



(10) **DE 10 2013 004 213 A1** 2014.09.18

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 004 213.5**
(22) Anmeldetag: **12.03.2013**
(43) Offenlegungstag: **18.09.2014**

(51) Int Cl.: **G01J 3/46 (2006.01)**
G01B 11/24 (2006.01)
G01J 3/28 (2006.01)
H04N 9/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Display-Messtechnik & Systeme GmbH & Co. KG,
76135 Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:
Becker, Michael, Dr., 76135 Karlsruhe, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	11 2005 001 206	T5
JP	2002- 156 680	A
JP	2009- 260 411	A
JP	2008- 206 014	A
JP	2011- 029 858	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Bildgebendes Farbmessgerät mit hoher Genauigkeit**

(57) Zusammenfassung: Digitale Farbkameras nach dem Stand der Technik basieren auf einem Satz von Farbsensoren, deren tatsächliche spektrale Empfindlichkeiten nicht der idealen Forderung nach Ableitung durch Linearkombination aus den Spektralwertfunktionen entsprechen. Solche Kameras werden herstellerseitig so kalibriert, dass zunächst aus den gerätespezifischen Farbsignalen, die sich mit den nichtidealen Filterverläufen ergeben, über eine Matrix zunächst die geräteunabhängigen Farbwerte R, G und B gemäß IEC 61966-2-1 (sRGB Farbraum) bestimmt werden. Bei dieser Kalibration wird üblicherweise die Lichtart D65 (Tageslicht) als Beleuchtung und Weiß-referenz verwendet; die Kalibration erfolgt mit dem Ziel, den durch die Nichtidealität der spektralen Empfindlichkeiten der RGB-Sensoren entstehenden Fehler für eine große Anzahl von Farbmustern minimal zu gestalten. Die Umrechnung der sRGB-Farbwerte in die Farbwerte X, Y und Z nach CIE 1931 erfolgt dann über eine Matrixmultiplikation nach Vorgaben der Norm. Wird jedoch eine Messung bei Glühlampenlicht (Lichtart A) oder unter Beleuchtung mit Leuchtstoffröhren (Lichtarten F) mit einer von der Lichtart D65 abweichenden spektralen Verteilung vorgenommen, so entste-

hen durch deren Faltung mit den nichtidealen Sensorcharakteristiken Fehler in der ermittelten Leuchtdichte und in den Farben, die nicht durch einen nachträglichen Weißabgleich korrigiert werden können.

Zur Minimierung der beschriebenen Fehler bei der bildgebenden Messung von Leuchtdichte und Farbe mit digitalen Spiegelreflexkameras erfolgt erfindungsgemäß:

1. eine Korrektur der Aufnahme der Kamera durch Matrixierung basierend auf der zeitnah erfolgenden qualitativ hochwertigen spektroradiometrischen Ermittlung der Farbart der Szene, vorzugsweise durch die Optik der Kamera;
2. eine Kalibration des beschriebenen Farbmessgeräts, bestehend aus einer Kombination von Spiegelreflexkamera und Spektroradiometer, auf drei oder vier Farben eines zu messenden elektronischen Bildschirms nach dem bekannten Vierfarbverfahren von Y. Ohno;
3. Außerdem erfolgt bei der Messung von elektro-optischen Bildschirmen die Umwandlung des vorliegenden linear polarisierten in zirkular polarisiertes Licht um dadurch polarisationsbedingte Fehler im beschriebenen Messgerät zu vermeiden.

