

Perzeptive Farbsensorik für den industriellen Einsatz

Ansgar Wego*

* Dr.-Ing. Ansgar Wego, Silicann Technologies GmbH, Joachim-Jungius-Str. 9, 18059 Rostock, info@silicann.com

1. Einleitung

Die Farbe ist bei vielen Gegenständen ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Das menschliche Farbempfinden ist oft das entscheidende Kriterium zur Beurteilung, ob eine Farbe „korrekt“ ist. Daher ist es wichtig, das Farbempfinden des Menschen so getreu wie möglich sensorisch nachzubilden. Es muss „perzeptiv“, d.h. empfindungsgerecht sein.

Die Farbempfindung des Menschen basiert allerdings nicht auf einer einfachen Bewertung des Lichtes nach den Komponenten RGB. Farbsensoren, die nach dem RGB-Prinzip arbeiten, „sehen“ Farben daher anders als der Mensch. Klassifikationsergebnisse mit RGB-Sensoren fallen deshalb in einer signifikanten Zahl von Prüfereignissen anders aus, als der Mensch dies beurteilen würde. Dies kann eine erhebliche Hürde für die Automatisierung der Farbkontrolle – z.B. in der Fertigung – darstellen.

Im industriellen Umfeld stehen häufig Automatisierungsaufgaben an, bei denen Farbsensoren komplexe Erkennungsaufgaben lösen müssen. Der Beitrag beschreibt einen sensorischen Ansatz, mit dessen Hilfe die menschliche Farbempfindung in einem kompakten System nachgebildet werden kann.

2. Grundlagen perzeptiver Farbverarbeitung

Normspektralwertfunktionen

Die so genannten Normspektralwertfunktionen [1] charakterisieren die spektrale Empfindlichkeit eines farbnormalsichtigen menschlichen Auges. Bild 1 zeigt die Funktionen.

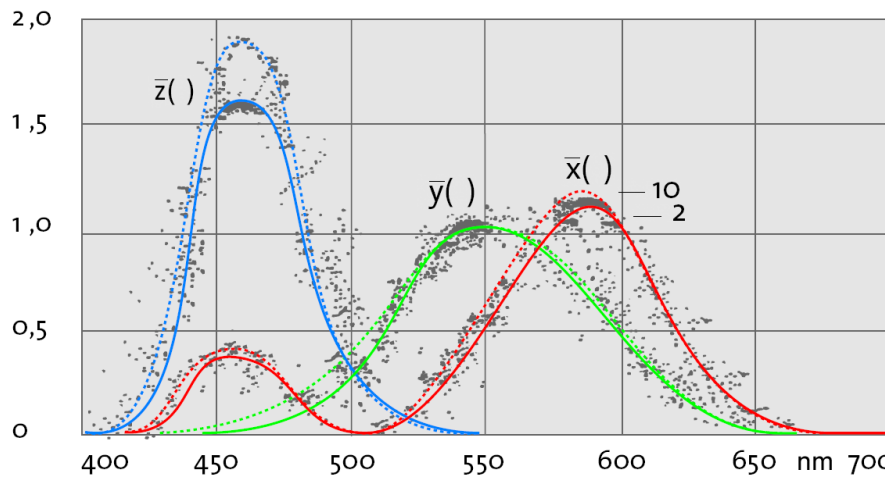


Abb. 1: Normspektralwertfunktionen (Filterkurven des normalsichtigen Auges)

Die Funktionswerte sind normiert und in Form von Tabellen verfügbar [2]. Der durch die 3 Filterkurven aufgespannte Farbraum x,y,z (x – Rot, y – Grün, z – Blau) entspricht nicht der menschlichen Farbempfindung (Bild 2). Dies drückt sich in den so genannten „MacAdam – Schwellenellipsen“ aus [3]. Farben gleicher Farbabstandsempfindung liegen nicht auf Kreisbahnen um einen Farbpunkt, sondern auf Ellipsenbahnen. Dies hat zur Folge, dass Farbsignale, welche nach diesem Farbraum bewertet werden (typisch für RGB Sensoren), keine empfindungsgerechte Farbunterschiedsbewertung realisieren können.

