

DISS. ETH Nr. 10816

Ein Qualitätsmassstab für die Bildwiedergabe

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
BRUNO SCHNEUWLY
dipl. El.-Ing.
geboren am 1. September 1952
von Zürich und Kleingurmels (FR)

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. H. Melchior, Referent
PD Dr. T. Celio, Korreferent

1994

Maurice Melchior
20 Sept 1994
Zürich

Abstract

The prediction of the reproduction quality of an image is a complex task. Based on quality factors like sharpness, contrast, color and tone reproduction, and also image contents a human observer arrives in a mostly unknown way to his judgement. The emulation of this judgement capability based on physical measures is of great interest for technical reproduction processes.

The quality measures for image reproduction developed in this work are based on image components which are coded in a perceptively homogeneous way. As components of the quality of an image reproduction the two-dimensional reproduction bandwidth, the tone reproduction (gradation), and the color reproduction are considered.

Most known quality measures have been defined for specific reproduction systems with their related problems and process parameters. On the contrary, the measures developed in this work have been defined to be independent from the used reproduction system as far as possible. They do not replace the known measures, but fill in the gap to the knowledge of the psycho-physiological research.

The layout of the test room and the parameters of the image reproduction on a TV-monitor have been chosen to simulate the appearance of pictures printed on white paper. A specially developed apparatus allows the on-line computation of the disturbed images in the perceptively homogeneously coded color space. It transforms the images to the monitor color space and corrects for unwanted monitor characteristics.

Each of the three influence components above mentioned have been applied to five images in eight grades. 33 observers judged the repro-

duction quality of the resulting 2'560 different combinations of images and disturbances. Based on these 76'800 judgments, quality measures have been developed not only for the influence of a single disturbance, but also for combinations of disturbances. These measures are sensitive to image contents.

The effects of the two-dimensional reproduction bandwidth limitation and of the color reproduction error show a linear relation with the judgements. The judgements for the effect of the gradation show a maximum for a gradation of one. For other gradations the judgements show a linear degradation with the difference to this optimal gradation value. For combinations of several disturbances the quality measures correspond to the combinations of the single disturbance measures extended by crossfactors of the disturbances compensating for saturation effects.

The possibility to generate an integral quality measure for the combination of all influences is shown experimentally. By transforming the quality measures to impairment measures, the sum of the impairments of the single disturbances weighted depending on the total impairment gives a good approximation of an integral measure.

For the influence of the two-dimensional reproduction bandwidth limitation, a linear relation between the judgements and the appropriately weighted powerspectra of the images exists. For the influence of the slope of the tone reproduction function there exists no such measure unless knowledge on the image contents is taken into account.

The suitability of the perceptively homogeneously coded color space for the subjective evaluation of the image reproduction quality is reflected in the resulting simple quality measures for single disturbances and combinations of disturbances. The use of such color spaces in image processing applications asking for high standards in reproduction quality like desk-top publishing or production in HDTV seems very desirable.

Zusammenfassung

Die Bestimmung der Qualität der Wiedergabe eines Bildes ist ein komplexes Problem. Der Mensch kommt durch die simultane Beurteilung verschiedener Gütefaktoren wie Schärfe, Kontrast, Farbwiedergabe und Gradation aber auch den Bildinhalt in einer unbekanntem Weise zu seinem Urteil. In technischen Wiedergabeprozessen wäre eine zuverlässige Nachbildung dieser Urteilskraft basierend auf messbaren Grössen sehr erwünscht.

In dieser Arbeit wurden Qualitätsmassstäbe für die Bildwiedergabe entwickelt, die sich dadurch auszeichnen, dass sie auf Bildkomponenten aufbauen, die in sich empfindungsmässig homogen kodiert sind. Als Einflusskomponenten auf die Qualität der Bildwiedergabe wurden die zweidimensionale Wiedergabebandbreite, die Gradation und die Farbwiedergabe berücksichtigt.

Im Gegensatz zu bekannten Ansätzen für Qualitätsmassstäbe, die ausgerichtet sind auf spezielle Wiedergabesysteme und deren spezifische Probleme und Prozessparameter, wurde hier versucht, Masse zu definieren, die möglichst unabhängig vom eingesetzten System sind. Sie ersetzen die bekannten Masse nicht, sondern bilden eine Brücke zum Wissen der psychophysiologischen Forschung.

Die Bildwiedergabe auf einem Fernsehmonitor simuliert durch entsprechende Ausgestaltung der Versuchsanordnung die Wiedergabe von Bildern auf Papier. Die speziell entworfene Versuchsvorrichtung erlaubt neben der on-line Berechnung der gestörten Bilder im empfindungsmässig homogen aufgelösten Bildfarbraum den Wechsel in den Farbraum des Monitors sowie die Korrektur der Monitorfehler.

Die drei Einflusskomponenten werden in je acht Abstufungen auf fünf Sujets angewendet. Die Wiedergabequalität der resultierenden 2560 verschiedenen Bild-Störungskombinationen wird von 33 Beobachtern bewertet. Aus diesen 76800 Bewertungen werden Qualitätsmassstäbe sowohl für die einzelnen Störungen als auch für Störungskombinationen hergeleitet. Diese Massstäbe sind alle abhängig vom Bildinhalt.

Für die zweidimensionale Bandbreitenbegrenzung und den Farbwiedergabefehler besteht ein linearer Zusammenhang mit den Bewertungen. Für die Gradation sinken die Bewertungen sowohl bei zu grossen als auch zu kleinen Gradationen linear mit der Differenz zu einer optimalen Gradation ab. Die Kombinationen der Einzelfehler entsprechen den Kombinationen der Einzelmassstäbe ergänzt mit Produkttermen der Störgrössenkombination zur Modellierung auftretender Sättigungseffekte.

Es wird der experimentelle Nachweis geführt, dass ausgehend von den Einzelmassstäben durch Transformation der Qualitäts- in Störungsmassstäbe und eine vom Gesamtstörgrad abhängige gewichtete Summation der einzelnen Störungsmassstäbe eine gute Approximation eines Gesamtmasstabes erreicht werden kann.

Für die zweidimensionale Bandbreitenbegrenzung wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem bewerteten Leistungsspektrum der Bilder und der subjektiven Bewertung hergeleitet, während für die Gradation gezeigt wird, dass ohne Vorwissen über den Bildinhalt kein Zusammenhang existiert zwischen aus den Bildern berechenbaren Massen und den subjektiven Bewertungen.

Die einfachen resultierenden Qualitätsmassstäbe für die Bildwiedergabe bei den untersuchten Störungen und Störungskombinationen und die einfache Kombinierbarkeit dieser Qualitätsmassstäbe zeigen die hervorragende Eignung von empfindungsmässig homogen aufgelösten Farbräumen bei der Bewertung der Wiedergabequalität von Bildern. Der Einsatz dieser Farbräume in Einsatzgebieten der Bildverarbeitung mit hohen Ansprüchen an die subjektive Wiedergabequalität wie z.B. dem Desk-Top-Publishing oder der Produktion für HDTV erscheint deshalb empfehlenswert.