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Digitale Kameras nach dem Stand der Technik basieren auf einem Satz von Farbsensoren (meist R, G, B), dessen tatsächliche spektrale Empfindlichkeit nicht der idealen Forderung nach Ableitung durch Linearkombination aus den Spektralwertfunktionen entspricht. Solche Kameras werden herstellerseitig so kalibriert, dass aus den gerätespezifischen Farbsignalen R^* , G^* und B^* , die sich mit den nichtidealen Filterverläufen ergeben, über eine Matrix zunächst die geräteunabhängigen Farbwerte R, G und B gemäß IEC 61966-2-1 (sRGB Farbraum) bestimmt werden. Bei dieser Kalibration (d. h. Ermittlung der Transformationsmatrix) wird üblicherweise die Lichtart D65 (Tageslicht) als Beleuchtung und Weißreferenz verwendet; die Kalibration erfolgt mit dem Ziel, den durch die Nichtidealität der spektralen Empfindlichkeiten der RGB-Sensoren entstehenden Fehler für eine große Anzahl von Farbmuster minimal zu gestalten. Die Umrechnung der sRGB-Farbwerte in die Farbwerte X, Y und Z nach CIE 1931 erfolgt dann über eine Matrixmultiplikation nach Vorgaben der Norm. Wird dann eine Messung bei Glühlampenlicht (Lichtart A) oder unter Beleuchtung mit Leuchtstoffröhren (Lichtarten F) mit einer von der Lichtart D65 abweichenden spektralen Verteilung vorgenommen, so entstehen durch deren Faltung mit den nichtidealen Sensorcharakteristiken Fehler in der ermittelten Leuchtdichte und in den Farben.

[0002] Zur Minimierung der beschriebenen Fehler bei der bildgebenden Messung von Leuchtdichte und Farbe erfolgt erfindungsgemäß:

- 1 eine Korrektur des Weißabgleichs der Aufnahme der Kamera durch Vergleich mit der spektrometrischen Ermittlung der Farbart der Szene bei einer spezifischen, von D65 (Tageslichtart) abweichenden, Beleuchtung;
- 2 die spektrometrische Kalibration des Farbmessgeräts auf drei oder vier Farben eines zu messenden elektronischen Bildschirms nach dem von Ohno angegebenen Verfahren;
- 3 die Umwandlung von linear in zirkular polarisiertes Licht.

Apparative Realisierung der Erfindung

[0003] Als Basis für das hier beschriebene Farbmessgerät mit hoher Genauigkeit dient eine digitale Kamera mit Bildauskopplung aus dem Abbildungsstrahlengang (z. B. durch Strahlteiler, Klappspiegel, usw.), die mit einem Spektrometer kombiniert wird. Wenn im Fall der Spiegelreflexkamera der Spiegel sich in 45-Grad-Stellung befindet, wird Licht von dem Messobjekt bzw. der zu messenden Szene durch das Objektiv in das Okular der Kamera gespiegelt. Am Okular wird eine Vorrichtung angebracht, die

das von der aufgenommenen Szene kommende Licht in ein Lichtleiterbündel einkoppelt und durch dieses zum Eingangsspalt eines Spektroradiometers geführt wird. Dort wird das von der Szene ausgehende Licht spektral analysiert und die Farbwerte X_S , Y_S und Z_S mit hoher Genauigkeit (d. h. durch das Messprinzip bedingt mit geringer Messunsicherheit) ermittelt.

1 Für den ersten Anwendungsfall einer von der Lichtart D65 abweichenden Beleuchtung werden die Mittelwerte der Farbwerte des Kamerabilds R, G und B über das gesamte Bild oder über ausschnitte ermittelt und mit denen aus der spektrometrischen Messung verglichen. Dieser Abgleich erfolgt vorzugsweise mit einer farbneutralen Oberfläche, z. B. einer photographischen Graukarte. Es wird eine Matrix berechnet, mit der die Farbkanäle der Kamera so gewichtet werden, dass die Abweichung zwischen der Messung mit der Kamera und dem Spektroradiometer minimal wird. Mit dieser Matrix werden alle folgenden Aufnahmen, die bei der gleichen Beleuchtung (Lichtart) erfolgen, korrigiert.

2 Für den zweiten Anwendungsfall, nämlich die qualitativ hochwertige farbmetrische Vermessung von elektronischen Bildschirmen, werden z. B. von drei Primärfarben des Bildschirms, meist Rot, Grün und Blau, oder anderen Farben, Aufnahmen gemacht und parallel dazu die Farbwerte mit dem Spektroradiometer ermittelt. Als vierte Farbe kann zur Kalibration noch der weiße Zustand des Bildschirms hinzugenommen werden. Aus diesen drei oder vier Messungen wird nach dem von Ohno angegebenen Verfahren eine Matrix zur Korrektur der Kamerafarbwerte ermittelt. Diese Matrix wird auf alle Farbwerte des Kamerabildes angewandt und so für jedes Bildelement (Pixel) die korrigierten Farbwerte X, Y und Z ermittelt, aus denen sich dann die Leuchtdichte und die Farbwertanteile mit hoher Genauigkeit berechnen lassen.

