[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H04N 9/64 (2006.01)
G09G 5/02 (2006.01)
G06T 1/00 (2006.01)
H04N 9/31 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780017977.2

[43] 公开日 2009 年 6 月 3 日

[11] 公开号 CN 101449589A

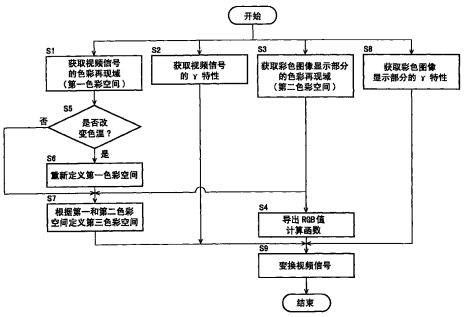
[22] 申请日 2007.4.20
[21] 申请号 200780017977.2
[30] 优先权
[32] 2006. 5.15 [33] JP [31] 135442/2006
[86] 国际申请 PCT/JP2007/058614 2007.4.20
[87] 国际公布 WO2007/132635 日 2007.11.22
[85] 进入国家阶段日期 2008.11.17
[71] 申请人 夏普株式会社
地址 日本国大阪府
[72] 发明人 今井巧 岩内谦一
[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司
代理人 王新华
权利要求书 2 页 说明书 31 页 附图 14 页

[54] 发明名称

彩色图像显示设备和色彩变换设备

[57] 摘要

提供了一种彩色图像显示设备，以在保持图像设备的宽的色彩再现域的自然色调的同时在显示设备的色彩空间中再现输入视频信号所确定的色彩。假定假想了色彩空间，以使得在利用随着色彩再现的扩展方向逐渐变化的色调而在第二色彩范围或更多中再现增大的饱和度的同时，输入信号在第一色彩范围内为原始色调，色彩变换部分 12 对视频信号进行变换，以使得利用假象色彩空间中所表示的三刺激值在彩色图像显示部分 13 上再现输入视频信号 10，并且彩色图像显示部分 13 利用彩色图像显示设备的较宽的色彩再现范围来显示并再现生动的视频图像，而不会让人感到不当。



1. 一种使用至少三种原色来显示图像的彩色图像显示设备，所述彩色图像显示设备中所显示的色彩范围包括包括至少两个色彩范围，即包括白色在内的第一色彩范围和其饱和度比第一色彩范围高的第二色彩范围，利用输入视频信号所确定的色调在第一色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，而在第二色彩范围中显示其色调与输入视频信号所确定的色调不同的色彩。

2. 如权利要求 1 所述的彩色图像显示设备，其中，在第二色彩范围中，显示与输入视频信号所确定的色调相比更接近彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

3. 如权利要求 2 所述的彩色图像显示设备，其中，所述彩色图像显示设备所显示的色彩范围包括其饱和度比第二颜色范围高的第三色彩范围，在第三色彩范围中，显示其色调与输入视频信号所确定的色调不同的、但是与第二色彩范围中所显示的色彩相比更接近所述彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

4. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的彩色图像显示设备，其中，在第二色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，并且所述饱和度的增强度与第一色彩范围中的饱和度的增强度不同。

5. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的彩色图像显示设备，其中，所述彩色图像显示设备所显示的色彩范围还包括其饱和度比第二色彩范围高的第四色彩范围，利用输入视频信号所确定的色调在第四色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，所述饱和度的增强度比第一色彩范围中的饱和度的增强度大，并且与第二色彩范围中的饱和度的增强度不同。

6. 一种色彩变换设备，利用至少三种原色来将输入视频信号变换为适于特定彩色图像显示设备的输出视频信号，所述特定彩色图像显示设备再现包括至少两个色彩范围在内的色彩范围，所述至少两个色彩范围为包括白色在内的第一色彩范围和其饱和度比第一色彩范围的

高的第二色彩范围，所述色彩变换设备将输入视频信号变换为输出视频信号，所述输出视频信号利用输入视频信号所确定的色调在第一色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，并且在第二色彩范围中显示其色调与输入视频信号所确定的色调不同的色彩。

7. 如权利要求6所述的色彩变换设备，所述色彩变换设备将第二色彩范围中的输入视频信号变换为输出视频信号，所述输出视频信号显示其色调与输入视频信号所确定的色调相比更接近彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

8. 如权利要求7所述的色彩变换设备，其中，所述彩色图像显示设备所显示的色彩范围还包括其饱和度比第二颜色范围的高的第三色彩范围，所述色彩变换设备将输入视频信号变换为输出视频信号，所述输出视频信号在第三色彩范围中显示与输入视频信号所确定的色调不同的、并且与第二色彩范围中所显示的色彩相比更接近彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

9. 如权利要求 6 至 8 中任一项所述的色彩变换设备，其中，在第二色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，以及所述饱和度的增强度与第一色彩范围中的饱和度的增强度不同。

10. 如权利要求6至9中任一项所述的色彩变换设备，其中，所述彩色图像显示设备所显示的色彩范围还包括其饱和度比第二色彩范围的高的第四色彩范围，利用输入视频信号所确定的色调在第四色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，所述饱和度的增强度比第一色彩范围中的饱和度的增强度大，并且与第二色彩范围中的饱和度的增强度不同。

彩色图像显示设备和色彩变换设备

技术领域

本发明涉及一种彩色图像显示设备和色彩变换设备，更具体地，涉及一种对视频信号执行色彩变换的彩色图像显示设备和色彩变换设备。

背景技术

近年，从例如少汞的环境问题的观点出发，并且为了实现长寿命的设备，诸如 LED（发光二极管）和激光器之类的半导体光源被更多地用作用于彩色图像显示设备的光源。使用半导体光源的主要优点包括：可以实现色彩再现域较宽的显示。这是因为半导体光源具有尖锐的谱，并且与诸如 CRT（阴极射线管）显示器和使用冷阴极荧光灯的液晶显示器之类的传统彩色图像显示设备相比，使用半导体光源作为红、绿和蓝这三原色的彩色图像显示设备具有更宽的色彩再现域。然而，因为在整个显示器中由于更宽的色彩再现域而引起饱和度的增大，所以色彩会不自然地再现，例如淡蓝色的天空变为深蓝色的天空，或者人的肤色变为黄色。

由于半导体光源的红、绿和蓝的色调不同于用于输入视频信号的各原色的色调，如果直接通过使用半导体光源作为其光源的彩色图像显示设备来显示信号，则再现的视频具有不自然的色调。例如，色彩被不自然地再现，例如由于半导体光源的绿是具有较短波长的蓝绿，因此草被显示为蓝绿色，而且由于半导体光源的红是具有较短波长的深红，因此人的肤色变成深红色。为了解决半导体光源的色调上的不同，例如，已经提出了专利文献 1 的色彩管理技术。

在专利文献 1 所描述的发明中，在具有其色调与所期望的色调不同的三原色的彩色图像显示设备中，如下将 RGB 视频信号[R, G, B]分

解为三个相应的原色成分的矩阵。

[表达式 1]

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ G \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{pmatrix}$$

如下使用常数 a 至 i 对所分解的成分进行变换。

[表达式 2]

$$\begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} a \times R \\ d \times R \\ g \times R \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ G \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} b \times G \\ e \times G \\ h \times G \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} c \times B \\ f \times B \\ i \times B \end{pmatrix}$$

将各个矩阵相加，以合成变换后的 RGB 视频信号[$R^{'}$, $G^{'}$, $B^{'}$]。

[表达式 3]

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \times R \\ d \times R \\ g \times R \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b \times G \\ e \times G \\ h \times G \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \times B \\ f \times B \\ i \times B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \times R + b \times G + c \times B \\ d \times R + e \times G + f \times B \\ g \times R + h \times G + i \times B \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

这意味着：在显示红色时，通过以特定比率发出红光、绿光和蓝光来改变所要显示的红色的色调，以获得期望的色调。

图 14 是使用传统色彩变换设备的色彩空间的变换的色度图。这是

u'v'色度图（CIE1976UCS 色度图），在本示例中，使用上述专利文献 1 中所描述的方法来根据 IEC61933-2-1 制定的 sRGB 标准色彩空间校正色调。众所周知，从白色的色度坐标 000 到任意色彩的色度坐标的半直线上的两点的色彩具有相同的色调，并且距白色的色度坐标 000 的距离通常与点的饱和度相对应。

因为彩色图像显示设备的色彩再现域 010 的三原色的色度坐标不在连接白色的色度坐标 000 与 sRGB 标准色彩空间（视频信号的色彩再现域）020 的半直线上，所以其色调不同于 sRGB 标准色彩空间 020 的原色。可以使用专利文献 1 所公开的方法对视频信号进行变换，并将其再现为色彩再现域 030。由于色彩再现域 030 的三原色的色度坐标移动到连接白色的色度坐标 000 与 sRGB 标准色彩空间 020 的三原色的色度坐标的半直线上，三原色的变换色调将与 sRGB 标准色彩空间 020 的原色的色调相同。

专利文献 1：日本公开专利公开号 2000-278705

发明内容

本发明所要解决的问题

然而，因为通过利用专利文献 1 所描述的方法使得图 14 所示的彩色图像显示设备的色彩再现域变窄来使得色调变得相同，即使在使其色彩再现域较宽的彩色图像显示设备时，也只是利用了色彩再现域的一部分，而不是彩色图像显示设备的色彩再现域中的高色纯度的域。也就是说，无法同时满足利用彩色图像显示设备的色彩再现域（宽至具有高色纯度的区域）和保留色调这两个要求。

本发明是鉴于上述问题而构思的，因此本发明的目的是提供一种彩色图像显示设备和色彩变换设备，其在显示设备的色彩空间中再现根据输入视频信号确定的色彩，从而实现自然色调，并很好地利用显示设备的较宽的色彩再现域。

用于解决问题的手段

为了解决上述问题，本发明的第一技术手段是一种使用至少三种

原色来显示图像的彩色图像显示设备，在该彩色图像显示设备中显示的色彩范围包括包括至少两个色彩范围，即包括白色的第一色彩范围和其饱和度比第一色彩范围高的第二色彩范围，利用输入视频信号所确定的色调在第一色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，而在第二色彩范围中显示其色调与输入视频信号所确定的色调不同的色彩。

第二技术手段是彩色图像显示设备，其中，在第二色彩范围中，显示与输入视频信号所确定的色调相比更接近彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

第三技术手段是彩色图像显示设备，其中，该彩色图像显示设备所显示的色彩范围包括其饱和度比第二色彩范围高的第三色彩范围，并且在第三色彩范围中，显示其色调与输入视频信号所确定的色调不同的、但是与第二色彩范围中所显示的色彩相比更接近该彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

第四技术手段是彩色图像显示设备，其中，在第二色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，并且饱和度的增强度（degree of enhancement）与第一色彩范围中的饱和度的增强度不同。

第五技术手段是彩色图像显示设备，其中，该彩色图像显示设备所显示的色彩范围还包括其饱和度比第二色彩范围高的第四色彩范围，利用输入视频信号所确定的色调在第四色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，该饱和度的增强度比第一色彩范围中的饱和度的增强度大，并且与第二色彩范围中的饱和度的增强度不同。

第六技术手段是一种色彩变换设备，其利用至少三种原色来将输入视频信号变换为适于特定彩色图像显示设备的输出视频信号，该彩色图像显示设备再现包括至少两个色彩范围（包括白色的第一色彩范围和其饱和度比第一色彩范围的高的第二色彩范围)在内的色彩范围，该色彩变换设备将输入视频信号变换为输出视频信号，该输出视频信号利用输入视频信号所确定的色调在第一色彩范围中显示其饱和度比

输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，并且在第二色彩范围中显示其色调与输入视频信号所确定的色调不同的色彩。

第七技术手段是色彩变换设备，该色彩变换设备将第二色彩范围中的输入视频信号变换为输出视频信号，该输出视频信号显示其色调与输入视频信号所确定的色调相比更接近彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

第八技术手段是色彩变换设备，其中，彩色图像显示设备所显示的色彩范围还包括其饱和度比第二色彩范围的高的第三色彩范围，并且该色彩变换设备将输入视频信号变换为输出视频信号，该输出视频信号在第三色彩范围中显示与输入视频信号所确定的色调不同的、并且与第二色彩范围中所显示的色彩相比更接近彩色图像显示设备的原色的色调的色彩。

第九技术手段是色彩变换设备，其中，在第二色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，并且该饱和度的增强度与第一色彩范围中的饱和度的增强度不同。

第十技术手段是色彩变换设备，其中，彩色图像显示设备所显示的色彩范围还包括其饱和度比第二色彩范围的高的第四色彩范围，利用输入视频信号所确定的色调在第四色彩范围中显示其饱和度比输入视频信号所确定的饱和度高的色彩，该饱和度的增强度比第一色彩范围中的饱和度的增强度大，并且与第二色彩范围中的饱和度的增强度不同。

本发明的效果

根据本发明，由于利用输入视频信号的原始色调在第一色彩范围中再现色彩，并且在逐渐改变色调以扩展色彩再现域的同时利用增强的饱和度再现色彩，因此可以充分利用显示设备的宽的再现范围来再现生动的视频，而不会带来不舒服的感觉。

附图说明

图 1 是根据本发明的第一实施例的彩色图像显示设备的示例性配

置的框图。

图 2 是根据本发明的第一实施例的彩色图像显示部分的示例性配置的视图。

图 3 是根据本发明的第一实施例的彩色图像显示部分的色彩再现域和视频信号的色彩再现域的色度图。

图 4 是用于对根据本发明的第一实施例的色彩变换部分中的色彩变换参数计算处理的示例进行说明的流程图。

图 5 是根据本发明的第一实施例的、在不考虑白色坐标而确定第三色彩空间的情况下的示例的色度图。

图 6 是根据本发明的第一实施例的、在考虑白色坐标而确定第三色彩空间的情况下的示例的色度图。

图 7 是示出了在将第一色彩空间定义为 sRGB 并改变 a 时的第三色彩空间中的变化的色度图。

图 8 是第一色彩空间中的色彩范围、从白色移向原色的色调的轨迹以及原色的补色的图。

图 9 是第一色彩空间中的色彩范围、从白色移向原色的色调的轨迹以及原色的补色的图。

图 10 是通过根据本发明的第一实施例的修改的色彩变换部分对第一色彩空间进行变换的示例的色度图。

图 11 是通过根据本发明的第一实施例的修改的色彩变换部分对第三色彩空间进行变换的示例的色度图。

图 12 是通过根据本发明的第二实施例的色彩变换部分对第一色彩空间进行变换的示例的色度图。

图 13 是通过根据本发明的第二实施例的色彩变换部分对第三色彩空间进行变换的示例的色度图。

图 14 是使用传统色彩变换设备对色彩空间进行变换的色度图。

附图标记说明

10...输入视频信号；11...彩色图像显示设备；12...色彩变换部分；12a...γ变换部分；12b...视频信号变换部分；12c...逆γ变换部分；13...

