

PT-D MATCH

Automatisches Farb- und Helligkeitskorrektur-system für Panasonic Projektoren

Hubertus Beckmann¹, Carsten Langerwisch²

Bei Widescreen Projektionen mit mehreren Projektoren ist neben der etablierten Softedgetechnologie eine Anpassung der Farbe und Helligkeit der einzelnen Projektoren unerlässlich. Grund für die verschiedene Farb- und Helligkeitswiedergabe selbst fabrikneuer Projektoren sind Herstellungstoleranzen der Lampe, des optischen Systems des Projektors und der Optik. Durch die Alterung während des Betriebs verschlechtern sich die maximal erreichbare Helligkeit und das Gamut des Projektors noch weiter. Nur wenn die Einzelprojektoren in ihrer Farb- und Helligkeitswiedergabe aneinander angepasst werden, erscheint die Gesamtprojektion als homogene Fläche, die nicht mehr erkennen lässt, dass sie aus mehreren Einzelprojektionen zusammengesetzt ist.

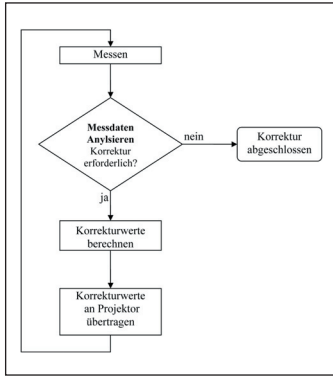
Grundlagen

Die Farb- und Helligkeitskorrektur bei Mehrfachprojektionen wird üblicherweise im Projektor selbst vorgenommen. Dabei muss der Projektor mit der geringsten Maximalhelligkeit und dem kleinsten Farbraum (Gamut) als Referenz dienen, damit später beim Softedge-Blending die Übergänge nicht sichtbar werden.

Abbildung oben: CIE 1931 Normfarbtafel mit zwei Beispielgamuts

¹ Lang Audiovision AG, beckmann@lang-ag.com

² FH Düsseldorf, carsten.langerwisch@roadresidents.de

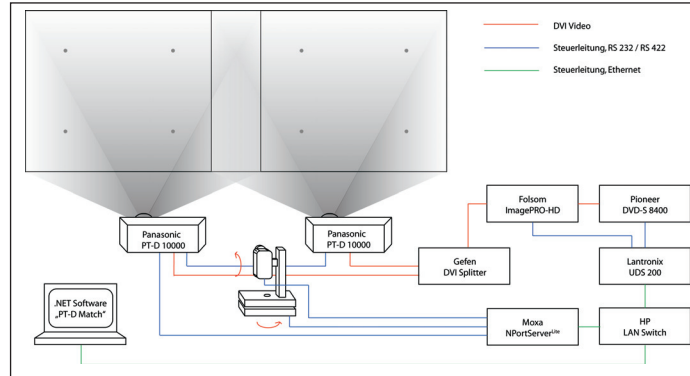


Iteratives, rückgekoppeltes Korrekturverfahren

Das im folgenden vorgestellte Prototypensystem PT-D Match ist in der Lage, die für eine Widescreen Softedge Projektion benötigte Farb- und Helligkeitskalibrierung automatisch und mit hoher Genauigkeit durchzuführen. Dazu wurde ein iteratives, rückgekoppeltes Korrekturverfahren in einer Software implementiert, die die Farb- und Helligkeitswiedergabe der Projektoren beeinflusst. Der Content bleibt dabei unverändert. Das System unterstützt derzeit zwei Projektoren, die Architektur erlaubt aber grundsätzlich eine Erweiterung auf 2 + n Projektoren. Das System ist das Resultat der Forschung und Entwicklung für eine Diplomarbeit an der Fachhochschule Düsseldorf, die bei der Lang Audiovision AG durchgeführt wurde. Lang AV unterhält eine eigene R&D-Abteilung, die an der Entwicklung und Förderung innovativer Technologien arbeitet und sie bis zum erfolgreichen Einsatz begleitet. Auch dank der umfangreichen technischen Ausstattung eine ideale Grundlage für dieses Projekt.

