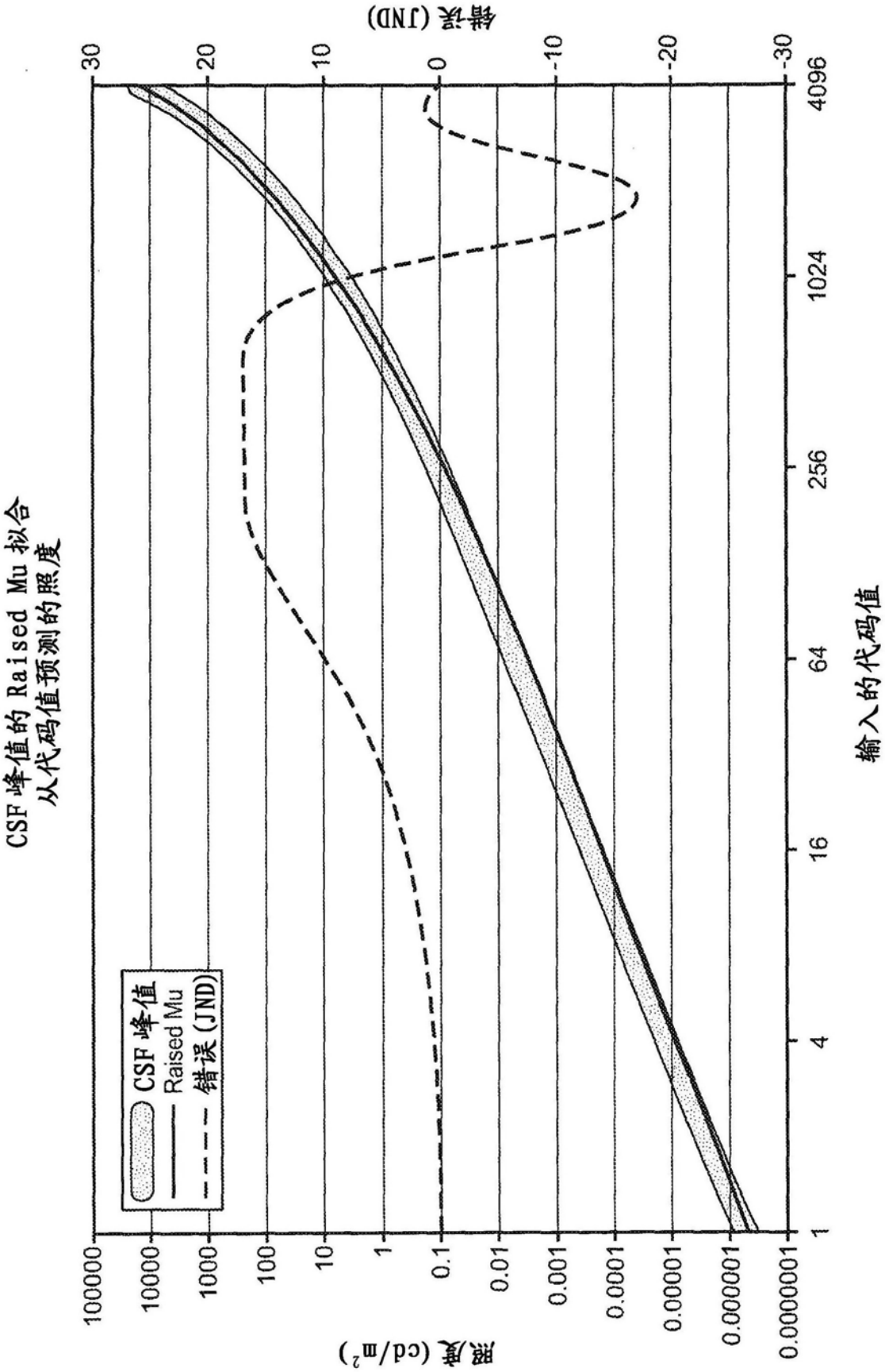

CSF 峰值的 Raised Mu 拟合
从代码值预测的照度
CSF 峰值
Raised Mu
错误 (JND)
照度 (cd/m²)
100000
10000
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.000001
0.0000001
30
20
10
0
-10
-20
-30
错误 (JND)
1
4
16
64
256
1024
4096
输入的代码值

图10E