3 Zur Farbmessung an Bildschirmen, die mit Polarisatorfolien beschichtet sind, wird das Objektiv der Kamera mit einer drehbaren Viertelwellenlängenplatte versehen, um das in die Kamera fallende, zunächst linear polarisierte Licht, elliptisch zu polarisieren und somit den Einfluss der Ausrichtung der Kamera (Drehwinkel um die optische Achse) auf die Ergebnisse der Spektralanalyse zu unterdrücken. Dazu wird eine steckbar verbundene Kombination von Linearpolarisator und Viertelwellenlängenplatte verwendet, deren optische Achsen 45° zueinander ausgerichtet sind, um so zirkular polarisiertes Licht zu erzeugen. Dieser Zirkularpolarisator wird so eingestellt, dass das von dem Bildschirm kommende Licht ausgelöscht wird, dann wird der Linearpolarisator entfernt. Damit ist das vom Bildschirm kommende Licht so zur Viertelwellenlängenplatte ausgerichtet, dass zirkular polarisiertes Licht erzeugt wird.

Funktionelle Bestandteile

- Digitale Kamera mit Bildauskopplung aus dem Strahlengang durch Strahlteiler, Klappspiegel, usw.
- drehbare achromatische Viertelwellenlängenplatte mit Linearpolarisator,
- Vorrichtung zum Einkoppeln des aus dem Okular austretenden Lichts in ein Lichtleiterbündel (auch mit abbildender Optik),
- Lichtleitersystem (auch mit Querschnittswandler),
- Spektroradiometer (auch Mikrospektroradiometer),
- Rechner mit Steuer- und Auswertesoftware.

Auskopplung aus dem Sucher der Kamera

[0004] Je nach Ausführung der Kamera stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung, um das von der betrachteten Szene durch die Objektivlinse eintretende Licht über den Strahlteiler oder Spiegel in ein Lichtleiterbündel einzukoppeln, welches das Licht dann zum Eintrittsspalt des Spektroradiometers leitet.

[0005] Falls das optische System des Suchers nicht entfernt werden kann, stehen drei Varianten zur Auswahl:

- 1 Abbildung der Öffnung des Okulars in die Eintrittsfläche des Lichtleiterbündels,
- 2 Abbildung des Bilds auf der Mattscheibe (Einstellscheibe) des Suchers auf die Eintrittsfläche des Lichtleiterbündels,
- 3 Anbringen eines Lichtsammlers (z. B. Ulbricht'sche Kugel) am Okular, mit folgender Einkopplung in das Lichtleiterbündel.

[0006] Falls das optische System des Suchers entfernt werden kann, stehen zwei Varianten zur Auswahl:

- 1 Abbildung des Bilds auf der Mattscheibe (Einstellscheibe) des Suchers auf die Eintrittsfläche des Lichtleiterbündels,
- 2 Abbildung von Ausschnitten des Bilds auf der Mattscheibe (Einstellscheibe) des Suchers über ein Zwischenbild, aus dem Bereiche der Szene ausgeblendet werden können, auf die Eintrittsfläche des Lichtleiterbündels.

Ablauf der Messung

[0007] Während der Einstellung der Parameter, die eine qualitative hochwertige Aufnahme der Szene durch die Kamera (bzw. eine Sequenz von später miteinander zu verrechnenden Einzelaufnahmen, z. B. mit unterschiedlichen Belichtungszeiten) nach dem Stand der Technik, wird das aus der Sucheroptik kommende, in das Spektroradiometer geleite-

te Licht kontinuierlich spektral analysiert. Das kann unter Vorgabe von Einschränkungen für die Belichtungszeit des Spektrometers erfolgen, insbesondere dann, wenn in der aufgenommenen Szene Lichtquellen enthalten sind, deren Emission zeitlich periodische Modulationen aufweisen. Die Steuerung des Spektrometers stellt dabei sicher, dass keine Übersteuerung vorliegt. Der Zustand einer korrekten Belichtung des Spektrometers kann optisch durch eine Signalleuchte oder akustisch angezeigt werden. Bei diesem Zustand wird die Bildaufnahme der Kamera ausgelöst, was im Fall der Spiegelreflexkamera mit dem Hochklappen des Spiegels in der Kamera verbunden ist, wodurch der Lichtweg zum Spektroradiometer unterbrochen wird. Nach Beendigung der Serie von Aufnahmen der Kamera klappt der Spiegel wieder in die Stellung, die den Weg für das Licht von der Szene zum Spektroradiometer wieder öffnet.