Grundlagen

Farb- und Helligkeitskorrekturen werden für eine optimale Mehrfachprojektion benötigt,



Aufbausskizze von PT-D Match auf der ISE 2007

da selbst fabrikneue, typgleiche Projektoren bereits Farb- und Helligkeitsdifferenzen aufweisen. Diese Abweichungen verstärken sich im Laufe des Betriebs noch mehr, sie sind bei LCD-Projektoren aufgrund von Alterungserscheinungen des LC-Panels deutlich stärker vorhanden als bei DLP-Projektoren [8]. Bei allen Projektortechniken haben die Lampe(n), der Integrator, der Farbteiler bzw. das Farbrad sowie die Optik Einfluss auf die alterungsbedingten Farb- und Helligkeitsverschiebungen.

Die 3-Chip DLP-Projektoren PT-D5100, PT-D5700, PT-D7700 und PT-D10000 von Panasonic verfügen über ein integriertes Farb- und Helligkeitskorrektur-Feature namens 7-Color-Matching.

Dieses ermöglicht es, Weiß sowie die drei Primärfarben Rot, Grün und Blau, die Sekundärfarben Gelb, Cyan und Magenta in ihrer Zusammensetzung aus roten, grünen und blauen Anteilen zu beeinflussen.

Der native Farbraum des Projektors ist von Lampenspektrum und den Farbfiltern im Projektor vorgegeben und kann daher nicht verändert werden. Das 7-Color-Matching basiert nun auf dem Ansatz, die sieben oben ge-

nannten Farben innerhalb dieses nativen Farbraums zu verschieben, indem sie als Mischfarben der drei Grundfarben des Projektors dargestellt werden.

Der Wertebereich der Einstellung ist für alle Rot-, Grün- und Blauanteile der sieben Farben 0 bis 2048 in Ganzzahlschritten. Durch Hinzufügen von Anteilen der anderen Farben kann der Farbton einer Grundfarbe geändert werden. Nach dieser Farbkorrektur dienen die neuen Grundfarben als interne Referenz für die additive (RGB-)Farbmischung im Projektor. Sie beeinflussen sich daher gegenseitig nicht - die Korrektur einer Logofarbe zieht daher keinen Farbstich in allen anderen Bildteilen nach sich.

Wenn beispielsweise der in Abb.1 gezeigte Farbort G1 dem Farbort G2 angenähert werden soll, ist der Blauanteil G-B von G1 zu erhöhen. Es ist zu beachten, dass sich alle Korrekturen - wie erwähnt - innerhalb des nativen Farbraums des jeweiligen Projektors abspielen müssen. Im hier gezeigten Beispiel kann daher der Farbort G2 nicht an denjenigen von G1 angenähert werden kann, weil G1 außerhalb des nativen Farbraums von Projektor 2 liegt.

	Rot	Grün	Blau
Rot	2048	0	0
Grün	0	2048	0
Blau	0	0	2048
Cyan	0	2048	2048
Magenta	2048	0	2048
Gelb	2048	2048	0
Weiß	2048	2048	2048

Panasonic 7 Color Standardwerte

Das Erhöhen des Anteils geschieht üblicherweise manuell über entsprechende Menü-einstellungen des jeweiligen Projektors. Es ist allerdings nicht anzunehmen, dass jeder Techniker sich mit der Manipulation der 7-Color- Werte genau genau auskennt um eine effektive Anpassung beider Projektoren zu realisieren. Dies ist ein Grund, warum die umfangreichen Möglichkeiten der Anpassung von Farbe und Helligkeit mittels Panasonic 7-Color-Matching in Branchenkreisen nicht umfassend bekannt sind, wie z.B. auch Fachgespräche anlässlich der Vorführung des Systems auf der ISE 2007 zeigten. Mit dem 7-Color-Matching System kann neben dem Farbort auch die Helligkeit der sieben Farben beeinflusst werden. Hierzu müssen alle Rot-, Grün- und Blauanteile im gleichen Verhältnis erhöht oder verringert werden

