

Messung von wahrgenommenen Farben in realen Szenen und Vorausberechnung von Objektfarben in verschiedenfarbigen Umgebungen

Dr. Andreas Hub*, Dr. Harald Teufel**, Color-Physics GmbH, Tübingen
in Kooperation mit der Universität Stuttgart* und der Universität Tübingen**

Kurzfassung

Die exakte Bestimmung von wahrgenommenen Farben spielt in vielen Bereichen der Industrie eine wichtige Rolle. Die gebräuchliche Quantifikation von Farben, zum Beispiel im RGB- oder CIE-XYZ-Farbraum, lässt nur bedingt Rückschlüsse auf die Wahrnehmung einzelner Farben zu. Hinzu kommt, dass sich die Wahrnehmung von Farben erheblich ändern kann, wenn Farbmuster auf verschiedenen Hintergründen präsentiert werden (simultaner Farbkontrast). Zum Beispiel induziert ein roter Hintergrund eine wahrgenommene Verschiebung zu grünlichen Farben. Auch in intuitiveren Farbräumen wie dem HSV- oder CIELAB-Raum ist die Kontrastwirkung benachbarter Farbflächen nicht berücksichtigt. Bei industriellen Farberkennungssystemen wird der Einfluss der Farbinduktion meistens unterschätzt oder vernachlässigt.

Von Color-Physics wurde ein psychophysisches Modell entwickelt, das diesem Umstand Rechnung trägt und eine Klassifikation von Farben entsprechend der menschlichen Farbwahrnehmung vornimmt. Das Modell von Color-Physics basiert auf psychophysischen Experimenten zum simultanen Farbkontrast und zur Farbbenennung. Dieses Modell lässt sich auf reale Szenen anwenden und ist in der Lage, die Wahrnehmung von farbigen Objekten vor verschiedenfarbigen Hintergründen zu simulieren. Für Lehrzwecke wurde ein Demonstrationsprogramm auf der Basis von LabVIEW und IMAQ Vision entwickelt. Die einzelnen Module können in industrielle Farberkennungssysteme integriert werden. Mit diesem Programm lässt sich unter anderem berechnen, wie die Farbe eines Objektes aussehen würde, wenn die Farbe der Umgebung des Objektes - beispielsweise mit IMAQ Vision Tools - geändert wird.

Abstract

The accurate determination of perceived colors plays an important role within many industrial fields. The common quantification of colors, for example within the RGB or within the CIE XYZ color space, just allows limited conclusions about the perceived color of chromatic patterns. In addition the perception of colors can change in a dramatic manner if chromatic patterns are situated on different backgrounds (simultaneous color contrast). For example a red background induces a noticeable shift towards greenish colors. Even in more intuitive color spaces like the HSV or the CIELAB color space the contrast effect of neighbouring color surfaces is not incorporated. The influence of chromatic induction is usually underestimated or neglected within industrial color recognition systems.

A model based on psychophysical experiments was developed by Color-Physics which incorporates a classification of colors according to human color perception. The model is based on psychophysical experiments about simultaneous color contrast and color naming. The model can be applied to natural scenes and is able to simulate the perception of colored objects presented on different colored backgrounds. A demonstration program was developed for training purposes which is based on LabVIEW and IMAQ Vision. The individual modules of this program may be integrated into industrial color recognition systems. Use of this program allows to compute how the color of an object would look like, if the color of the object's environment is changed, for example with IMAQ Vision Tools.

Einleitung

In zahlreichen industriellen Anwendungen spielt die Klassifikation oder exakte Reproduktion von Farben eine wichtige Rolle. Beispielsweise sollen Abbildungen von farbigen Objekten in Modezeitschriften mit den Originalfarben der Objekte übereinstimmen, die Herstellung von Autolacken unterliegt engen Toleranzen und die Qualitätsanalyse von Lebensmitteln erfordert eine exakte Farbmessung.

Bei speziellen Anwendungen ist es wünschenswert, wenn die wahrgenommene Farbe eines Gegenstandes in verschiedenen Umgebungen simuliert werden kann. Zum Beispiel hängt die farbliche Wirkung eines neuen Möbelstückes von der Farbe der Wände, dem Lichteinfall und der übrigen Wohnungseinrichtung ab.

Bei komplexen Aufgabenstellungen der Farbanalyse oder der farblichen Nachbehandlung von digitalen Bildern ist die meist verwendete Vorgehensweise - selbst bei technisch sehr gut ausgestatteten Fotolabors - nach wie vor das Try-and-Error-Prinzip. Neben einem erheblichen Zeitaufwand führt dies auch zu empfindlichen Nebenkosten, zum Beispiel durch Fehldrucke.