彩色图像显示部分；20...红色 LED；21...绿色 LED；22...蓝色 LED；23...镜子；24...绿色反射/蓝色透射二色镜；25...蓝色-绿色反射/红色透射二色镜；26...聚光透镜；27...镜子；28...空间光调制器；29...投影透镜；和 30...屏幕。

具体实施方式

下面，将通过参考附图对根据本发明的彩色图像显示设备和色彩变换设备的优选实施例进行描述。

(第一实施例)

图 1 是根据本发明的第一实施例的显示设备的示例性配置的框图；在图 1 中，附图标记 10 表示输入视频信号；11 表示彩色图像显示设备；12 表示色彩变换部分；以及 13 表示彩色图像显示部分。输入视频信号 10 通过色彩变换部分 12 进行色彩变换，以及通过彩色图像显示部分 13 进行显示。

色彩变换部分 12 与本发明的色彩变换设备相对应，并包括：α 变换部分 12a，对输入视频信号 10 执行 γ 变换；视频信号变换部分 12b，对经 γ 变换的 RGB 信号执行变换处理；以及逆 γ 变换部分 12c，利用彩色图像显示部分 13 的 γ 特性的逆函数执行逆 γ 变换。稍后将对这些部分进行详细描述。

图 2 是根据本发明的第一实施例的彩色图像显示部分 13 的示例性配置的视图。示出了使用 LED（发光二极管）作为光源的 DLP（数字光处理，注册商标）投影仪作为本实施例中所使用的彩色图像显示部分 13 的示例。

在图 2 中，使用镜子 23、绿色反射/蓝色透射二色镜 24 和蓝色-绿色反射/红色透射二色镜 25，将来自红色 LED 20、绿色 LED 21 和蓝色 LED 22 的光进行组合，通过透镜 26 进行聚光，然后通过镜子 27 到达空间光调制器 28。如果空间光调制器 28 由板（即所谓的单板的情况）组成，并且来自 LED 的光为时分的，则空间光调制器 28 根据红色/绿色/蓝色的发光时段执行像素的空间光调制，以将光反射到投

影透镜 29，以使得时间平均的光强度变为与像素的输入视频信号相对应的值。光通过投影透镜 29，并在屏幕 30 上形成图像。

图 1 所示的输入视频信号 10 是具有 sRGB 标准色彩空间中的色彩的标准 RGB 信号，该 sRGB 标准色彩空间被分解为由红/绿/蓝成分的数值表示的、具有如下表 1 所示的色度坐标的红/绿/蓝的标准原色分量。

图 3 是根据本发明的第一实施例的彩色图像显示部分的色彩再现域和视频信号的色彩再现域的色度图。图 3 是 u'v'色度图（CIE1976UCS 色度图），并示出了彩色图像显示部分 13 的色彩再现域 100 以及色彩再现域 110，色彩再现域 110 是投影到 u'v'色度图上的 sRGB 标准色彩空间。

[表 1]

	红色	绿色	蓝色	白色（D65）
X	0.6400	0.3000	0.15000	0.3127
Y	0.3300	0.6000	0.0600	0.3290

将描述色度坐标与三刺激（tristimulus）值之间的关系。表 1 的值 x 与 y 是 xy 色度图（CIE1931 色度图）上的坐标，并且与 CIE1931 XYZ 色彩空间的三刺激值 X、Y 和 Z 具有以下关系。

[表达式 4]

$$x = X/(X+Y+Z)$$
$$y = Y/(X+Y+Z) \qquad \ldots \text{Eq.（1）}$$

在 u'v'色度图（CIE1976UCS 色度图）上的色度坐标 u'和 v'与 CIE1931 XYZ 色彩空间的三刺激值 X、Y 和 Z 之间建立以下关系。

[表达式 5]

$$u' = 4X/(X+15Y+3Z)$$
$$v' = 9Y/(X+15Y+3Z) \qquad \ldots \text{Eq.（2）}$$

因此，从 Eq.1 和 Eq.2，可以容易地计算针对 sRGB 标准色彩空间

的标准原色和白色的 u'v'色度坐标。在标准 RGB 信号的 RGB 值与 CIE1931 XYZ 色彩空间的三刺激值之间建立以下关系。然而，必须将 RGB 值乘于 100/255，以使得 Eq.3 和 Eq.4 中的 RGB 信号值可以落入 0-100 的范围内，而不是 0-255。

[表达式 6]

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{pmatrix} \quad \ldots \text{Eq.（3）}$$

$$\begin{pmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad \ldots \text{Eq.（4）}$$

第一色彩空间被定义为输入视频信号所确定的、并且表示输入视频信号所能够表示的整个色彩的空间。例如，输入视频信号 10 所拥有的第一色彩空间是 sRGB 标准色彩空间，并且可以表示图 3 所示的 u'v' 色度图中的色彩再现域 110 内的色彩。第二色彩空间被定义为可通过彩色图像显示部分 13 再现的色彩空间。例如，彩色图像显示部分 13 的第二色彩空间具有图 3 所示的 u'v'色度图中的色彩再现域 100。

图 4 是用于对根据本发明的第一实施例的色彩变换部分 12 中的色彩变换流程的示例进行说明的流程图。首先，获取视频信号的色彩再现域（步骤 S1）。因为视频信号所表示的所有色彩是通过添加红/绿/蓝标准原色来表示的，所以通过由与表示红/绿/蓝的标准原色的视频信号相对应的三刺激值 X、Y、与 Z 所组成的 3×3 矩阵来识别视频信号的色彩再现域。由于本实施例中的视频信号与 sRGB 标准色彩空间相对应，因此可以根据表 1 和 Eq.1 来计算 CIE1931 XYZ 色彩空间中的三刺激值 X、Y 和 Z。色彩变换部分 12 可以通过参照与视频信号的类型相对应的色彩再现域的预定信息执行色彩变换，而不是执行计算。获取视频信号的 γ 特性（步骤 S2）。

随后，获取彩色图像显示部分 13 的色彩再现域和彩色图像显示部

分 13 的传递函数（步骤 S3）。针对与 RGB 标准信号的标准原色相对应的 RGB 信号[255，0，0]、[0，255，0]、[0，0，255]和与黑色相对应的[0，0，0]，测量彩色图像显示部分 13 的三刺激值 X、Y 和 Z。

将表示信号的三刺激值的矩阵定义为如下述 Eq.5 中所示的 R_0、G_0、B_0 和 K_0。因为针对视频信号[0，0，0]所测量的三刺激值 K_0 是诸如平均添加到所有输入视频信号中的外部光之类的噪声成分，所以如 Eq.6 所示地从测量值中减去三刺激值 K_0。如果 K_0 足够小于 R_0、G_0 和 B_0，则为了简单起见，可以忽略减去 K_0。

[表达式 7]

$$\mathbf{R}_0 = \begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G}_0 = \begin{pmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_0 = \begin{pmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{pmatrix}, \quad \mathbf{K}_0 = \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{pmatrix} \quad \text{...Eq.（5）}$$

$$\mathbf{R}_0' = \mathbf{R}_0 - \mathbf{K}_0 = \begin{pmatrix} X_r - X_k \\ Y_r - Y_k \\ Z_r - Z_k \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G}_0' = \mathbf{G}_0 - \mathbf{K}_0 = \begin{pmatrix} X_g - X_k \\ Y_g - Y_k \\ Z_g - Z_k \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{B}_0' = \mathbf{B}_0 - \mathbf{K}_0 = \begin{pmatrix} X_b - X_k \\ Y_b - Y_k \\ Z_b - Z_k \end{pmatrix} \quad \text{...Eq.（6）}$$

如上所述，针对表示红/绿/蓝标准原色的标准 RGB 信号，获取在彩色图像显示部分 13 中显示的色彩的三刺激值矩阵 R'_0、G'_0 和 B'_0。本发明的彩色图像显示部分 13 的第二色彩空间是通过将 K_0 加到在将矩阵 R'_0、G'_0 和 B'_0 与 0 到 1 范围内的实数相乘并求和所得到的三刺激值中而获得的。本发明的彩色图像显示部分 13 的输入视频信号可以通过传递函数 T 唯一地与彩色图像显示部分 13 上显示的色彩联系起来。

如在下述的 Eq.7 所示，传递函数 T 是通过对具有与红/绿/蓝原色相对应的标准 RGB 信号的值的 3×3 矩阵的逆矩阵与具有通过从输入

上述 RGB 信号时所测量的色彩值中减去在输入与黑色相对应的 RGB 信号时所测量的色彩值而获得的值的 3×3 矩阵的矩阵运算而获得的。如 Eq.（8）所示使用所获得的变换函数 T 能够计算在输入任意标准 RGB 信号[R_i，G_i，B_i]时、在彩色图像显示部分 13 上显示的色彩的三刺激值[X_i，Y_i，Z_i]。

[表达式 8]

$$\mathbf{T}=\begin{pmatrix} X_r-X_k & X_g-X_k & X_b-X_k \\ Y_r-Y_k & Y_g-Y_k & Y_b-Y_k \\ Z_r-Z_k & Z_g-Z_k & Z_b-Z_k \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 255 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 255 \end{pmatrix}^{-1}$$

$$=\frac{1}{255}\cdot\begin{pmatrix} X_r-X_k & X_g-X_k & X_b-X_k \\ Y_r-Y_k & Y_g-Y_k & Y_b-Y_k \\ Z_r-Z_k & Z_g-Z_k & Z_b-Z_k \end{pmatrix} \quad \ldots\text{Eq.（7）}$$

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}=\mathbf{T}\begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix}+\begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{pmatrix} \quad \ldots\text{Eq.（8）}$$

然后，获得这个传递函数的逆关系（RGB 值计算函数 S）（步骤 S4）。Eq.8 可以变形为 Eq.9。

当矩阵 T^{-1} 中的成分如 Eq.10 所示地排列时，Eq.9 可以重写为 Eq.11，并且已知可以通过将期望要显示的三刺激值与具有 4 行 3 列的矩阵相乘来计算要输入到彩色图像显示部分 13 的 RGB 信号值。RGB 值计算函数 S 是用于根据三刺激值获得 RGB 信号值的矩阵。

[表达式 9]

$$\begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix}=\mathbf{T}^{-1}\begin{pmatrix} X_i-X_k \\ Y_i-Y_k \\ Z_i-Z_k \end{pmatrix} \quad \ldots\text{Eq.（9）}$$

$$\mathbf{T}^{-1}=\begin{pmatrix} t_{11} & t_{21} & t_{31} \\ t_{12} & t_{22} & t_{32} \\ t_{13} & t_{23} & t_{33} \end{pmatrix}$$

...Eq.（10）

$$\begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} t_{11} & t_{21} & t_{31} & -(t_{11}+t_{12}+t_{13})\cdot X_k \\ t_{12} & t_{22} & t_{32} & -(t_{21}+t_{22}+t_{23})\cdot Y_k \\ t_{13} & t_{23} & t_{33} & -(t_{31}+t_{32}+t_{33})\cdot Z_k \end{pmatrix}\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix}$$

...Eq.（11）

$$\begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix}=\mathbf{S}\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix}$$

...Eq.（12）

可以在忽略 Eq.8 左边的噪声成分的影响的情况下根据 Eq.13 来计算 Eq.12 所示的 RGB 值计算函数 S，以简化运算，或者可以根据通过增加二次项而扩展到 10 行 3 列的 Eq.14 来计算 Eq.12 所示的 RGB 值计算函数 S，以提高精度。如果显示设备的输入/输出特性具有较大的非线性，则可以使用与实际输入/输出特性相对应的查找表（LUT）作为 RGB 值计算函数，以进一步提高精度。LUT 是预先获得的，并将其输入与输出配对来制表。

[表达式 10]

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}=\mathbf{T}\begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix}$$

...Eq.（13）

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \mathbf{T} \begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \\ R_i^2 \\ G_i^2 \\ B_i^2 \\ R_i \cdot G_i \\ G_i \cdot B_i \\ B_i \cdot R_i \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{...Eq.（14）}$$

用于获得三刺激值的 RGB 值必须是与实际亮度具有线性关系的值。由于根据 CRT 的特性来对视频信号执行逆γ变换，因此必须基于先前获取的视频信号的γ特性来对标准 RGB 信号进行γ变换。如下所示，基于 ITU-R BT.709 执行本实施例中的γ变换。

[表达式 11]

$$R'_{signal} = R_{signal} / 255 \quad R'_{value} = R_{value} / 255$$
$$G'_{signal} = G_{signal} / 255 \quad G'_{value} = G_{value} / 255$$
$$B'_{signal} = B_{signal} / 255 \quad B'_{value} = B_{value} / 255$$

在上述情况下，

[表达式 12]

当 $R'_{signal}, G'_{signal}, B'_{signal} \le 0.04045$ 时

$$R'_{value} = R'_{signal} / 12.92$$
$$G'_{value} = G'_{signal} / 12.92$$
$$B'_{value} = B'_{signal} / 12.92$$

[表达式 13]

当$R'_{signal}, G'_{signal}, B'_{signal} > 0.04045$时

$$R'_{value} = \left[\left(R'_{signal} + 0.055\right)/1.055\right]^{2.4}$$
$$G'_{value} = \left[\left(G'_{signal} + 0.055\right)/1.055\right]^{2.4}$$
$$B'_{value} = \left[\left(B'_{signal} + 0.055\right)/1.055\right]^{2.4}$$

输入视频信号的 RGB 信号值 R'_{signal}、G'_{signal} 和 B'_{signal} 可以变成与在上述标准显示器上所显示的亮度具有线性关系的真值 R'_{value}、G'_{value} 和 B'_{value}。