Motivation zur Automatisierung

Der oben gezeigte Farb- und Helligkeitsabgleich von Projektoren ist für einen Menschen ohne die Hinzunahme von Messgeräten nur ungenau durchzuführen, da unsere Farbwahrnehmung alters- und erfahrungsabhängig ist. Ferner besitzt das menschliche visuelle System verschiedene Mechanismen, um die Wahrnehmung zu verbessern. Hierbei ist vor allem die laterale Hemmung zu nennen, welche eine Kontrastverstärkung hervorruft [3].



Spektroradiometer PhotoResearch Spectrascan PR 650



Aufbau mit Farbfilter zur Simulation von Alterungseffekten

Weiterhin ist es für den Menschen schwierig, Farben zu vergleichen, da die Farbwahrnehmung von der Umgebung beeinflusst wird und sich während längerer Betrachtungszeit verändert. Auch wenn letztendlich die Widescreen Projektion von Menschen betrachtet wird, liegt es nahe, die Beurteilung von Farben und Helligkeiten einem Messgerät zu überlassen. Erfreulicherweise lassen sich die Parameter des 7-Color-Matching-Systems auch über die RS-232-Schnittstelle der Projektoren manipulieren. Dadurch ist es möglich, den Farb- und Helligkeitsabgleich von einer externen Software aus zu steuern. Das Ziel von PT-D Match ist also ein automatischer, schneller und möglichst genauer Farb- und Helligkeitsabgleich aller sieben Farben beider Projektoren und das Erreichen des größtmöglichen Farbumfangs (Gamuts) und der maximalen Helligkeit der Projektorreinkombination.

Systemübersicht

Alle Bestandteile des Systems werden zentral über die eigens hierfür entwickelte Software PT-D Match gesteuert. Die Messung der Farben und Helligkeiten der Projektoren erfolgt mit einem Spektroradiometer, welches automatisch von einem Schwenk- Neigekopf auf verschiedene Messpunkte der Bildwand ausgerichtet wird. Die von den Projektoren zu projizierenden Testbilder werden von einem externen DVD Spieler generiert.

Systembestandteile

Steuersoftware: PT-D Match

Die in Microsoft Visual Basic.Net entwickelte Applikation PT-D Match steuert den kompletten Abgleich, sie ist mit allen Systemkomponenten über serielle Schnittstellen verbunden.

Für PT-D Match gibt es drei Werte, die die Farb- und Helligkeitsperformanz eines Projektors definieren: die Farbkoordinaten x und y im CIE1931-Farbsystem sowie Leuchtdichte der Leinwand in cd/m^2 . Sie werden im Folgenden mit x , y und h abgekürzt. Die Anpassung dieser Werte erfolgt über ein iteratives, rückgekoppeltes Korrekturverfahren.

Auf der Basis der gemessenen Daten werden Korrekturwerte berechnet und an den entsprechenden Projektor gesendet. Danach wird die Auswirkung der Korrektur überprüft und eine eventuelle Folgekorrektur durchgeführt. Eine Korrektur ist also stets die Grundlage für eine erneute Korrektur. Die Farb- und Helligkeitswiedergabe des abzugleichenden Projektors wird Schritt für Schritt an die Wiedergabe des Referenzprojektors angepasst.

Da es in der Praxis oft vorkommt, dass nicht für alle Farben derselbe Projektor die Referenz darstellt, erlaubt es die Software, für alle sieben Farben verschiedene Referenzen festzulegen. Die Software ermöglicht eine automatische Referenzierung vor dem eigentlichen Ablauf.