Einer der Hauptgründe für die häufige Unzufriedenheit von Herstellern und Kunden bei der Beurteilung von Farben ist die unzureichende Berücksichtigung beziehungsweise die völlige Vernachlässigung des simultanen Farbkontrastes. Häufig bestehen zwischen der Abbildung eines Gegenstandes in einem Verkaufskatalog und der Farbe des Produktes erhebliche Farbunterschiede. In der Modebranche wird dieser Sachverhalt besonders deutlich. Die gemittelten Farbkoordinaten der aufwändig gestalteten Hintergründe stimmen in vielen Fällen nicht mit den Farbkoordinaten des Hintergrundes bei der Bildaufnahme überein. Dies kann zu erheblichen Farbverschiebungen der wahrgenommenen Farbe des Objektes führen.

Der simultane Farbkontrast ist Künstlern und Malern schon seit Jahrhunderten bekannt. Auch Goethe [1] erkannte, trotz einiger Schwächen seiner Farbenlehre, dass die Induktion von Farbe, die allein durch das Umfeld verursacht wird, entsprechend der Gegenfarbentheorie erfolgt, wie sie später von Hering formuliert wurde [2]. Beispielsweise induziert ein rotes Umfeld eine Verschiebung der Wahrnehmung hin zu grünlichen Farben, ein grünes Umfeld induziert Rot. Ein blaues Umfeld verursacht eine Induktion gelber Farbtöne, während Gelb blaue Farben induziert. Helmholtz versuchte, den simultanen Farbkontrast anhand der trichromatischen Lehre zu erklären, die sowohl nach ihm als auch nach Thomas Young als Young-Helmholtz-Theorie benannt ist [3]. Müller vereinte die Young-Helmholtz-Theorie mit der Gegenfarbentheorie von Hering. Er erkannte, dass beide Theorien aufeinanderfolgenden Ebenen der visuellen Informationsverarbeitung entsprechen [4].

Der simultane Farbkontrast ist in vielen Anwendungen nicht berücksichtigt. Eine der Ursachen liegt darin, dass für die mathematische Beschreibung des simultanen Farbkontrastes wesentliche Bestandteile des visuellen Systems des Menschen modelliert werden müssen deren Funktionsweisen durch Psychophysik und Physiologie erst in den letzten Jahrzehnten verstanden wurde [5][6][7].

Entwicklung des psychophysischen Modells der menschlichen Farbwahrnehmung

Das von Color-Physics entwickelte Modell basiert auf psychophysischen Messungen, die mit farbtüchtigen Versuchspersonen durchgeführt wurden. Es besteht aus zwei Schritten, der Modellierung des simultanen Farbkontrastes und der Benennung von Farben.

Im ersten Schritt wurde der CIELAB-Farbraum in ein äquidistantes Raster unterteilt. Jeweils eine Farbe dieses Rasters wurde als Umfeld gezeigt. Innerhalb dieses Umfeldes wurde ein Testfeld präsentiert, das ebenfalls aus einer der Rasterfarben bestand. Sämtliche Kombinationen von Umfeld- und Testfeldfarben wurden auf einem geeigneten Monitor gezeigt. Auf einem nebenstehenden Monitor wurde ein Vergleichsfeld auf einem weißen Hintergrund (D65) gezeigt. Die Versuchspersonen konnten die Farbe des Vergleichsfeldes über das Navigieren in den drei Dimensionen des Farbraumes anhand der möglichen Rasterfarben anpassen.

Tausende dieser Versuche wurden durchgeführt, um allein den physikalisch realisierbaren Farbbereich von handelsüblichen Monitoren abzudecken. An die Ergebnisse wurde ein Modell angepasst, das die Farbinduktion mittels linearer und exponentieller Gewichtung anhand der Gegenfarbeninduktion beschreibt. In weiteren Experimenten wurde die Anhängigkeit der Induktionsstärke vom Größenverhältnis zwischen Umfeld und Testfeld bestimmt und als weiterer Parameter in das Modell integriert.

Dieser Teil des Modells lässt sich dazu verwenden, die wahrgenommene Farbe zu berechnen, die ein Objekt besitzen würde, wenn es vor einem weißen Referenzhintergrund platziert wird. Durch Inversion des Modells lässt sich auch der umgekehrte Prozess berechnen, so dass über den Zwischenschritt des weißen Hintergrunds, die wahrgenommene Farbe vor verschiedenen Hintergründen berechnet werden kann.