尽管在这种情况下对输入视频信号进行测量，如果原色的坐标和彩色图像显示部分 13 的坐标已知，则可以对色度坐标进行逆运算来获得 X、Y 和 Z，而不进行测量。

如果它（色彩变换部分 12）不改变色温（在步骤 S5 为否的情况下），根据第一色彩空间和第二色彩空间重新定义第三色彩空间（步骤 S7）。尽管本实施例中的色彩变换部分 12 对视频信号进行变换，以在彩色图像显示部分 13 上再现期望的色彩，试图要通过变换再现的是通过将第一色彩空间的色彩变换为第三色彩空间所获得的色彩，而不是输入视频信号所表示的第一色彩空间自身的色彩。因此，如何利用经色彩变换部分 12 变换的视频来再现视频取决于如何定义第一色彩空间与第三色彩空间之间的关系。在将第一色彩空间划分为多个色彩范围之后执行从第一色彩空间到第三色彩空间的变换，并且第一色彩空间和第三色彩空间在各自的色彩范围上具有不同的关系。在这些色彩范围之中，包括白色的色彩范围在变换前被称为第一色彩空间的第一色彩范围，并且在变换后被称为第三色彩空间的第一色彩范围。位于第一色彩空间的第一色彩范围之外的色彩范围之一包括其色调与被称为第一色彩空间的第二色彩范围的第一色彩空间的至少一种原色的色调相同的色彩。将第一色彩空间的第二色彩范围变换为第三色彩空间的第二色彩范围。

在定义了第三色彩空间时，首先，获得第一色彩空间的白色的三刺激值。尽管由于已经定义了白色的三刺激值，因而可以在本实施例的输入视频信号所遵循的 sRGB 标准的情况下使用定义的值，但是，如果期望在第三色彩空间中再现的白色坐标不同于第一色彩空间的白色坐标，也就是说，例如在期望通过显示设备再现具有不同色温的视频的情况下（在步骤 S5 为是的情况下），则预先重新定义第一色彩空间（步骤 S6）。如果将表示亮度的 Y 的值定义为在白色坐标处的三刺激值中的 100，则可以通过计算获取与不同于原始第一色彩空间的白色坐标的白色坐标相对应的红/绿/蓝的三刺激值，因为第一色彩空间的红/绿/蓝的色度坐标都已知。

可以参照预先通过针对有代表性的白色的色温的计算而获得的三刺激值的表。如果色温改变，则考虑到视觉功能的自适应效应，红/绿/蓝的原色的坐标可以与白色坐标同时重新定义。如果执行了重新定义，则第一色彩空间被重新定义为由重新定义的红/绿/蓝的原色的坐标与白色坐标所定义的色彩空间。

基于第一色彩空间中的红/绿/蓝和白色的坐标，第三色彩空间的第一色彩范围可以通过扩展第一色彩空间进行定义，即，在保持色调的同时增强饱和度。在本描述中，当使用二维平面的色度图考虑色调时，如果将半直线从参考白色坐标扩展到色彩 A 的坐标，并且将色彩 A 变换为半直线上的另一个色彩，假设色调得到了保持。当在三维空间的统一色彩空间中考虑色调时，假设色度在以下情况下保持：当将色彩 A 变换为与亮度（明度）轴水平的、并包括从参考白色坐标引到色彩 A 的坐标的半直线的平面上的色彩时。

在本实施例中的色度图上定义第三色彩空间。如果将新原色的色度坐标定义在色度图上的从第一色彩空间的白色坐标扩展至第一色彩空间的原色的色度坐标的半直线上，则在保持整体色调的同时增强了饱和度。然而，尽管可以简单地保证第三色彩空间的第一色彩范围的三原色的每一个色调与第一色彩空间的三原色的每一个色调相同，然而不需要针对通过以任意比率将各个原色相加而获得的任意中间色彩保持色调。

为了针对第三色彩空间的第一色彩范围的中间色彩的色调来而保持第一色彩空间的色调，可以确定第三色彩空间的第一色彩范围的三原色中的每一个亮度的比率，这样使得通过将第三色彩空间的第一色彩范围的三原色相加而确定的白色坐标与第一色彩空间的白色坐标相同。

图 5 示出了以下示例：其中第三色彩空间的第一色彩范围的三原色的色度坐标被确定为具有与第一色彩空间的原色的色度坐标的色调相同的色调，并且第三色彩空间的第一色彩范围的三原色之中的亮度比率与第一色彩空间的三原色之中的亮度比率相同，以及图 6 示出了以下示例：其中三原色的色度坐标与之前情况的相同，并且确定第三色彩空间的第一色彩范围的三原色之中的亮度比率，以使得第三色彩空间的第一色彩范围中的白色的色度坐标与第一色彩范围中的白色的色度坐标相同。

色度点 210 至 213 在图 5 和 6 中具有相同的色度坐标;色度点 210 表示第一色彩空间的白色坐标；并且色度点 211 至 213 表示在第一色彩空间中适当不同的 RGB 信号所指示的色彩。通过将色度点 210 至 213 的色彩变换到第三色彩空间的第一色彩范围而获得的色彩分别是图 5 中的色度点 230 至 233 以及图 6 中的色度点 250 至 253。在图 6 中，色度点 250 与作为白色坐标的色度点 210 相同。

尽管在不考虑白色坐标的情况下，由于对图 5 中情况下的四个点的所有色彩进行的变换而使得色调改变，从图 6 可以看出，第三色彩空间的第一色彩范围中的色彩与第一色彩空间中的色彩具有相同的色调。尽管在图 5 与 6 中仅示例了一些色彩，只要可以确定白色坐标与第一色彩空间中的白色坐标相同，则这个关系可以适用于所有色彩。

将描述用于在不改变白色坐标而保持三原色的色调的同时增强饱和度的具体方法的示例。假设第一色彩空间中的三原色的三刺激值为$[X_{Ar}, Y_{Ar}, Z_{Ar}]$、$[X_{Ag}, Y_{Ag}, Z_{Ag}]$和$[X_{Ab}, Y_{Ab}, Z_{Ab}]$，并且第一色彩空间中的白色的三刺激值为$[X_{Aw}, Y_{Aw}, Z_{Aw}]$，其为三原色的三刺激值之和。此外还假设第三色彩空间的三原色的三刺激值为$[X_{Br}, Y_{Br}, Z_{Br}]$、$[X_{Bg}, Y_{Bg}, Z_{Bg}]$和$[X_{Bb}, Y_{Bb}, Z_{Bb}]$。如下面 Eq.15 所示，将第一色彩

空间中的三原色的三刺激值与同一常数相乘，并且加上与第一色彩空间中的白色具有相同比率的三刺激值，以确定第三色彩空间的第一色彩范围的三刺激值。

[表达式 14]

$$\begin{pmatrix} X_{Br} \\ Y_{Br} \\ Z_{Br} \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} X_{Ar} \\ Y_{Ar} \\ Z_{Ar} \end{pmatrix} + b_1 \begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_{Bg} \\ Y_{Bg} \\ Z_{Bg} \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} X_{Ag} \\ Y_{Ag} \\ Z_{Ag} \end{pmatrix} + b_2 \begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_{Bb} \\ Y_{Bb} \\ Z_{Bb} \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} X_{Ab} \\ Y_{Ab} \\ Z_{Ab} \end{pmatrix} + b_3 \begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix}$$

...Eq.（15）

结果，第三色彩空间中的三刺激值[X_{B1}，Y_{B1}，Z_{B1}]与任意 RGB 信号[R_1，G_1，B_1]的关系可以表达如下。

[表达式 15]

$$\begin{pmatrix} X_{B1} \\ Y_{B1} \\ Z_{B1} \end{pmatrix} = R_1/255 \begin{pmatrix} X_{Br} \\ Y_{Br} \\ Z_{Br} \end{pmatrix} + G_1/255 \begin{pmatrix} X_{Bg} \\ Y_{Bg} \\ Z_{Bg} \end{pmatrix} + B_1/255 \begin{pmatrix} X_{Bb} \\ Y_{Bb} \\ Z_{Bb} \end{pmatrix}$$

$$= a \cdot \left\{ R_1/255 \begin{pmatrix} X_{Ar} \\ Y_{Ar} \\ Z_{Ar} \end{pmatrix} + G_1/255 \begin{pmatrix} X_{Ag} \\ Y_{Ag} \\ Z_{Ag} \end{pmatrix} + B_1/255 \begin{pmatrix} X_{Ab} \\ Y_{Ab} \\ Z_{Ab} \end{pmatrix} \right\} + \left(b_1 \cdot R_1/255 + b_2 \cdot G_1/255 + b_3 \cdot B_1/255 \right) \begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix}$$

...Eq.（16）

第一色彩空间中的三刺激值[X_{A1}，Y_{A1}，Z_{A1}]与 RGB 信号[R_1，G_1，B_1]的关系可以表达如下。

[表达式 16]

$$\begin{pmatrix} X_{A1} \\ Y_{A1} \\ Z_{A1} \end{pmatrix} = R_1/255 \begin{pmatrix} X_{Ar} \\ Y_{Ar} \\ Z_{Ar} \end{pmatrix} + G_1/255 \begin{pmatrix} X_{Ag} \\ Y_{Ag} \\ Z_{Ag} \end{pmatrix} + B_1/255 \begin{pmatrix} X_{Ab} \\ Y_{Ab} \\ Z_{Ab} \end{pmatrix}$$

...Eq.（17）

从 Eq.16 中获得与表示白色的 RGB 信号[255，255，255]相对应的第三色彩空间的三刺激值[X_{BW}，Y_{BW}，Z_{BW}]，如下所示。

[表达式 17]

$$\begin{pmatrix} X_{Bw} \\ Y_{Bw} \\ Z_{Bw} \end{pmatrix} = a\begin{pmatrix} X_{Ar}+X_{Ag}+X_{Ab} \\ Y_{Ar}+Y_{Ag}+Y_{Ab} \\ Z_{Ar}+Z_{Ag}+Z_{Ab} \end{pmatrix} + (b_1+b_2+b_3)\begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix}$$
$$= (a+b)\begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix} \quad \text{...Eq.（18）}$$

因此，色度坐标不是从第一色彩空间中的白色转变而来的。此外，还定义了满足

[表达式 18]

$$b_1+b_2+b_3=b \quad \text{...Eq.（19）。}$$

因为很明显如果三刺激值乘以常数将不改变色度坐标，并且众所周知的是通过加性地混合两个色彩而创建的色彩的色度坐标位于连接两个相加色彩的色度坐标的线段上的一个点处，所以可以容易地理解的是，如果以白色的比率加上或减去三刺激值，则在不改变色调的情况下可以改变饱和度。假设白色的三刺激值在变换至第三色彩空间的第一色彩范围之后也不会改变，根据 Eq.18 可以获得

[表达式 19]

$$b=1-a \quad \text{...Eq.（20）}$$

因为满足上述关系使得三刺激值的色调针对满足上述 Eq.20 的任意 b_1、b_2、与 b_3 不改变，并且白色的色度坐标不改变，所以可以选择满足 Eq.20 的任意值用于 b_1、b_2 和 b_3。例如，可以使得 $b_1=b_2=b_3$，这

表示分别将相同的三刺激值加到三原色。在另一示例中，为了使得 b_1、b_2 和 b_3 的比率等于第一色彩空间中的三原色的亮度比，可以定义 b_1：b_2：b_3=Y_{Ar}：Y_{Ag}：Y_{Ab}。这意味着

[表达式 20]

$$b_1 = (1-a)\cdot Y_{Ar}/Y_{Aw}$$
$$b_2 = (1-a)\cdot Y_{Ag}/Y_{Aw}$$
$$b_3 = (1-a)\cdot Y_{Ab}/Y_{Aw} \qquad \text{...Eq.（21）}$$

因此，可以如下重写 Eq.15：

[表达式 21]

$$\begin{pmatrix} X_{Br} \\ Y_{Br} \\ Z_{Br} \end{pmatrix} = a\begin{pmatrix} X_{Ar} \\ Y_{Ar} \\ Z_{Ar} \end{pmatrix} + (1-a)\cdot Y_{Ar}/Y_{Aw}\begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} X_{Bg} \\ Y_{Bg} \\ Z_{Bg} \end{pmatrix} = a\begin{pmatrix} X_{Ag} \\ Y_{Ag} \\ Z_{Ag} \end{pmatrix} + (1-a)\cdot Y_{Ag}/Y_{Aw}\begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} X_{Bb} \\ Y_{Bb} \\ Z_{Bb} \end{pmatrix} = a\begin{pmatrix} X_{Ab} \\ Y_{Ab} \\ Z_{Ab} \end{pmatrix} + (1-a)\cdot Y_{Ab}/Y_{Aw}\begin{pmatrix} X_{Aw} \\ Y_{Aw} \\ Z_{Aw} \end{pmatrix} \qquad \text{...Eq.（22）}$$

并且针对 a 的任意值，满足下列方程，

[表达式 22]

$$Y_{Br} = Y_{Ar}$$
$$Y_{Bg} = Y_{Ag}$$
$$Y_{Bb} = Y_{Ab} \qquad \text{...Eq.（23）}$$

并且在第一色彩空间和第三色彩空间的第一色彩范围中的三原色的亮

度变得相等。此外，显而易见的是，如果满足 $Y_{Ar}=Y_{Br}$、$Y_{Ag}=Y_{Bg}$ 和 $Y_{Ab}=Y_{Bb}$，则对于任意的 RGB 信号[R_1、G_1、B_1]，Eq.16 和 Eq.17 的第一行满足 $Y_A=Y_B$。也就是说，如果针对任意的 a（如 Eq.21 中的 a）定义 b_1、b_2 和 b_3，对于第一色彩空间和所有的色彩，可以在第三色彩空间的第一色彩范围中保持色调和亮度。

图 7 是在将第一色彩空间定义为 sRGB、并改变 a 时的第三色彩空间的第一色彩范围中的变化的视图。当确定了 b_1、b_2 和 b_3 之间的关系时，第三色彩空间仅由 a 定义。在图 7 中，300 表示白色坐标，310 表示 a=0.8 时的第三色彩空间的第一色彩范围；320 表示 a=1.0 时的第三色彩空间的第一色彩范围；以及 330 表示 a=1.2 时的第三色彩空间的第一色彩范围。

可以看出，如果 a=1.0，则第三色彩空间的第一色彩范围与第一色彩空间相同，如果 a<1，则第三色彩空间的第一色彩范围与第一色彩空间具有相同的色调，并且整体饱和度较小，以及如果 a>1，则第三色彩空间的第一色彩范围与第一色彩空间具有相同的色调，并且整体饱和度较高。因此，“a”表示饱和度的增强度。可以确定“a”的值，以使得当“a”的值改变时，第三色彩空间的第一色彩范围包括比色度图上的彩色图像显示部分 13 的第二色彩范围更宽的区域。

