



ISBN 3 901 906 26 6

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

GUIDELINES FOR THE EVALUATION OF GAMUT MAPPING ALGORITHMS

CIE 156:2004

UDC: 535.653

Descriptor: Colour matching methods

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organisation devoted to international co-operation and exchange of information among its member countries on all matters relating to the art and science of lighting. Its membership consists of the National Committees in 38 countries and one geographical area and of 4 associate members.

The objectives of the CIE are :

1. To provide an international forum for the discussion of all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting and for the interchange of information in these fields between countries.
2. To develop basic standards and procedures of metrology in the fields of light and lighting.
3. To provide guidance in the application of principles and procedures in the development of international and national standards in the fields of light and lighting.
4. To prepare and publish standards, reports and other publications concerned with all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting.
5. To maintain liaison and technical interaction with other international organisations concerned with matters related to the science, technology, standardisation and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried on by seven Divisions each with about 20 Technical Committees. This work covers subjects ranging from fundamental matters to all types of lighting applications. The standards and technical reports developed by these international Divisions of the CIE are accepted throughout the world.

A plenary session is held every four years at which the work of the Divisions and Technical Committees is reviewed, reported and plans are made for the future. The CIE is recognised as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organisations.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les Pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage. Elle est composée de Comités Nationaux représentant 38 pays plus un territoire géographique, et de 4 membres associés.

Les objectifs de la CIE sont :

1. De constituer un centre d'étude international pour toute matière relevant de la science, de la technologie et de l'art de la lumière et de l'éclairage et pour l'échange entre pays d'informations dans ces domaines.
2. D'élaborer des normes et des méthodes de base pour la métrologie dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
3. De donner des directives pour l'application des principes et des méthodes d'élaboration de normes internationales et nationales dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
4. De préparer et publier des normes, rapports et autres textes, concernant toutes matières relatives à la science, la technologie et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
5. De maintenir une liaison et une collaboration technique avec les autres organisations internationales concernées par des sujets relatifs à la science, la technologie, la normalisation et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.

Les travaux de la CIE sont effectués par 7 Divisions, ayant chacune environ 20 Comités Techniques. Les sujets d'études s'étendent des questions fondamentales, à tous les types d'applications de l'éclairage. Les normes et les rapports techniques élaborés par ces Divisions Internationales de la CIE sont reconnus dans le monde entier.

Tous les quatre ans, une Session plénière passe en revue le travail des Divisions et des Comités Techniques, en fait rapport et établit les projets de travaux pour l'avenir. La CIE est reconnue comme la plus haute autorité en ce qui concerne tous les aspects de la lumière et de l'éclairage. Elle occupe comme telle une position importante parmi les organisations internationales.

DIE INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) ist eine Organisation, die sich der internationalen Zusammenarbeit und dem Austausch von Informationen zwischen ihren Mitgliedsländern bezüglich der Kunst und Wissenschaft der Lichttechnik widmet. Die Mitgliedschaft besteht aus den Nationalen Komitees in 38 Ländern und einem geographischen Gebiet und aus 4 assoziierten Mitgliedern.

Die Ziele der CIE sind :

1. Ein internationaler Mittelpunkt für Diskussionen aller Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik und für den Informationsaustausch auf diesen Gebieten zwischen den einzelnen Ländern zu sein.
2. Grundnormen und Verfahren der Meßtechnik auf dem Gebiet der Lichttechnik zu entwickeln.
3. Richtlinien für die Anwendung von Prinzipien und Vorgängen in der Entwicklung internationaler und nationaler Normen auf dem Gebiet der Lichttechnik zu erstellen.
4. Normen, Berichte und andere Publikationen zu erstellen und zu veröffentlichen, die alle Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik betreffen.
5. Liaison und technische Zusammenarbeit mit anderen internationalen Organisationen zu unterhalten, die mit Fragen der Wissenschaft, Technik, Normung und Kunst auf dem Gebiet der Lichttechnik zu tun haben.

Die Arbeit der CIE wird in 7 Divisionen, jede mit etwa 20 Technischen Komitees, geleistet. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtenwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind von der ganzen Welt anerkannt.

Tagungen werden alle vier Jahre abgehalten, in der die Arbeiten der Divisionen überprüft und berichtet und neue Pläne für die Zukunft ausgearbeitet werden. Die CIE wird als höchste Autorität für alle Aspekte des Lichtes und der Beleuchtung angesehen. Auf diese Weise unterhält sie eine bedeutende Stellung unter den internationalen Organisationen.

Published by the

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
CIE Central Bureau
Kegelgasse 27, A-1030 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(0)714 31 87 0, Fax: +43(0)713 08 38 18
e-mail: ciecb@ping.at
www: <http://www.cie.co.at/>

© CIE 2004 - All rights reserved



ISBN 3 901 906 26 6

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

GUIDELINES FOR THE EVALUATION OF GAMUT MAPPING ALGORITHMS

CIE 156:2004

UDC: 535.653

Descriptor: Colour matching methods

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 8-03 of Division 8 "Image Technology" and has been approved by the Board of Administration of the Commission Internationale de l'Eclairage for study and application. The document reports on current knowledge and experience within the specific field of light and lighting described, and is intended to be used by the CIE membership and other interested parties. It should be noted, however, that the status of this document is advisory and not mandatory. The latest CIE proceedings or CIE NEWS should be consulted regarding possible subsequent amendments.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique CIE 8-03 de la Division 8 "Technologie des images" et a été approuvé par le Bureau de la Commission Internationale de l'Eclairage, pour étude et emploi. Le document expose les connaissances et l'expérience courantes dans le domaine particulier de la lumière et de l'éclairage décrit ici. Il est destiné à être utilisé par les membres de la CIE et par tout les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire. Il faut consulter les plus récents comptes rendus de la CIE, ou le CIE NEWS, en ce qui concerne des amendements nouveaux éventuels.