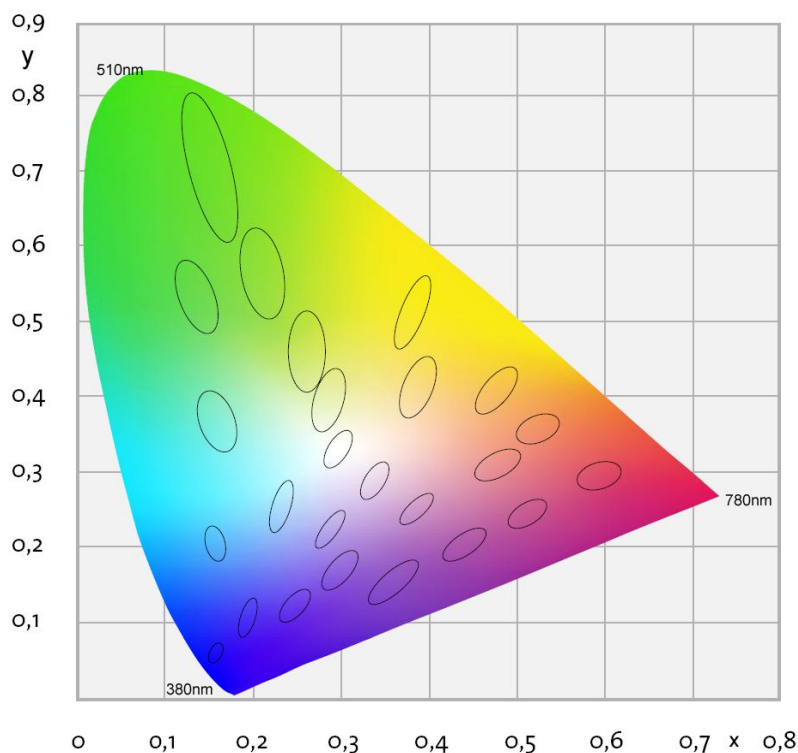


Abb. 2: Normfarbraum mit so genannten „MacAdam“ - Schwellenellipsen

Perzeptive Farbraumtransformation

Mit Hilfe nichtlinearer Transformationen wird ein weitgehend als perzeptiv beurteilter Farbraum aufgespannt. Die Transformationsgleichungen lauten [4]:

$$L^* = 116 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_R}} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\sqrt[3]{\frac{X}{X_R}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_R}} \right] \quad (2)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_R}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_R}} \right] \quad (3)$$

X_R , Y_R und Z_R sind die Farbwerte des Referenzweißpunktes. Der resultierende Farbraum hat folgenden Aufbau (Bild 3).

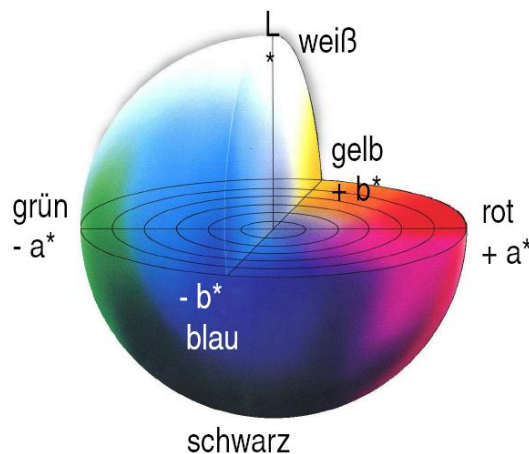


Abb. 3: Aufbau des „perzeptiven“ Farbraums mit den Farbachsen L^* , a^* , b^*

Mit Hilfe der perzeptiven Farbraumtransformation werden die ellipsenförmigen Farbsehschwellen zu kreisförmigen Farbsehschwellen transformiert.

3. Perzeptive Farbverarbeitung in der industriellen Sensorik

Für die technische Umsetzung von Farbmesssystemen stehen zwei Prinzipien zur Verfügung.