在定义上述第三色彩空间的第一色彩范围的方法中，因为可以通过只调整一个参数“a”来对第三色彩空间的第一色彩范围进行定义，所以可以很容易改变饱和度的增强度。在不同于只通过计算三刺激值 XYZ 来定义第三色彩空间的第一色彩范围的定义方法中，在 u'v'色度图、xy 色度图（CIE1931 色度图）或诸如 CIE1976*a*b*色彩空间和 CIE1976L*u*v*色彩空间之类的均匀色彩空间中，在连接第一色彩空间的白色坐标与第一色彩空间的三原色的色度坐标的半直线上自由地定义三原色的色度坐标之后，可以确定第三色彩空间的第一色彩范围中的三原色的亮度比率，以使得第三色彩空间的第一色彩范围中的白色的色度坐标与第一色彩空间中的白色的色度坐标相同。

尽管可以将第三色彩空间的第一色彩范围中的原色定义为连接白色色度坐标与三原色的色度坐标的半直线之外的色度坐标处的色彩，

在这种情况下期望第一色彩空间的三原色的主波长与第三色彩空间的三原色的主波长之间的差别在±2nm 范围之间，以便分别对由于三原色的色调的变化所引起的第三色彩空间的第一色彩范围中的所有色彩的色调的变化进行限制。这是因为人通常可以区别最敏感波段中的具有 2nm 差别的主波长的光。

在第三色彩空间的第二色彩范围中，在第三色彩空间的第二色彩范围与第三色彩空间的第一色彩范围之间的边界上保持色彩的连续性的同时，将色调上的变化方向变为与第三色彩空间的第一色彩范围不同的方向。这些在色调上的变化使得第三色彩空间包括比第二色彩空间更大的区域，并且在本实施例的三原色显示设备的情况下，针对表示原色的输入视频信号所显示的色彩朝着显示设备的原始原色变化。通过以这种方式定义第三色彩空间，变换之前的第一色彩空间的色彩上的连续性变化在第三色彩空间中变得连续，并且可以自然地实现更宽的色彩再现范围，而没有由于变换而导致色彩上的突然跳跃。

将对设置第三色彩空间的特定方法进行描述。如果将第三色彩空间的第一色彩范围中的饱和度的增强度设置得太高，则将会体验到不舒服的感觉，尤其在肤色等方面。因此，期望将对饱和度变化敏感的色彩包括在第三色彩空间的第一色彩范围中，并且限制饱和度的增强度。作为通过十个主体的客观评估体验的结果，可以看出优选的第三色彩空间的第一色彩范围是包括白色之外的肤色和蓝色天空和绿色树叶的色彩在内的范围，并且当上述提到的“a”为 1.0 至 1.2 时，第三色彩空间的第一色彩范围中的饱和度的增强度是期望的，也就是说达到细微的增强或没有增强。

当定义第三色彩空间的第一色彩范围时，可以考虑到对记忆色彩的再现而进行校正，例如限制饱和度和增强肤色的亮度。在这种情况下，定义若干个点的坐标来创建具有在这些点之间内插而得的其他点的 LUT 是适当的，这是因为在矩阵运算的情况下在值的连续性上会产生问题。

在第三色彩空间的第二色彩范围的定义上，作为客观评估体验的结果，可以看出，如果饱和度的增强度变得比第三色彩空间的第一色

彩范围的情况下的大，则较少体验到不舒服感，如果逐渐改变色调，则不会体验到显著的不舒服感。由于在初始具有较高饱和度的色彩上这种趋势更明显，因此可以增大饱和度的增强度，并且对于位于第三色彩空间之外的色彩范围，色调的变化更为显著。作为客观估计体验的结果，该客观体验结果通过改变在保留第三色彩空间的第一色彩范围的常数定义的同时改变第三色彩空间的第二色彩范围的定义所创建的 LUT 执行的，可以看出：尽管显示设备的色彩再现域优选地并最终用于关于饱和度进行限制，通过在具有高饱和度的区域中稍微降低亮度可以获得更好的结果；在原色的色调关于该色调变化大约 10nm 的情况下很少出现问题；以及与原色相比，补色中针对色调变化的可接受的值较小。

图 8 和图 9 示出了第一色彩空间和第三色彩空间中的色彩范围的示例。附图标记 400 和 500 表示第一色彩范围，并且第一色彩范围被变换至第三色彩空间，使得在保持第一色彩空间的色调的同时，饱和度稍微增强。附图标记 401 和 501 表示第二色彩范围，在每一个色彩范围中，在逐渐地改变色调并在这个色彩范围与上述第一色彩范围之间的边界处保持色彩的连续性的同时，将第一色彩空间变换至第三色彩空间。

由于第三色彩空间的第二色彩范围需要与邻近的第三色彩空间的第一色彩范围的色彩连续性，象在第三色彩空间的第一色彩范围的情况下，基本上不能通过线性矩阵运算来对视频信号进行变换。这是因为即使原色信号在第一色彩空间的第三色彩范围与第三色彩空间的第二色彩范围之间具有连续性，由于第三色彩空间的第二色彩范围中的原色坐标和原色的亮度比，通过将原色信号加起来所得到的色彩可能变得不连续。这是因为，尽管从白色到原色的色彩上的变化轨迹显然是直线，该轨迹在第三色彩空间中的色彩范围的每一个边界处折叠，因此将原色加起来时的权重在第一色彩空间与第三色彩空间的第二色彩范围之间变化。如果该权重被校正，则即使在第三色彩空间的第二色彩范围中，也可以通过矩阵运算执行变换。

为了校正彩色图像显示部分 13 的γ特性，针对红色/蓝色/绿色，

获取（测量）γ特性（步骤 S8）。如果已知红色/蓝色/绿色的γ特性没有显著的差别，可以不对红色/蓝色/绿色的所有γ特性进行测量，并且可以只测量γ特性。备选地，根据针对彩色图像显示部分 13 设置的γ设置值来执行逆γ变换，而不用执行测量。

图 1 的色彩变换部分 12 基于该步骤之前获得的信息对视频信号进行变换（步骤 S9）。γ变换部分 12a 消除了添加到视频信号的γ特性的影响。然后，视频信号变换部分 12b 将视频信号的 RGB 值变换为第一色彩空间的 XYZ 值，并且进而将 XYZ 值变换为第三色彩空间的 XYZ 值以及用于显示设备的 RGB 值。逆γ变换部分 12c 添加彩色图像显示部分 13 所具有的特性的逆γ特性，并将该值输出给彩色图像显示部分。视频信号变换部分 12b 的内部处理可以合并，以直接根据 RGB 值获得 RGB 值，或者可以创建 LUT，该 LUT 包括添加到色彩变换部分的输入/输出特性的γ变换部分 12a 和逆γ变换部分 12c 的特性。

当如上执行本实施例的色彩变换时，再现被变换至第三色彩空间的第一色彩范围的色彩，同时保持视频信号的色彩空间中的色调，并且通过彩色图像显示单元 13 将第三色彩空间的第二色彩范围中的色彩再现为生动的视频，使得色调根据彩色图像显示单元 13 的色彩再现域连续变化，并且使得饱和度增强。第三色彩空间的色彩范围的划分方法并不局限于上述的划分方法，并且色彩范围之间的边界（边界表面）可以为曲线（曲面）。

接下来将描述第一实施例的修改。尽管将色彩范围划分为图 8 和图 9 所示的第一色彩范围和第二色彩范围，可以将色彩范围划分成更多的色彩范围，以用于变换。图 10 和图 11 示出了将第一色彩空间和第三色彩空间划分为更多色彩范围的情况的示例。第一色彩范围是包括白色在内的色彩范围。第二色彩范围是与第一色彩范围的一部分相邻的、并包括其色调与原色的色调相同的色彩部分的色彩范围。第三色彩范围是与第二色彩范围相邻的、并包括其饱和度比第二色彩范围的饱和度高的色彩的色彩范围，并且第三色彩范围还包括其色调与原色的色调相同的色彩部分。第四色彩范围是与第一色彩范围以及第二色彩范围相邻的色彩范围，并且不包括其色调与原色的色调相同的色

彩部分。第一色彩范围中的一部分特别与第一色彩范围分离，并被定义为第五色彩范围。为了防止由于变换后在色彩范围之间的边界处的色彩上的变化的不连续部分所导致的产生正常情况下不应存在的色彩跳跃，使得色彩上的变化在相邻色彩范围之间的边界处变得连续。

在图 10 和图 11 中，附图标记 410 和 510 表示第一色彩范围，将色彩范围中的每一个变换至第三色彩空间，以在保持第一色彩空间的色调的同时，使得饱和度稍微增强。附图标记 411 至 413 和 511 至 513 表示第二色彩范围，在逐渐改变色调的同时，将该第二色彩范围变换至其饱和度有所增强的第三色彩空间。附图标记 414 至 416 和 514 至 516 表示第三色彩范围，并且在进一步将色调朝着显示设备的原始色调而改变的同时，将该第三色彩范围中的每一个从第一色彩空间变换至其饱和度与第二色彩范围相比有所增强的第三色彩空间。附图标记 417 至 419 和 517 至 519 表示第四色彩范围，将第四色彩范围中的每一个从第一色彩空间变换第三色彩空间，以在保持本实施例的原色中的补色的色调的同时，使得饱和度增强。在第一色彩范围中，分别将 420 和 520 指示的第五色彩范围中的每一个从第一色彩空间变换至第三色彩空间，以使得在保持与周围色彩范围的色彩的连续性的同时，达到与记忆色彩接近的色彩。在本实施例中，通过示例的方法将第一色彩范围定义为肤色的范围，并且相对地增大该色彩范围的亮度，以使得肤色的再现接近于记忆色彩。定义第三色彩空间之后的处理与上述处理相同。

由于第三色彩范围中的饱和度的增强度高于第二色彩范围，与第一实施例中的相比，第二色彩范围中的饱和度的增强度将变得适中。因此，饱和度上的变化差在第一色彩范围与第二色彩范围之间变得适中，并提供了更自然的感受。由于与第四色彩范围中的原色色调相比，补色的色调没有很大的变化，因此在鲜黄色等上将减轻色调的不自然。在第五色彩范围中，通过再现与记忆色彩接近的色彩，可以再现更舒服的肤色。

（第二实施例）

接下来将描述本发明的第二实施例。

本实施例是用于在没有第一实施例中所提及的 LUT 或加权校正的情况下定义第三色彩空间的方法的示例，在这种情况下显示设备的色彩再现域不比第一色彩空间中的大很多，并且显示设备的变换函数可以用矩阵表示。

尽管将第一色彩空间划为多个色彩范围，并且在第一实施例中将每一个色彩范围变换至第三色彩空间，然后将整个第一色彩空间变换为比显示设备的第二色彩空间大的虚拟色彩空间（这里为第四色彩空间），并将第三色彩空间定义为从第四色彩空间变换的色彩空间，以落入本实施例中的第二色彩空间内。

下面将描述定义第三色彩空间的具体方法。

在第一实施例中定义第三色彩空间的第一色彩范围的计算中，第四色彩空间由 $b_1=b_2=b_3$ 和 a=1.18 定义。在图 12 所示的 $u'v'$色度图中，附图标记 600 表示白色坐标；610 表示作为第一色彩空间的 sRGB 空间；620 表示彩色图像显示部分 13 的第二色彩空间；以及 630 表示在保持 sRGB 空间的色调的同时其饱和度增强的第四色彩空间。假设第四色彩空间的原色的三刺激值为$[X'_r、Y'_r、Z'_r]$、$[X'_g、Y'_g、Z'_g]$和$[X'_b、Y'_b、Z'_b]$。显示设备的传递函数可以在忽略噪声成分的情况下通过 EQ.13 来表示。结果，显示任意三刺激值所必需的 RGB 值计算函数 S 是具有 3 行 3 列的传递函数 T 的逆矩阵，并根据 Eq.24 定义变换矩阵 C，用以将输入视频信号变换为用于利用彩色图像显示部分 13 再现第四色彩空间的三刺激值的视频信号。

[表达式 23]

$$\mathbf{C}=\left[\mathbf{T}^{-1}\begin{pmatrix} X'_r & X'_g & X'_b \\ Y'_r & Y'_g & Y'_b \\ Z'_r & Z'_g & Z'_b \end{pmatrix}\right]^{-1} \quad \ldots \text{Eq.（24）}$$

Eq.25 是实际获得的变换矩阵 C 的示例。

[表达式 24]

$$\mathbf{C}=\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0.664 & 0.358 & -0.051 \\ 0.002 & 1.013 & 0.009 \\ -0.055 & -0.047 & 1.235 \end{pmatrix} \quad \text{...Eq.（25）}$$

然而，即使使用这个矩阵对 RGB 信号进行变换，变换后的信号也不会落入 RGB 信号的有效范围内。实际上，在对 RGB 信号[R、G、B]=[255、255、255]进行变换时，变换后的 RGB 信号是包括大于 255 的数值的[R'、G'、B']=[248、256、289]。这是因为在第四色彩空间与第二色彩空间之间没有执行亮度的归一化，并且期望执行该归一化以避免色彩变换之后的亮度的饱和。如下执行归一化。关于变换矩阵 C，当将变换矩阵与同一常数（$1/C_m$）相乘，以使得每一行的正元素之和的最大数值不超过 1 时，将上述变换矩阵 C 归一化为 Eq.26 中的变换矩阵 $C_{normalized}$。由于当最大值取自每一行的正要素之和中的最大值时，亮度在不使亮度达到饱和的范围内达到最大值，所以期望确定常数（$1/C_m$），以使得该值变为 1。

[表达式 25]

$$\mathbf{C}_{normalized}=(1/C_m)\mathbf{C}=\begin{pmatrix} C'_{11} & C'_{12} & C'_{13} \\ C'_{21} & C'_{22} & C'_{23} \\ C'_{31} & C'_{32} & C'_{33} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0.538 & 0.290 & -0.041 \\ 0.001 & 0.820 & -0.008 \\ -0.044 & -0.038 & 1.000 \end{pmatrix}$$

...Eq.（26）

结果，对于输入视频信号的有效范围内的任意 RGB 值来说变换后的 RGB 值不超过 255，即 0 至 255 的范围，并且可以避免亮度的饱和。

在避免色彩变换后的亮度饱和的另一个方法中，如果变换后的 RGB 信号中的至少一个值超过了 255，则用 255 替换这个值。

由于第四色彩空间被定义为比第二色彩空间大，在矩阵的要素中将包括一个或更多个负值，例如，如果对 RGB 信号[R、G、B]=[0、0、255]进行变换，则产生[R、G、B]=[-11、-2、255]，并且由于包括了负

值，则将不满足标准 RGB 信号的规范。如果变换后的视频信号中包括负值，则这相当于在彩色图像显示部分 13 的色彩再现域之外显示色彩，并且该色彩不可显示。该不可显示的色彩范围由图 12 中的 640 表示。