Spektroradiometer

Das Spektroradiometer PhotoResearch SpectraScan PR 650 misst die Farbe und Helligkeit eines Punktes auf der Bildwand mit einem Messwinkel von 1° . Die Ausgabe der Messwerte für die Farbe erfolgt im CIE 1931 x,y Format, die Helligkeit wird in cd/m^2 ausgegeben. Die Messdauer beträgt ab Empfang des Messbefehls ca. 1 bis 5 Sekunden, abhängig von der Helligkeit und der spektralen Verteilung des zu messenden Punktes. Die Messgenauigkeit beträgt nach Angaben des Herstellers ± 0.0015 für CIE 1931 x , ± 0.001 CIE 1931 y und $\pm 2\%$ für die Helligkeit.

Schwenk- Neigekopf:

Für die automatische Ausrichtung des Spektroradiometers auf die verschiedenen Messpunkte auf der Leinwand wird ein Schwenk-Neigekopf Panasonic AW-PH350 verwendet. Um Inhomogenitäten der Einzelprojektionen auszugleichen, werden vier verschiedene Messorte pro Projektor gemessen, PT-D Match errechnet dann einen Mittelwert als Endergebnis für den jeweiligen Projektor. Die Ausrichtung erfolgt mit einer Genauigkeit von 3 Bogenminuten ($0,05^\circ$). Die Programmierung der acht Presets zum Ausrichten des Messgeräts auf die acht Messorte (vier Messorte pro Projektor) erfolgt mit PT-D Match.



Panasonic Schwenk- Neigekopf



PT-D Match mit Präsentationsgestell, zwei Panasonic PT-D 10000 Projektoren und Farbfilter auf der ISE 2007

DVD-Zuspieler

Für den Abgleich werden sieben vollflächige, voll gesättigte Testbilder benötigt. Diese wurden mit einer Bildbearbeitungssoftware erstellt, auf DVD gebrannt und mit einem Pioneer DVD-V800 zugespielt. Die Steuerung der Testbildzuspielung erfolgt ebenfalls über die Software PT-D Match. Falls die Testbilder den Projektoren über eine analoge Verbindung zugespielt werden, werden etwaige Farbverfälschungen während des Abgleichs berücksichtigt. Weiterhin befinden sich speziell erstellte Bilder für die Ausrichtung und Speicherung der Presets des Schwenk- Neigekopfes und weitere Testbilder mit Grau- und Farbbalken auf der DVD.

Funktionsablauf

Nach dem Systemstart wird eine Initialisierung durchgeführt, bei der alle 42 7-Color-Werte beider Projektoren von PT-D Match eingelesen werden. Der Benutzer kann nun auswählen, ob alle sieben Farben sequentiell oder nur einzelne Farben abgeglichen werden sollen. Anschließend sollte eine Referenzanalyse gestartet werden. Hierbei werden alle sieben Farben beider Projektoren nacheinander gemessen. Danach wird analysiert, für welche Farbe welcher Projektor die Referenz darstellt. Diese Referenzvorschläge können vom Benutzer angenommen, modifiziert oder ignoriert werden. Der Benutzer kann auch vollkommen auf die Referenzanalyse verzichten und selbst die Referenzen für die sieben Farben festlegen. Es ist allerdings zu beachten, dass es für jede Farbe, außer Weiß, mindestens eine Einschränkung bezüglich der Referenzierung gibt und der Benutzer nicht immer zweifelsfrei beurteilen

kann, welcher Projektor für welche Farbe das kleinste gemeinsame Gamut aufweist. PT-D Match erkennt selbständig während des Abgleichs eine etwaige Fehlreferenzierung, d.h. dass ein Projektor als Referenz gewählt wurde, dessen Gamut oder Helligkeit vom anderen Projektor nicht erreicht werden kann [4], und wählt entsprechend einen anderen Referenzprojektor. Nach Festlegung der Referenzen kann der eigentliche Abgleich gestartet werden. Maßgeblich für den Abgleich ist die Differenz der die Performanz der Projektoren bestimmenden Werte:

$$\Delta x = x_{Referenz} - x_{Slave}$$

$$\Delta y = y_{Referenz} - y_{Slave}$$

$$\Delta h = h_{Referenz} - h_{Slave}$$

"Slave" bezeichnet hier den an den Referenzprojektor anzupassenden Projektor.