Spektralphotometer

Die erste Methode basiert auf spektralphotometrischem Prinzip. Das einfallende Licht wird spektral zerlegt und die gemessenen spektralen Anteile mit den Funktionswerten der Normspektralwertfunktionen bewertet. Diese Methode hat den Vorteil, dass das verwendete Beleuchtungslicht selbst aus der Messung herausgerechnet werden kann und durch ein Normlicht für die Farbmesswertangabe ersetzt werden kann (z.B. D65). Weiterhin ist diese Methode sehr präzise und daher für genaue Absolutmessungen geeignet. Nachteilig ist, dass das Verfahren technisch aufwendig und daher teuer ist. Die erforderlichen optischen Komponenten sind oft voluminös und erfordern hohe

Herstellungspräzision. Weiterhin werden nur geringe Abtastfrequenzen im Sekundenbereich erreicht, was zu Einschränkungen bei Onlinemessungen zahlreicher schneller industrieller Prozesse führt.

Dreibereichssensoren

Eine zweite Methode – das so genannte Dreibereichsverfahren - verwendet optische Filter, welche die Normspektralwertfunktionen möglichst genau abbilden. Mit Hilfe von drei Photodioden wird das gefilterte Licht in elektrische Signale gewandelt. Auf diese Weise erhält man direkt die drei Farbkomponenten X, Y, Z (RGB). Moderne Farbphotodioden sind beispielsweise im TO39 Gehäuse erhältlich. Daher lassen sich mit Ihrer Hilfe sehr kompakte Sensoren herstellen, die wenig Bauraum in einer Maschine bzw. im Onlineprozess einnehmen.

Signalverarbeitung in perzeptiver Farbsensorik am Beispiel des Typs PCS-II¹

Basis der Signalverarbeitung im Sensor ist ein moderner DSP. Durch die zur Verfügung stehende Rechenleistung ist es möglich, die erforderlichen Transformationen im kHz Bereich durchzuführen. Die Signalverarbeitung kann in folgende wesentliche Blöcke eingeteilt werden (Bild 4). Alle Verarbeitungsblöcke innerhalb des grauen Rahmens befinden sich dabei im DSP.

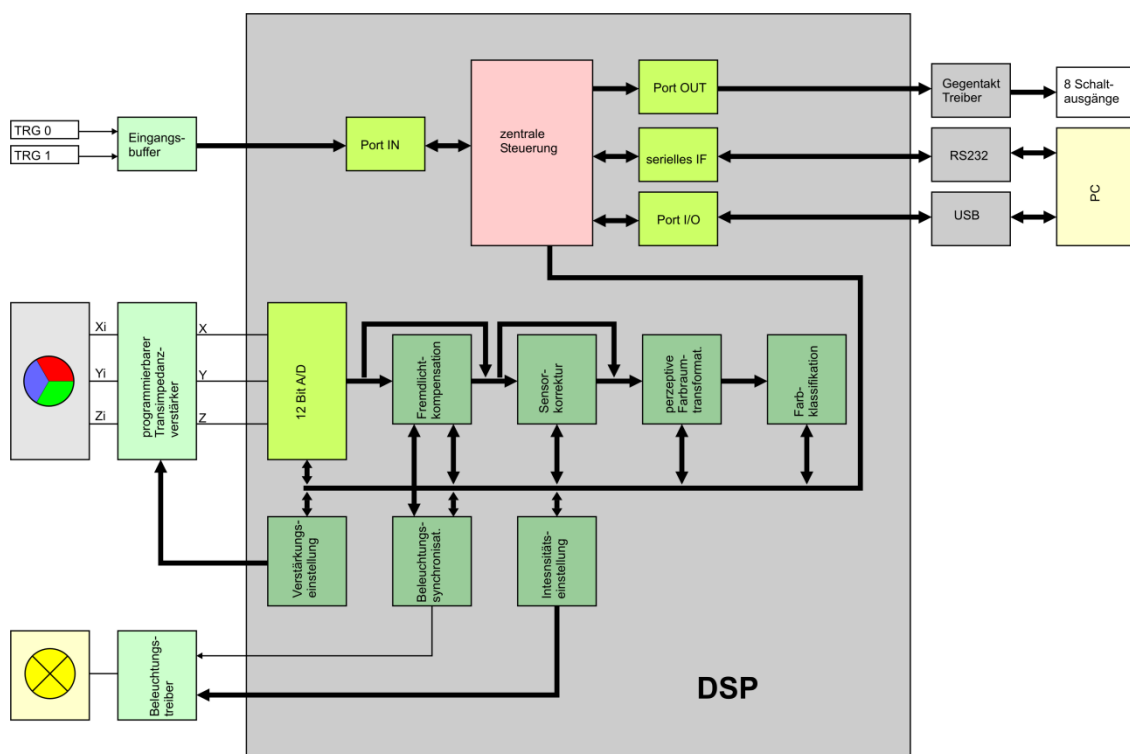


Abb. 4: Signalverarbeitung im perzeptiven Farbsensor Typ PCS-II¹

¹ Perzeptiver Farbsensor Typ: PCS-II, Hersteller: Silicann Technologies GmbH, Rostock