例如，将执行下述方法来处理这些负值。

当变换后产生负值时，针对负值的最简单的处理是用 0 代替负值。结果，原本应该变换至色彩再现域之外的色彩以如下方法进行变换：好象该色彩粘附于色彩再现域的边界表面。尽管在彩色图像显示部分 13 的再现域之外的区域中丢失了一部分色彩信息，并且由于该处理显示了不同的色彩，由于响应于 RGB 信号值的变化色调被粗略地校正并连续地改变，则这一处理对于简化的测量是有效的。

在本实施例中，包括在第二色彩空间中的第四色彩空间的范围与第三色彩空间的第一色彩范围相对应，并且第三色彩空间的第二色彩范围与通过对超过第二色彩空间中的第二色彩范围的第四色彩空间的范围中的色彩进行校正而获得的色彩相对应。第三色彩空间的原色色调最终如图 13 所示地定义，在保持第三色彩空间的第一色彩范围中的色调的同时，增强了饱和度，色调在第三色彩空间的第二色彩范围中连续变化，并且可以看出，可以使用如 650 所示的较宽的范围，尽管该较宽的范围并非显示设备的整个色彩再现范围。

上述实施例包括下述特征。

第一特征提供了色彩变换设备，该变换设备使用输入视频信号所具有的第一色彩空间的色彩再现域的信息和彩色图像显示设备所具有的第二色彩空间的色彩再现域的信息，在保持第一色彩空间的色调的同时，将第一色彩空间的色彩变换为与第一色彩空间不同的第三色彩空间，其中将第一色彩空间的至少一个色彩变换为位于第二色彩空间之外的第三色彩空间内的色彩。

第二特征是第一特征的色彩变换设备，其中构成第三色彩空间的三原色的色度坐标位于连接白色坐标与第一色彩空间的三原色的色度坐标的半直线上。

第三特征是第一或第二特征的色彩变换设备，其中确定第三色彩

空间的三原色的亮度比率，以使得第三色彩空间的白色坐标与第一色彩空间的白色坐标相同。

第四特征是第一至第三特征中的任一特征的色彩变换设备，其中通过改变表示饱和度的增强度的参数来定义第三色彩空间的色彩再现域。

第五特征是第一至第四特征中的任一特征的色彩变换设备，包括视频信号变换部分，用于将输入视频信号所具有的第一色彩空间的色彩变换至第三色彩空间，以及用于将输入视频信号变换至输出视频信号，以利用彩色图像显示设备再现第三色彩空间中的色彩。

第六特征是第五特征的色彩变换设备，其中视频信号变换部分使用至少一个变换矩阵来执行将输入视频信号变换为输出视频信号的运算，使用彩色图像显示设备特有的传递函数和第三色彩空间的三原色所具有的三刺激值来产生变换矩阵，并使该变换矩阵乘以常数，以使得输出视频信号不超过视频信号的有效最大值。

第七特征是第六特征的色彩变换设备，其中如果将输出视频信号的至少一个值变换为负值，则执行用零代替负值的处理来校正第三色彩空间，以使得第三色彩空间落入利用显示设备可再现的范围内。

第八特征是第五特征的色彩变换设备，其中如果输出视频信号的至少一个值超过视频信号的有效最大值，则用最大值代替该值来校正第三色彩空间，以使得第三色彩空间落入利用显示设备可再现的范围内。

第九特征是第八特征的色彩变换设备，其中如果将输出视频信号的至少一个值变换为负值，则用零代替该负值来校正第三色彩空间，以使得第三色彩空间落入利用显示设备可再现的范围内。

第十特征是第五特征的色彩变换设备，该色彩变换设备包括根据输入视频信号执行γ变换的γ变换部分和根据彩色图像显示设备的γ特性执行逆γ变换的逆γ变换部分，其中以γ变换部分、视频信号变换部分和逆γ变换部分的顺序来执行处理。

第十一特征是包括具有第一至第十特征之中的任一特征的色彩变换设备的彩色图像显示设备。

（第三实施例）

接下来将描述本发明的第三实施例。

在第二实施例中，Eq.26 的每一行的正要素之和表示变换之前的发光是变换后的红/蓝/绿 LED 的最大发光的倍数。因此，对于每一个 LED，期望每一个和为 1。因为在 Eq.26 中与红色相对应的第一行的和为 0.828，在本示例中，针对任意输入视频信号的红色和绿色的变换之后将不会出现大于 0.828×255 的值，并且彩色图像显示部分 13 的动态范围变窄。通过分别改变 LED 的最大发光量，可以使得每一行中的正值之和接近 1，以扩展动态范围。

如果增大 LED 驱动电流以增大发光量，则当显示某一个色彩时，与 LED 相对应的色彩的信号值可能减小。因此，LED 发光量的增大通常会减少与 LED 的色彩相对应的行数，相反地，LED 发光量的减小通常会增加与 LED 的色彩相对应的行数。因为 LED 的色度坐标的变化在具有足够大于阈值电流的驱动电流的区域内很小，所以色度坐标的变化几乎可以忽略，并且可以通过分别改变 LED 发光量和针对红色/蓝色/绿色中的各个原色的变换矩阵的相应行中的要素来达到相同的效果。可以很容易地理解，获取相同结果所必需的 LED 发光量与变换矩阵中与 LED 相对应的行中的要素成反比。因此，可以在每一要素大于 1 的范围内，使每一行的和很容易地接近 1，而不用执行对三刺激值的重新测量或者执行对第二色彩空间和第三色彩空间的定义。因为在红色/蓝色/绿色之中绿色对亮度的贡献最大，所以可以将绿色行中的要素的值或绿色行之和定义为最大值，并且可以调整红色和蓝色的 LED 发光量，以使得在不大于最大值的范围内增大红色和蓝色行中的要素以及和。

Eq.27 是在如上所示对彩色图像显示部分 13 的 LED 驱动电流进行优化后归一化的变换矩阵。在这种情况下，绿色 LED 的发光量没有改变，并且红色 LED 的发光量和蓝色 LED 的发光量分别增大了 1.015 和 1.204 倍。

[表达式 26]

$$\mathbf{C}_{optimized}=\begin{pmatrix} C''_{11} & C''_{12} & C''_{13} \\ C''_{21} & C''_{22} & C''_{23} \\ C''_{31} & C''_{32} & C''_{33} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0.646 & 0.354 & -0.049 \\ 0.002 & 0.998 & -0.009 \\ -0.045 & -0.041 & 1.000 \end{pmatrix}$$

...Eq.（27）

结果，红色被最大化为输入视频信号[R、G、B]=[255、255、0]处的 255；绿色被最大化为输入视频信号[R、G、B]=[255、255、0]处的 255；蓝色被最大化为输入视频信号[R、G、B]=[0、0、255]处的 255；并且可以看出更宽的动态范围变得可用。尽管绿色 LED 的发光量在这里没有改变，但是固定 LED 可能是另一种色彩，或者所有 LED 的发光量得到了改变。

可以利用彩色图像显示设备部分 13 的更宽的动态范围，并且可以在使得第二实施例的效果保持有效的情况下改进分级特性。

尽管图 1 所示的彩色图像显示部分 13 是使用 DMD（数字微镜设备，注册商标）作为图 2 中的空间光调制器 28 的单板式 DLP 投影仪，然而彩色图像显示部分 13 可以是对每一个 LED 使用一个 DMD 的三板式 DLP 投影仪或针对三原色中的每一个配备有多个 LED 和 DMD 的 DLP 投影仪，或者可以用作空间光调制器 28 的液晶设备。光源可以为替代 LED 的激光或者使用具有高色纯度的色轮的高压汞灯。即使在使用具有高色纯度的滤色器的液晶显示器、在调制激光器的发光强度的同时通过扫描屏幕形成视频的激光投影仪、或者通过全息图使用衍射形成视频的投影仪的情况下，只要彩色图像显示设备使用具有可以分解为三个原色成分的视频色彩信息的视频信号，来根据视频信号的三原色成分的信号值发出彩色图像显示设备的三原色的光，本发明很明显地可应用。

即使在使用四个或更多原色的多原色视频信号和使用四个或更多原色的多原色图像形成装置的情况下，因为只有在获得注入输入视频信号表示的 XYZ 之类的色彩规范（specification）值以及在获得用于在第三色彩空间中显示色彩规范值的视频信号时过程才改变，所以本发明的效果是可直接应用的。

尽管在上述实施例中所描述的示例中针对所有 RGB 信号值执行了从 0 至 255 的八比特量化，然而本发明的所有效果当然也可用。

尽管在上述描述中输入视频信号是 RGB 信号，但是只要可以象色差信号的情况那样通过适当操作来将视频信号变换为 RGB 信号，本发明的效果显然是可用的。

第一色彩空间和第三色彩空间中的色彩范围的数目和划分方法并不局限于如本说明书中的实施例所描述的那些，色彩空间可以划分为不同的色彩范围或更多的色彩范围以执行不同的处理，或者在本实施例的示例中所描述的色彩空间之间可以存在另外的色彩空间。可以增加色彩范围的数目，以使得色调以曲线方式变化。

如上所述，根据本发明，由于色调和视频信号的色彩空间中的饱和度的变化度是根据色彩范围而连续变化的，可以再现对色调和饱和度变化敏感的色彩范围，以近似视频信号的原始色彩的再现，并且可以以增强的饱和度将其他色彩再现为生动的视频。因此，可以在解决在宽色彩域显示设备中产生的不自然色彩的问题的同时，使用更宽的色彩再现域。

由于针对彩色图像显示设备所特有的特性的校正是分别针对γ特性和传递函数所表示的信号传递特性而执行的，因而可以象彩色图像显示设备所预期地那样对色彩进行再现。由于取决于视频信号的γ变换、彩色图像显示设备所特有的传递函数的校正、以及取决于彩色图像显示设备的γ特性的逆γ变换是按照这一顺序执行的，如果彩色图像显示设备具有与预期的γ特性不同的特性，则可以以高精度再现预期的色彩。

由于三原色的新色度坐标是在连接白色色度坐标与视频信号的三原色的色度坐标的半直线上定义的，因而可以很容易地利用扩展的色彩再现域来定义第三色彩空间的第一色彩范围，而不用改变色调。

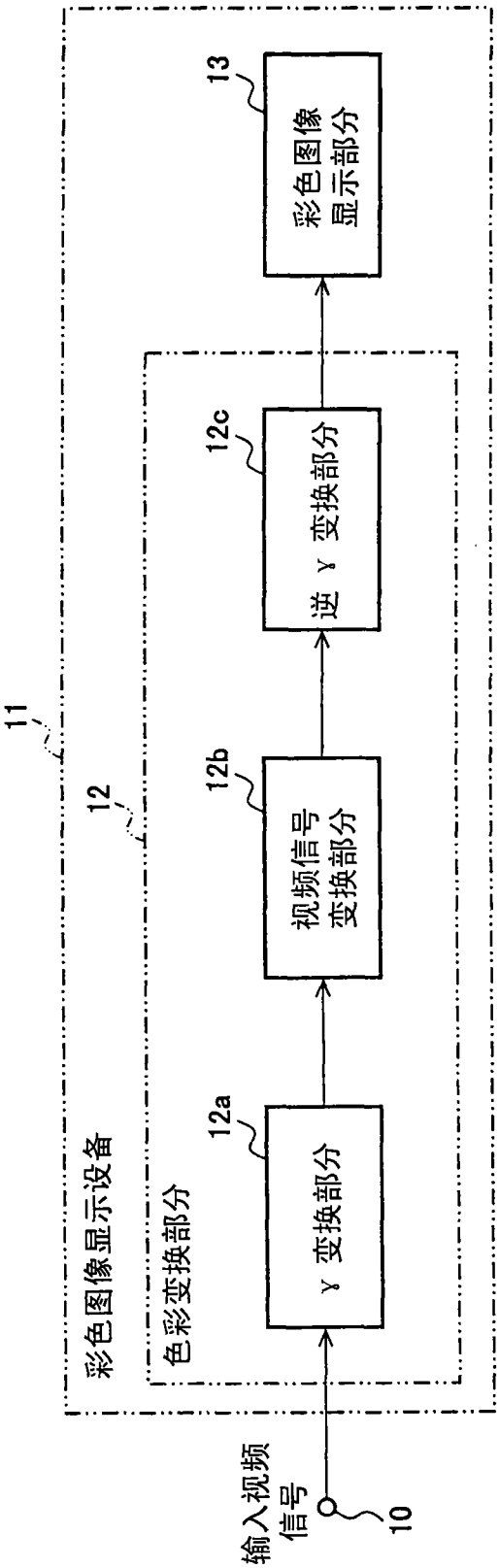

彩色图像显示设备
11
色彩变换部分
12
Y 变换部分
12a
视频信号
变换部分
12b
逆 Y 变换部分
12c
彩色图像
显示部分
13
输入视频
信号
10