In einem zweiten Schritt wurde eine Farbbenennung durchgeführt. Dabei wird aus einer realen Szene ein Objekt ausgewählt dessen Farbwahrnehmung zuerst anhand des oben geschilderten Modells auf den D65 Referenzhintergrund umgerechnet wird. Vor dem D65 Referenzhintergrund wurden psychophysische Experimente zur Farbbenennung durchgeführt. Das geschilderte Farbraster im CIELAB-Farbraum wurde durch eine Farbdoppelbenennung anhand von 19 möglichen Farbennamen qualitativ eingeteilt. Des Weiteren wurden Attribute wie Sättigung, Helligkeit sowie leuchtende Farben oder Pastelltöne erfasst.

Einbindung des psychophysischen Modells in LabVIEW und IMAQ Vision

Für Lehrzwecke wurde ein Demonstrationsprogramm entwickelt. Dieses Programm basiert auf LabVIEW und IMAQ Vision und kann daher mit allen modernen Entwicklungstools kombiniert werden, die von LabVIEW und IMAQ Vision zur Verfügung gestellt werden.

Das von Color-Physics entwickelte Demonstrationsprogramm zeichnet sich durch die im Folgenden beschriebenen Optionen aus.

Berechnung von wahrgenommenen Farben

Mittels LabVIEW und IMAQ Vision können beliebige digitale Farbbilder eingelesen und auf einem Bildschirm dargestellt werden. Die Segmentierungstools von IMAQ Vision ermöglichen es auf einfache Weise, einen oder mehrere gewünschte Bildbereiche auszuwählen, die im Folgenden maskiert werden. Die Maske definiert sowohl das Testfeld als auch das Umfeld und beinhaltet die Größen der beiden Felder. Die Farbwerte der zugehörigen Pixel des Originalbildes werden jeweils über die Bereiche des Testfeldes und des Umfeldes gemittelt und bilden die Eingangsgrößen des oben beschriebenen psychophysischen Modells.

Mit einem auf Code-Interface-Knoten (CIN) basierten Virtuellen Instrument (VI) lässt sich für den segmentierten Bereich die wahrgenommene Farbe bestimmen. Das Ergebnis wird über Farbnamen und zugehörige Helligkeits – bzw. Sättigungsstufen angegeben.

Berechnung der Farbe für neue Umfelder

Durch die Verwendung von LabVIEW und IMAQ Vision lässt sich die Farbe des Hintergrundes im ursprünglichen Farbbild mit einfachen Mitteln verändern. Über das Modell kann zum einen die wahrgenommene Farbe des Objektes auf dem neuen Hintergrund berechnet werden. Zum anderen kann die Farbe des Objektes so verändert werden, dass dessen Farbe auf beiden Hintergründen gleich erscheint.

Die Änderung des Umfeldes kann auch durch das Einlesen beliebiger Hintergrundbilder erfolgen.

Zusammenfassung

Von Color-Physics wurde ein Programm entwickelt, das im üblichen Dynamikbereich von Monitoren die Berechnung von wahrgenommenen Objektfarben in realen Szenen ermöglicht. Durch die Einbindung in LabVIEW und IMAQ Vision lassen sich die Module dieses Farberkennungsprogramms in bestehende Farberkennungssysteme integrieren. Darüber hinaus ermöglichen die Tools von LabVIEW und IMAQ Vision eine einfache Variation von Objekt- und Umfeldfarben.

Das entwickelte Programm bietet bedienungsfreundliche Optionen zur Bestimmung der Farbwahrnehmung, insbesondere wenn die exakte Berechnung der Farbe von großer Bedeutung ist und die herkömmlichen Algorithmen auf der Basis des RGB-Raumes oder der CIE-Farbräume nicht die gewünschten Ergebnisse hervorbringen.

Literatur

- [1] Goethe, J.W.v., Goethes Farbenlehre (1810), bearbeitet von R. Matthaei, Otto Maier Verlag Ravensburg, 1971.
- [2] Hering, E., Handbuch der physiologischen Optik. Hrsg. A. Gullstrand, v. Kries, W. Nagel, 2. Band, 3. Auflage, Voss, Hamburg, Leipzig, 1911.
- [3] Helmholtz, H., Handbuch der physiologischen Optik, 2nd ed., based on 1st ed. 1866, Verlag von L. Voss, Hamburg, Leipzig 1896.
- [4] Müller, G.E., Über die Farbempfindung, psychophysische Untersuchungen, Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Ergänzungsband 17 und 18, Verlag von J.A. Barth, Leipzig, 1930.
- [5] Walraven, J., Discounting the background – the missing link in the explanation of chromatic induction, Vision Res. 16, 289-295, 1976.
- [6] Shevell, S.K., The dual role of chromatic backgrounds in color perception, Vision Res. 16, 1649-1661, 1978.
- [7] Zeki, S.M., A vision of the brain. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1993.