Um aus den XYZ-Rohsignalen des Farbphotodetektors eine perzeptive Farberkennung zu realisieren, sind mehrere Verarbeitungsschritte notwendig. Zunächst werden die Stromsignale des Farbphotodetektors mittels Transimpedanzwandler in Spannungen überführt. Nachfolgend ist eine Verstärkung der Spannungen in vier Stufen (1, 5, 25, 100) programmierbar, so dass ein weiter Eingangssignalebereich abgedeckt wird. Die Signale werden anschließend vom A/D-Umsetzer mit 12 Bit pro Farbkanal digitalisiert. Um eine robuste Verarbeitung der Signale durch den Sensor im realen Betrieb zu erreichen, wurde eine dynamische Störlichtunterdrückung implementiert. Diese erfolgt durch Differenzsignalbildung und eine zweiphasige Objektbeleuchtung. Auf diese Weise wird der Störlichtanteil eliminiert, der in beiden Phasen der Objektbeleuchtung vorhanden ist. Die eingebaute Weißlichtquelle zur Objektbeleuchtung (Hochleistungs-Weißlicht-LED) ist in ihrer Intensität per Software steuerbar. Zur Prüfung von selbstleuchtenden Objekten wie LEDs oder Glühlampen kann die eingebaute Lichtquelle abgeschaltet werden. In diesem Fall kann eine Störlichtkompensation erfolgen, indem das Schaltsignal zum Einschalten des Prüflings gleichzeitig dem Trigger-Eingang des Farbsensors zugeführt wird. Um die Signalverhältnisse des Sensors denen der Normspektralwertfunktionen anzupassen, wird eine Signalkorrektur durchgeführt. Im Anschluss werden die XYZ-Signale perzeptiv transformiert. Im letzten Schritt erfolgt die Bewertung (Klassifikation) des Eingangsfarbwertes. Dabei stehen im Wesentlichen zwei Methoden zur Verfügung.

Farbklassifikation (Farbsortierung)

Bei der Farbsortierung wird der aktuelle Farbmesswert mit abgespeicherten Farbmustern verglichen und dem dichtesten Farbmuster zugeordnet. Dabei erfolgt immer eine Zuordnung unabhängig von der Ähnlichkeit der Farben. Anwendung findet dieses Verfahren bei automatisierten Sortiervorgängen von farbigen Objekten.

Farberkennung (Farbprüfung)

Bei der Farbprüfung wird festgestellt, ob Farbtoleranzen eingehalten werden. Die Toleranzen können in farbmtrischen ΔE Einheiten vorgegeben werden. Wird die Farbtoleranz überschritten, so gilt die Prüfung als nicht bestanden (bzw. Farbe nicht erkannt). Diese Variante wird für die Qualitätssicherung farbiger Produkte verwendet. Außerdem kann hier auf einfache Weise ein Ereignis-Trigger erzeugt werden. Dies ermöglicht in der Produktion eine schnelle Qualitätsprüfung nach festgelegten Toleranzvorgaben.

4. Zusammenfassung

Ausgehend von Farbphotodioden, welche die Normspektralwertfunktionen nachbilden, können mit Hilfe von empfindungsgerechten Farbraumtransformationen perzeptiv arbeitende kompakte Industriefarbsensoren realisiert werden. Die Realisierbarkeit der Technologie basiert wesentlich auf der Nutzung moderner und leistungsfähiger DSPs. Mit Ihnen lassen sich die erforderlichen Transformationen im kHz-Bereich durchführen, wodurch sehr schnelle Sensoren für Onlineprozesse möglich werden.

3. Literatur

- [1] CIE Norm 1931
- [2] DIN 5033, „Farbmessung“, 1992
- [3] H. G. Völz, Farbe + Lack 1982 (4), 88, 264.
- [4] CIE Norm 1976