图 1

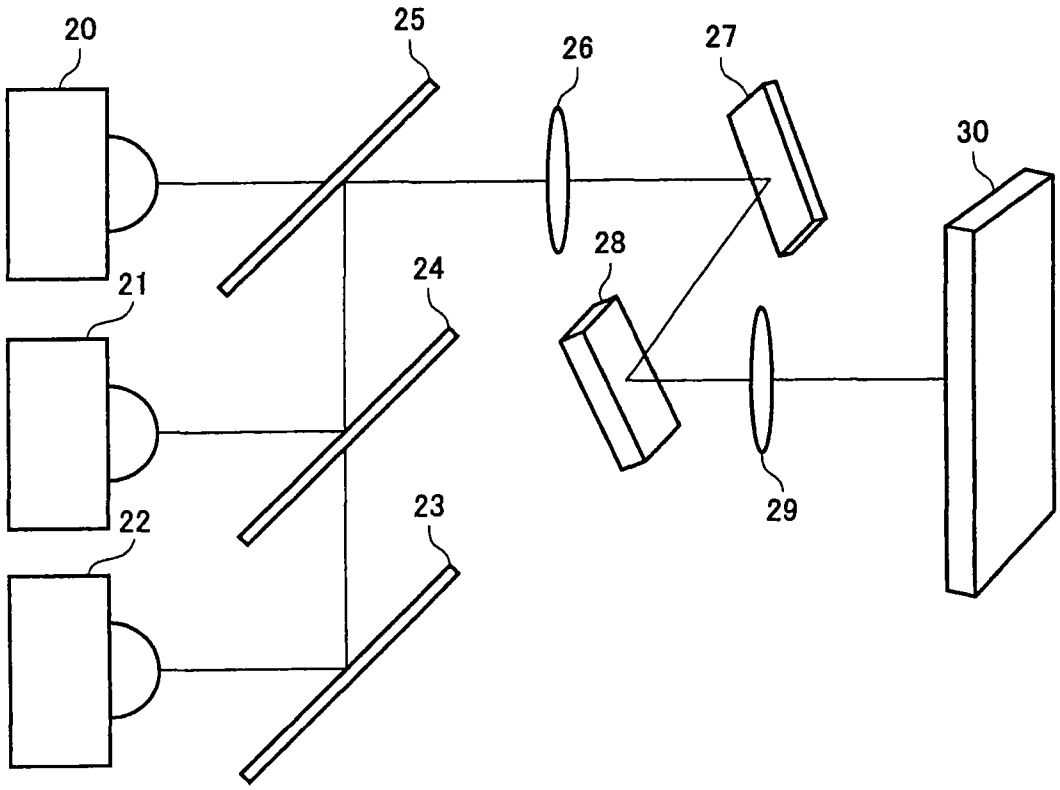


图 2

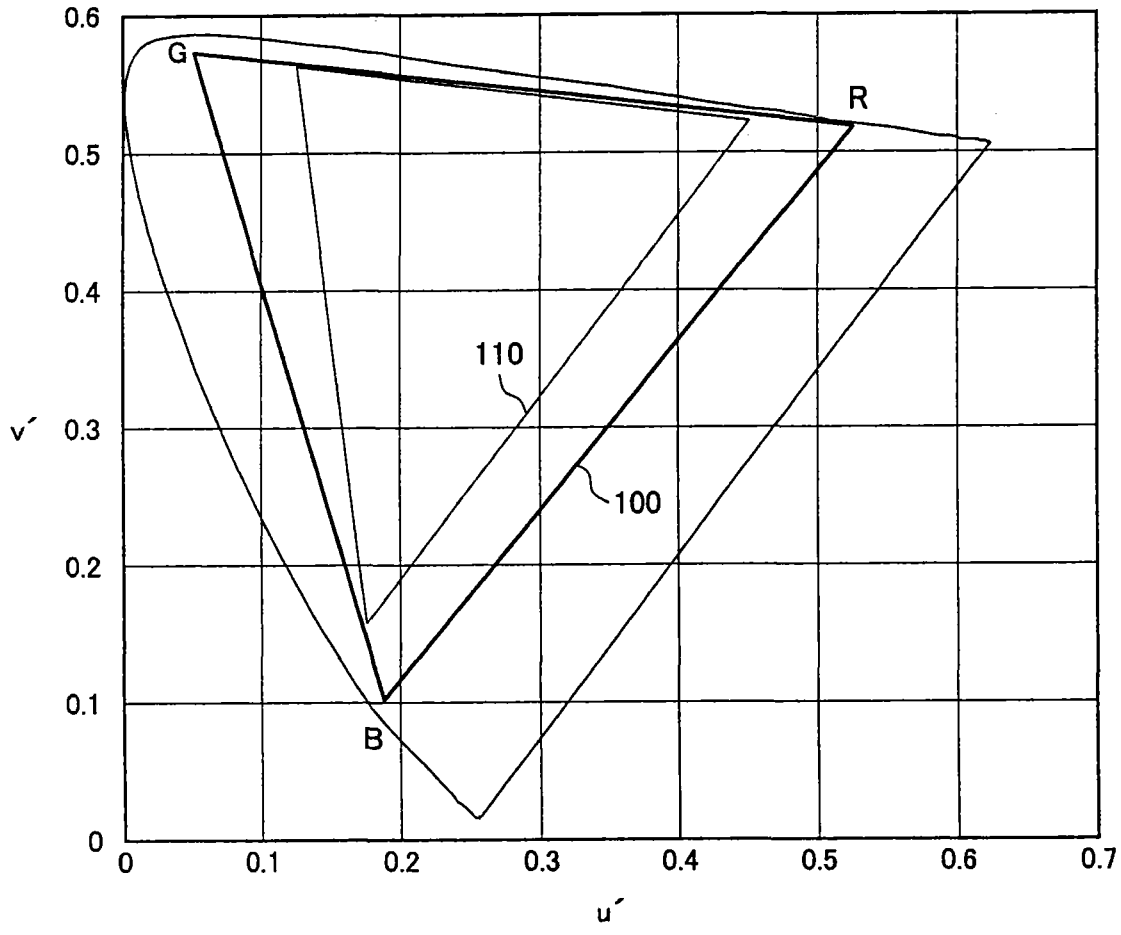


图 3

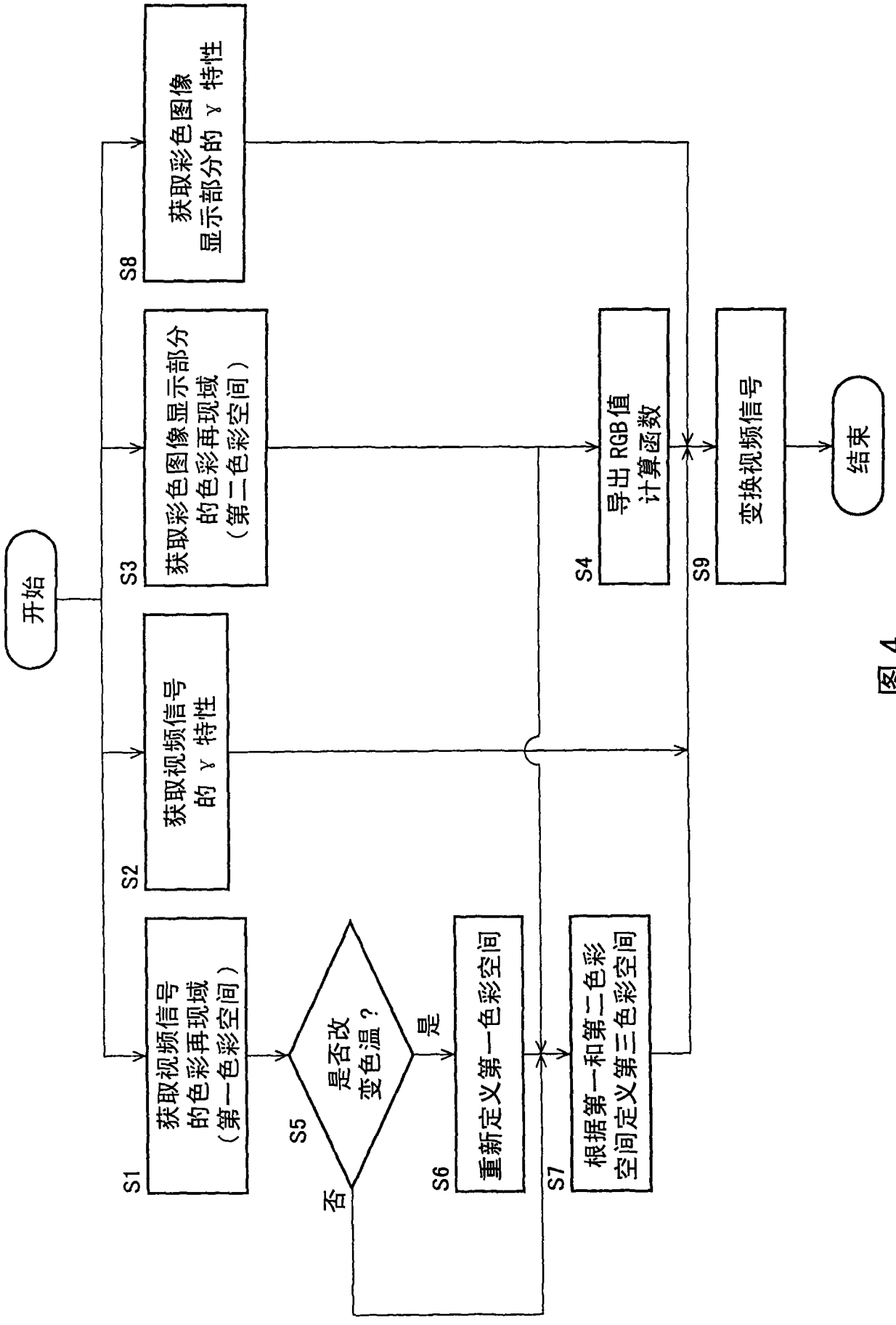

开始
S1
获取视频信号
的色彩再现域
（第一色彩空间）
S2
获取视频信号
的 γ 特性
S3
获取彩色图像显示部分
的色彩再现域
（第二色彩空间）
S4
导出 RGB值
计算函数
S5
是否改
变色温？
是
否
S6
重新定义第一色彩空间
S7
根据第一和第二色彩
空间定义第三色彩空间
S8
获取彩色图像
显示部分的 γ 特性
S9
变换视频信号
结束

图 4

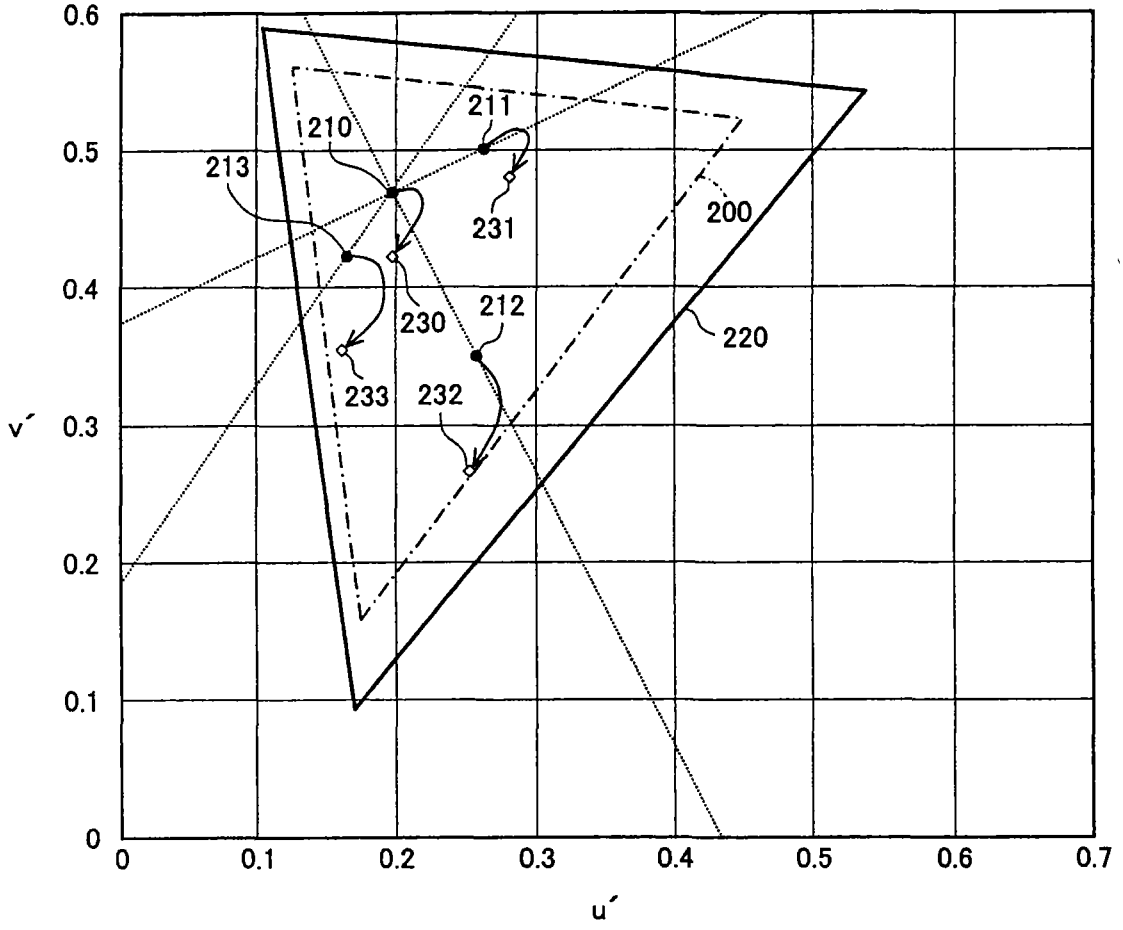

0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
v´
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
u´
210
211
212
213
230
231
232
233
200
220

图 5

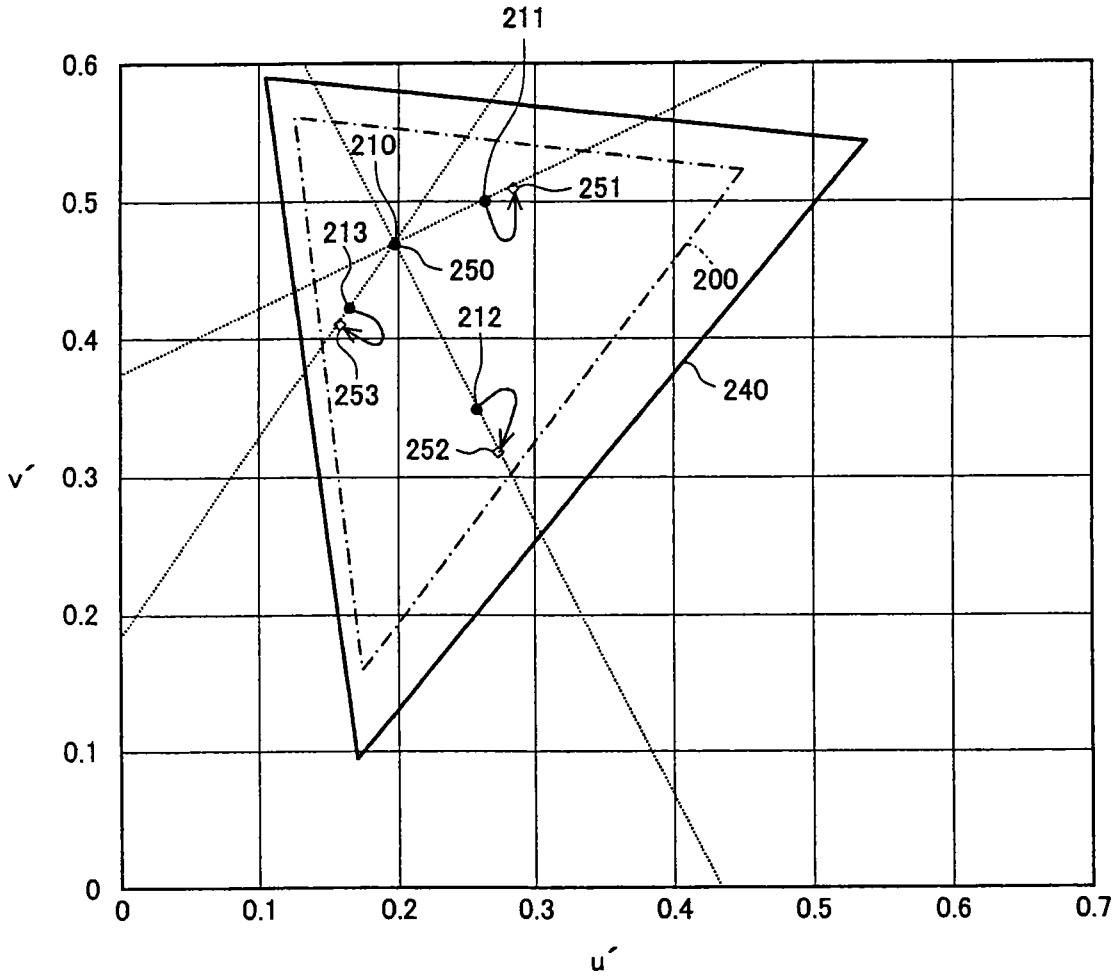

211
210
251
213
250
200
212
253
240
252
v´
u´
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7