Ziel des Abgleichs ist ein möglichst kleines Δx , Δy und Δh . Aufgrund diverser physikalischer Bedingungen können diese Differenzwerte niemals exakt Null sein. Wie klein sie mindestens sein müssen, damit PT-D Match den Abgleich als erfolgreich definiert, kann der Benutzer vor dem Abgleich für jede Farbe einzeln festlegen. Grundsätzlich dauert der Abgleichvorgang umso länger, je kleiner die Zielwerte Δx , Δy und Δh gewählt sind, da entsprechend mehr Iterationen beim Abgleichvorgang benötigt werden. In der Praxis, die einen Kompromiss aus Abgleichgenauigkeit und visueller Qualität der Softedge-Projektion darstellt, haben sich folgende Werte bewährt:

	Δx	Δy	Δh
Rot	0,06	0,06	6
Grün	0,03	0,03	3
Blau	0,04	0,04	4
Cyan	0,02	0,02	2
Magenta	0,03	0,03	3
Gelb	0,03	0,03	3
Weiß	0,02	0,02	2

Zielwerte für Δx , Δy und Δh

Für jede Farbe ist der Grundablauf des Abgleichs identisch:

1. Überprüfen des Status Quo der Projektoren
2. Berechnung der Differenzen Δx , Δy und Δh
3. Korrektur von x
4. Korrektur von y
5. Korrektur von h

Zwischen den Schritten 3,4 und 5 werden die Differenzwerte erneut überprüft, da sich die Abgleichvorgänge von x, y und h gegenseitig beeinflussen können. Während des Abgleichvorgangs sind keine Benutzerinteraktionen nötig. Nach dem Abschluss des Abgleichs informiert PT-D Match den Benutzer über die erreichten Zielwerte x, y und h und die hierfür benötigte Zeit.

Präsentation auf der ISE 2007

Europäischem Fachpublikum wurde das hier vorgestellte System erstmals auf dem Messestand der Firma Lang Audiovision AG auf der ISE 2007 in Amsterdam vorgestellt. Hierfür wurde ein spezieller Präsentationstisch für zwei Panasonic PT-D 10000 Projektoren und die Hauptbestandteile von PT-D Match angefertigt. Sämtliche Peripherie, wie etwa die RS-232 Konverter der Firmen Lantronix und Moxa, der DVI Splitter von Gefen sowie die Stromversorgung sind unter Edelstahlabdeckungen im Tisch eingebaut. Durch die Integration eines Folsom ImagePro HD wurde die Möglichkeit geschaffen, schnell für Präsentationszwecke zwischen dem Messestandprogramm, welches über HD SDI angeliefert wurde, und der PT-D Match System DVD mit den Testbildinhalten umzuschalten.

Die Projektoren wurde mit ET-D 75LE1 Optiken (1.4 1.8:1) betrieben und so konfiguriert, dass sie bei einer nativen Auflösung von 1400 x 1050 (SXGA+) pro Projektor und einem Überlappungsbereich von 300 Pixeln eine Auflösung von 1920 x 1050 Pixel nativ darstellen können. Rechts und Links der Softedgeprojektion musste dafür je 290 Pixel