[0008] Die Auswertung der vom Spektroradiometer kontinuierlich bereitgestellten und aufgezeichneten Spektraldaten erfolgt so, dass aus den spektralen Verteilungen vor und nach der Messung der Kamera, also vor und nach Hochklappen des Spiegels, die Farbwerte des von der Szene kommenden Lichts mit hoher Genauigkeit ermittelt werden. Die Periode, während welcher der hochgeklappte Spiegel den Lichtweg versperrt, wird zur Ermittlung des Dunkelsignals des Spektrometers verwendet. Das Messsignal des Spektrometers wird bezüglich dieses Dunkelsignals korrigiert.

[0009] Im Fall einer digitalen Kamera mit Strahlteiler wird das Dunkelsignal des Spektroradiometers durch geeignete andere Maßnahmen gemessen (z. B. elektromagnetischer Verschluss am Eintrittsspalt des Spektrometers oder an anderer Stelle im Lichtweg von der Szene zum Eintrittsspalt des Spektrometers).

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- IEC 61966-2-1 [0001]
- CIE 1931 [0001]

Patentansprüche

1. Bildgebendes mobiles, also tragbares oder handgehaltenes kompaktes Farbmessgerät dadurch gekennzeichnet:

1 dass eine digitale Farbkamera mit einem Spektrometriemeter kombiniert wird;

2 dass wahlweise parallel zur Bildaufnahme, kurz vor oder kurz nach der Bildaufnahme eine qualitativ hochwertige Messung der Farbart der von der Kamera aufgenommenen Szene durch ein nahe bei der Kamera befindliches Spektrometriemeter erfolgt;

3 dass die Farbmessung mit dem Spektrometriemeter durch das gleiche Objektiv wie die Bildaufnahme erfolgt;

4 dass das spektral zu analysierende Licht durch den Sucher aus dem Abbildungsstrahlengang ausgekoppelt wird;

a. dass die Summe des Lichts von der Szene spektral analysiert wird;

b. dass spezifische Flächenelemente aus der aufzunehmenden Szene mittels einer Blende (Maske) ausgewählt und spektral analysiert werden;

5 dass das spektral zu analysierende Licht aus dem Sucherstrahlengang ausgekoppelt wird;

a. dass die Summe des Lichts von der Szene spektral analysiert wird;

b. dass spezifische Flächenelemente aus der aufzunehmenden Szene mittels einer Blende (Maske) ausgewählt und spektral analysiert werden;

6 dass die Farbmessung mit dem Spektrometriemeter parallel zur Bildaufnahme durch ein zweites, auf die gleiche Szene gerichtetes Objektiv erfolgt;

7 dass der Weißabgleich der Kameraaufnahme aufgrund der Spektralanalyse der Szene (z. B. neutrale Graukarte) festgelegt bzw. korrigiert wird, um Farb- und Leuchtdichtefehler zu minimieren;

8 dass nach dem Verfahren von Ohno Korrekturmatriizen für die Kamera ermittelt werden, um bei elektronischen Bildschirmen hochgenaue, lateral aufgelöste Farb- und Leuchtdichtemessungen durchführen zu können;

9 dass eine trennbare Kombination von Linearpolarisator und achromatischer Viertelwellenlängenplatte, deren optische Achsen 45° zueinander ausgerichtet sind, zur Umwandlung von linear polarisiertem Licht in zirkular polarisiertes Licht verwendet wird;

10 dass nach der Einstellung der Kombination nach Anspruch 8 auf Auslöschung (d. h. minimale Transmission) der steckbar angebrachte Linearpolarisator entfernt wird.

Es folgen keine Zeichnungen