图 6

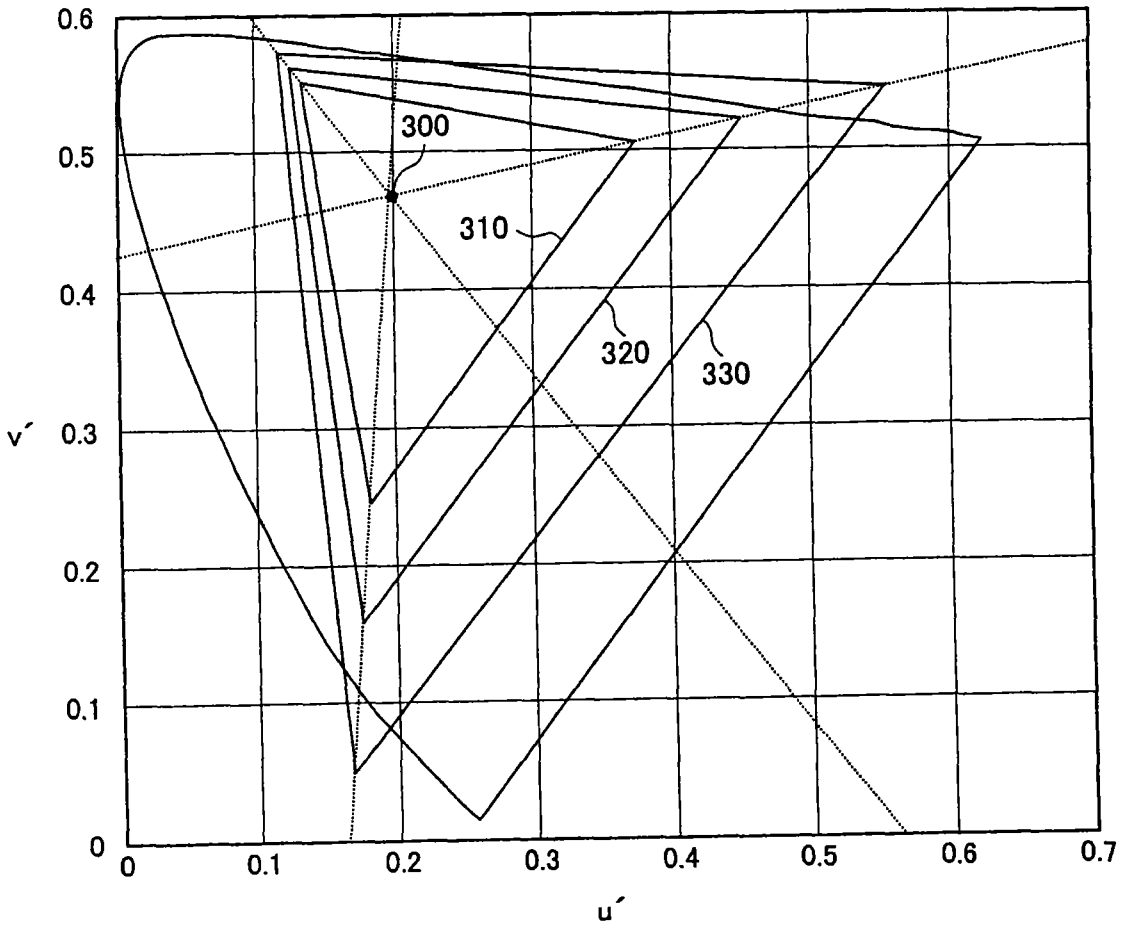


图 7

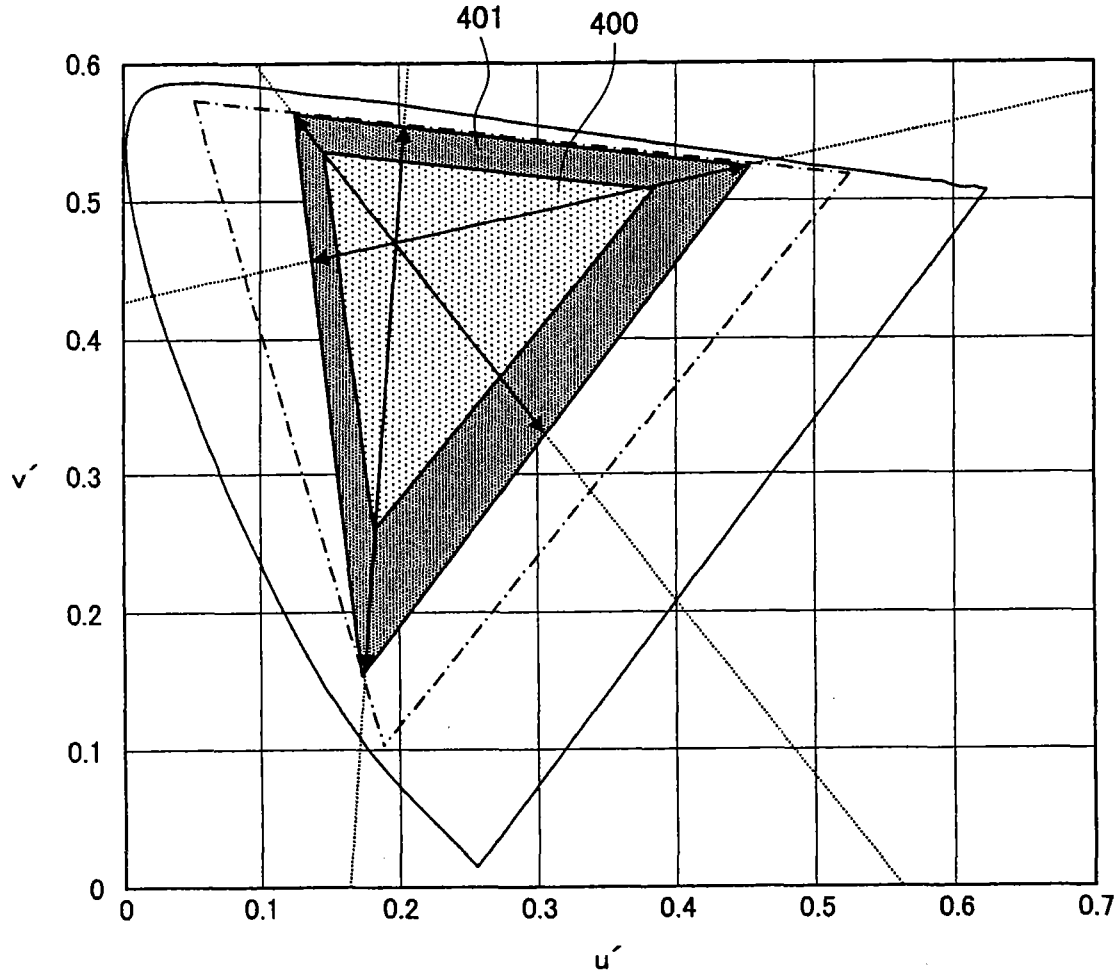


图 8

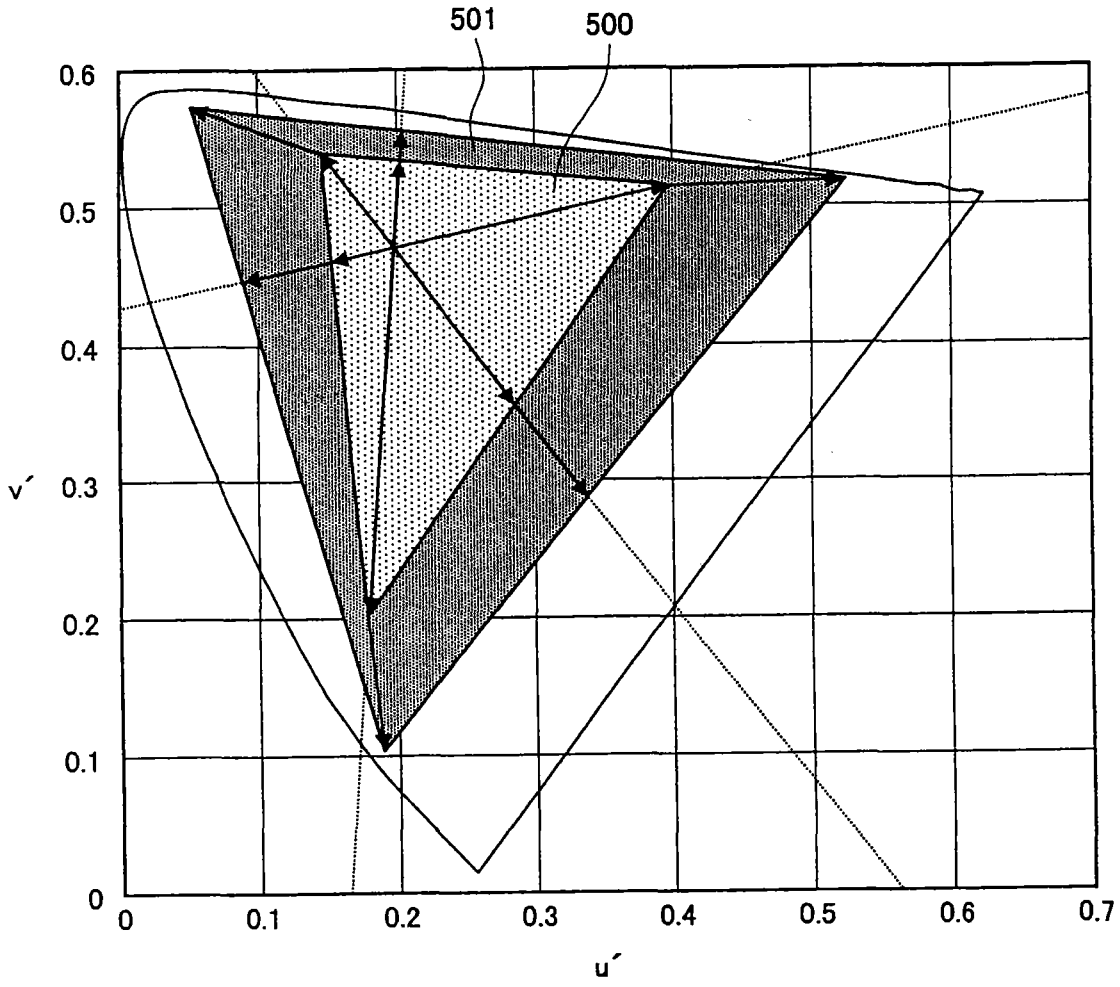


图 9

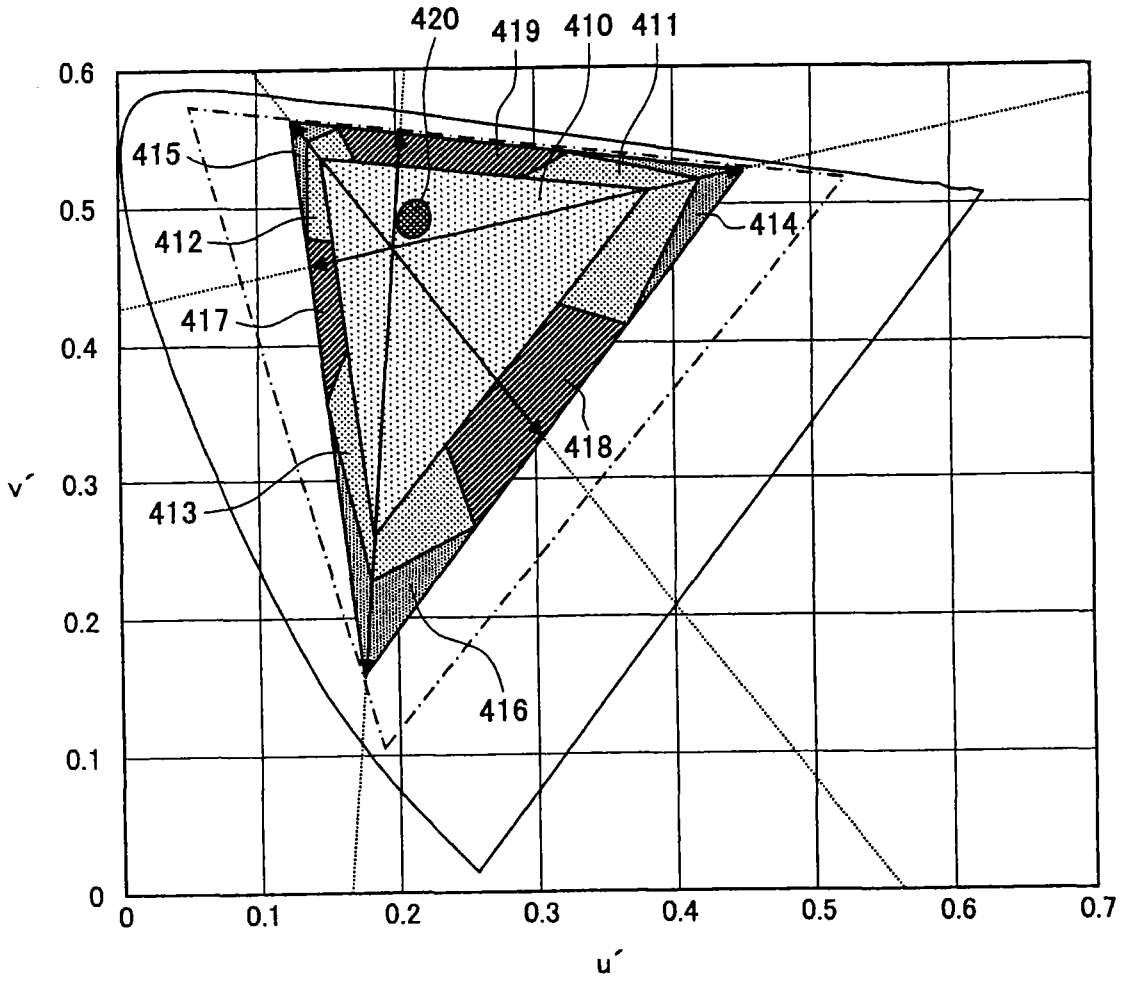

420
419
410
411
415
412
417
414
418
413
416
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
v´
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
u´