schwarz geblendet werden. Die horizontale Ausrichtung des Bildes jedes Projektors musste angepasst werden, damit aus beiden Einzelprojektionen eine Gesamtprojektion im Format 1920 x 1050 entsteht. So war es möglich, HD Inhalte im 1080p Format nativ darstellen zu können, wenn man von den fehlenden 30 Pixeln in der Vertikalen absieht. Zu diesem Zweck gab der Image Pro HD ein DVI Signal im 1080p Format an den DVI Splitter der es duplizierte und an die Projektoren weiterreichte. Um die Funktionalität von PT-D Match zu demonstrieren, wurde bei einem der beiden Projektoren eine Farbverfälschung durch Filterung mit einem Rosco Supergel Farbfilter realisiert, da die verwendeten Projektoren fabrikneu waren und deswegen zwar sichtbare, aber nur geringe Farb- und Helligkeitsabweichungen aufwiesen.

Das System erhielt auf der ISE viel Zuspruch, Gespräche mit Technikern und Entscheidungsträgern zeigten, dass ein System wie PT-D Match auf dem Markt gefragt ist.

Zusammenfassung

Erstmalig ist es gelungen eine bestmögliche, rationale und automatische Anpassung von zwei DLP Projektoren durchzuführen. Die Anpassung der beiden Panasonic Projektoren in Widescreen Softedge Konfiguration gelingt mit dem hier vorgestellten PT-D Match System schneller und deutlich exakter als der manuelle Abgleich. Je nach Ausgangsdifferenzen Δx , Δy , Δh und Helligkeit der Projektion dauert der Abgleich pro Farbe zwischen einer und vier Minuten.

Ausblick

Noch befindet sich PT-D Match im Prototypenstatus, eine Weiterentwicklung des Systems um die Fähigkeit, Widescreen Softedge Projektionen bestehend aus $2 + n$ Projektoren automatisch abgleichen zu können ist möglich und wünschenswert. Durch Softwaremodifikationen kann die Abgleichdauer noch weiter verringert werden. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Einzelprojektorkalibrierung. Hierbei wird ein Projektor auf ein bestimmtes Gamut (z.B. ITU-R BT 601, ITU-R BT 709-5) kalibriert.

Dies ist für Postproduktionshäuser oder D-Cinema Anwendungen gedacht, wo viel Wert auf hohe Farbtreue gelegt wird. Die Einzelprojektorkalibrierung bedarf noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeit

Da einige andere Projektor- und Displayhersteller dem 7-Color-Matching vergleichbare Systeme zum Farbabgleich einsetzen, wäre es im Interesse der Anwender, eine gemeinsame Steuerschnittstelle zu definieren. Es wäre zu hoffen, dass die betreffenden Hersteller die Steuerung über eine gemeinsame Schnittstellendefinition ermöglichen, um das Potenzial dieses Farbkorrekturverfahrens voll ausschöpfen zu können.

Literatur

1. C. Langerwisch. Untersuchung eines automatischen Bildabgleichs von Projektoren bei Multiscreen Installationen, Diplomarbeit 2007.
2. ANSI IT7.215-1992: Data Projection Equipment and Large Screen Data Displays Test Methods and Performance Characteristics.
3. Bruce E. Goldstein. Wahrnehmungspsychologie, Volume 2. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2002.
4. L. GRAMBOW. Optische und lichttechnische Parameterbestimmung von Videoprojektoren. Fernseh- und Kinotechnik Jahrgang 55, Januar 2001.
5. Manfred Richter. Einführung in die Farbmetrik. Berlin: Walter de Gruyter, 1981.
6. David L. MacAdam. Color Measurement. Theme and Variations, volume 2. Berlin: Springer, 1985.
7. A. & Dr. Tran Quoc Khanh Niemand. Farbliche Untersuchungen an Digitalprojektoren für digitales Kino. 2005. Internet-Quelle
8. Jeremy M. Tidd. Long Term Data Projector Display Technology & Performance Study. December 2005. Interim White Paper.
9. W.S. Wyszecki, Günter & Stiles. Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, Volume 2, New York: John Wiley & Sons, 1982.