图 10

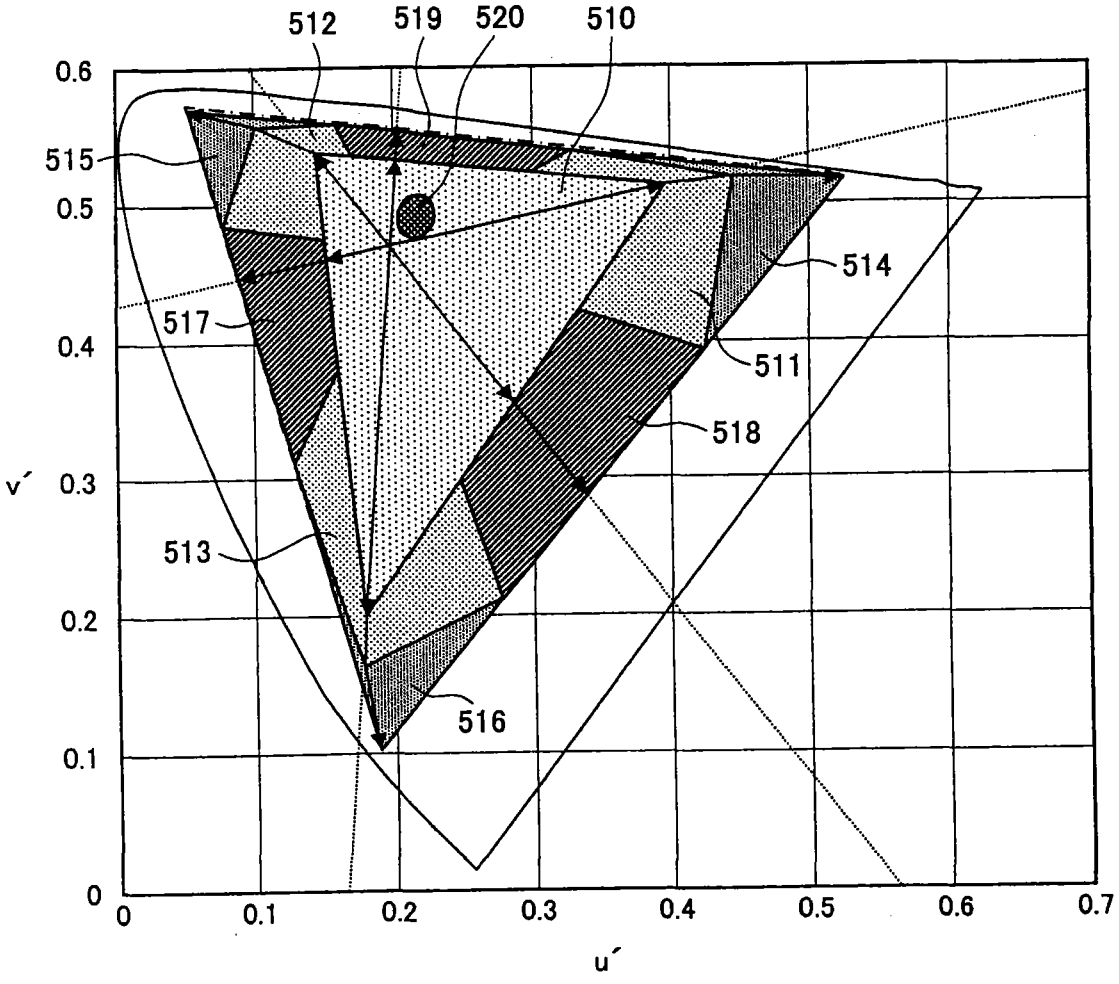

512
519
520
510
515
514
517
511
518
513
516
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
v´
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
u´

图 11

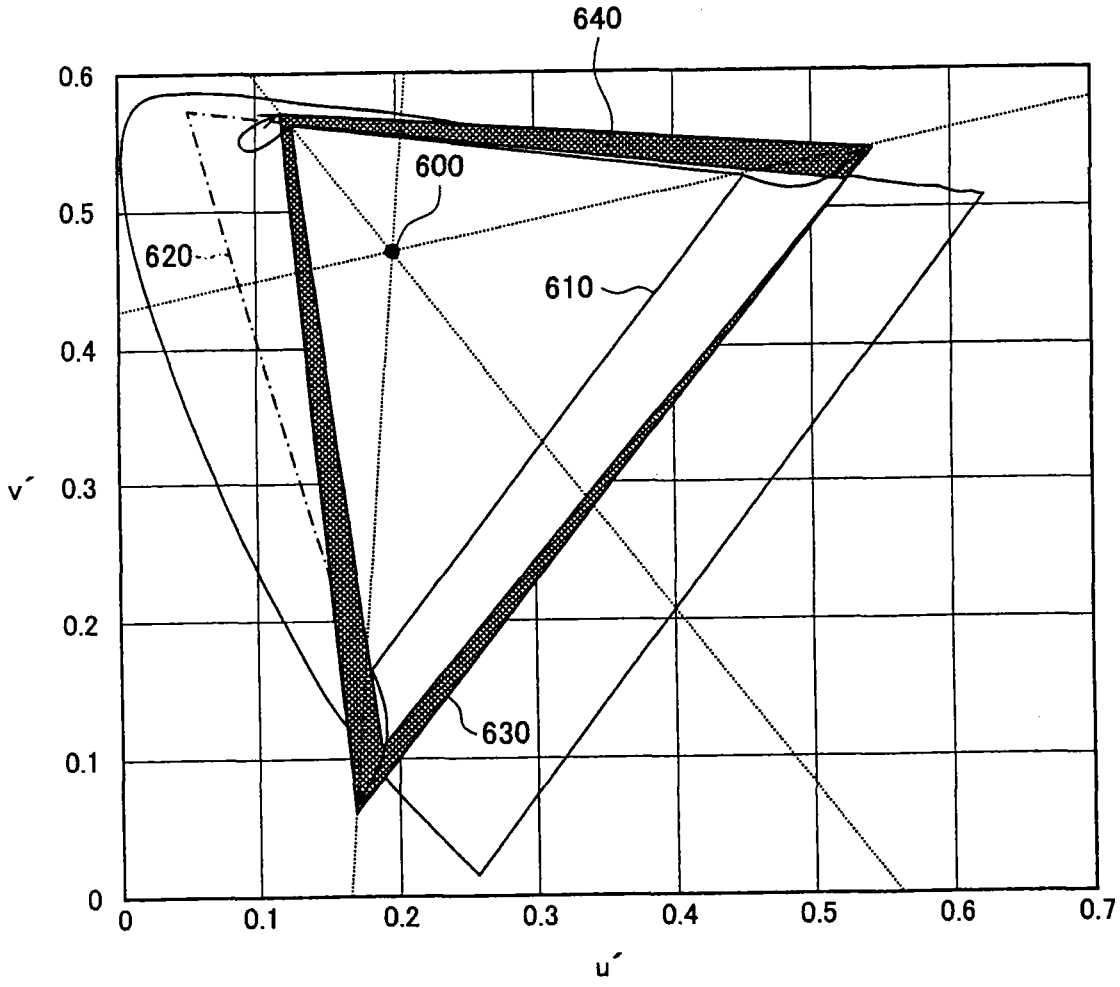


图 12

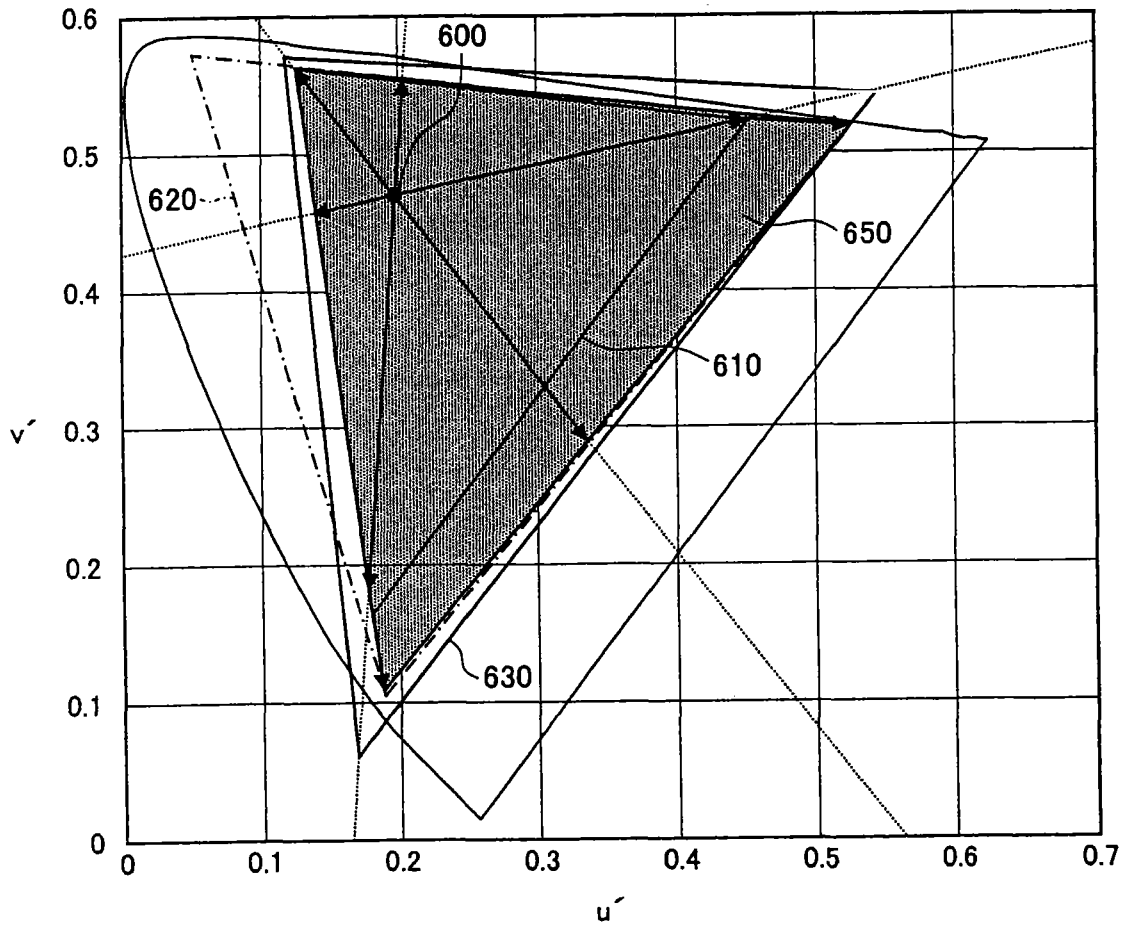


图 13

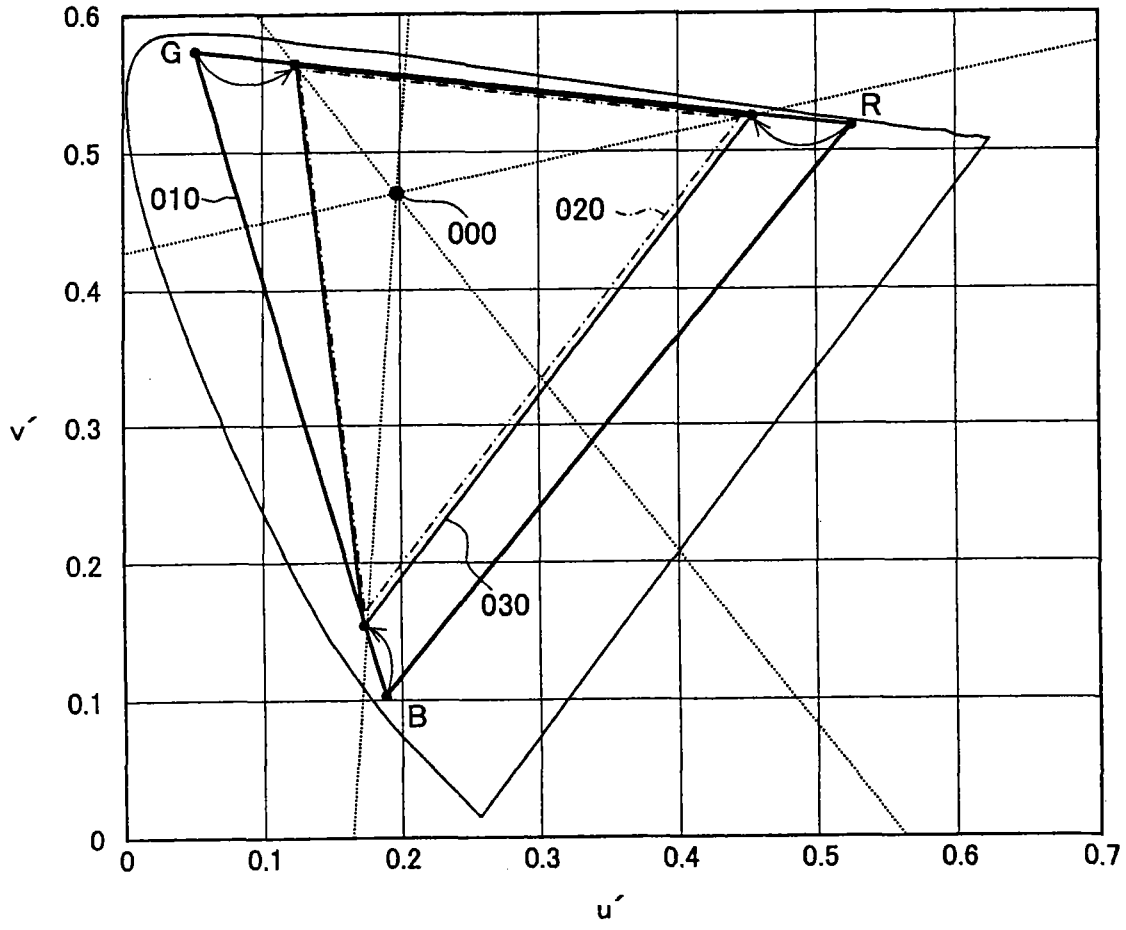


图 14