Dieser Technische Bericht ist vom CIE Technischen Komitee 8-03 der Division 8 "Bildverarbeitung" ausgearbeitet und vom Vorstand der Commission Internationale de l'Eclairage gebilligt worden. Das Dokument berichtet über den derzeitigen Stand des Wissens und Erfahrung in dem behandelten Gebiet von Licht und Beleuchtung; es ist zur Verwendung durch CIE-Mitglieder und durch andere Interessierte bestimmt. Es sollte jedoch beachtet werden, daß das Dokument eine Empfehlung und keine Vorschrift ist. Die neuesten CIE-Tagungsberichte oder das CIE NEWS sollten im Hinblick auf mögliche spätere Änderungen zu Rate gezogen werden.

Any mention of organisations or products does not imply endorsement by the CIE. Whilst every care has been taken in the compilation of any lists, up to the time of going to press, these may not be comprehensive.

Toute mention d'organisme ou de produit n'implique pas une préférence de la CIE. Malgré le soin apporté à la compilation de tous les documents jusqu'à la mise sous presse, ce travail ne saurait être exhaustif.

Die Erwähnung von Organisationen oder Erzeugnissen bedeutet keine Billigung durch die CIE. Obgleich große Sorgfalt bei der Erstellung von Verzeichnissen bis zum Zeitpunkt der Drucklegung angewendet wurde, ist es möglich, daß diese nicht vollständig sind.

© CIE 2004 - All rights reserved

The following members of TC 8-03, "Gamut Mapping" took part in the preparation of this technical report. The committee comes under Division 8 "Image Technology".

Jan Morovic (chairman)	United Kingdom
Peter Bodrogi	Hungary
Gus Braun	USA
Fritz Ebner	USA
Mark D. Fairchild	USA
Phil Green	United Kingdom
Patrick Herzog	Germany
Tony Johnson	United Kingdom
Byoung-Ho Kang	Korea
Naoya Katoh	Japan
M. Ronnier Luo	United Kingdom
Marc Mahy	Belgium
Gabriel Marcu	USA
John McCann	USA
Ethan Montag	USA
Hideto Motomura	Japan
Todd Newman	USA
Raimondo Schettini	Italy
J. A. Stephen Viggiano	USA
Geoff J Woolfe	USA

TABLE OF CONTENTS

SUMMARY	VI
RESUME	VI
ZUSAMMENFASSUNG	VI
1. INTRODUCTION	1
2. GENERAL PRINCIPLES	1
2.1 List of definitions	1
3. TEST IMAGES	2
3.1 Types of test image	2
3.1.1 Obligatory	2
3.1.2 Recommended	2
3.2 Exchange of test images	3
4. MEDIA	3
5. VIEWING CONDITIONS	4
5.1 General	4
5.1.1 Illumination	4
5.1.2 Viewing environment	4
5.1.3 Border and surround	5
5.2 Images on reflecting and transmitting media.	5
5.3 Images on colour monitors	6
5.4 Colour monitor to print matching	6
6. MEASUREMENT	6
7. GAMUT BOUNDARY	6
8. GAMUT MAPPING ALGORITHMS	7
8.1 Hue-angle preserving minimum ΔE^*_{ab} clipping	7
8.2 Chroma-dependent sigmoidal lightness mapping and cusp knee scaling	7
8.3 Reporting other GMAs	9
9. COLOUR SPACE	9
10. EXPERIMENTAL METHOD	9
10.1 Pair comparison	9
10.2 Category judgement (rating)	10
10.3 Ranking	10
11. WORKFLOWS	10
11.1 Typical workflows	10
11.1.1 ROMM to print workflow	10
11.1.2 CRT to print workflow	11
11.1.3 Transparency to print workflow	12
11.2 Psychophysical evaluation process	12
11.2.1 General comments	12
11.2.2 ROMM RGB original	13

11.2.3 CRT original	13
11.2.4 Transparency original	13
12. REFERENCES	14
13. APPENDIX A - SUGGESTED TEST IMAGE TYPES	16
14. APPENDIX B - MEASUREMENT	16
14.1 Hard copy measurements	16
14.2 Displays	17
14.3 Colorimetric computations, colour difference and uncertainty	17
15. APPENDIX C - EXPERIMENTAL METHOD	17
15.1 General factors	18
15.2 Types of experimental design	19
15.2.1 Magnitude estimation (rating)	19
15.2.2 Matching	19
15.2.3 Paired comparison	19
15.2.4 Category judgement (rating)	20
16. APPENDIX D - CHECKLIST	21

GUIDELINES FOR THE EVALUATION OF GAMUT MAPPING ALGORITHMS

SUMMARY

This technical report provides guidelines for the evaluation of the cross-device and cross-media colour image reproduction performance of gamut mapping algorithms (GMAs). The guidelines cover numerous aspects of GMA evaluation including test images, media, viewing conditions, measurement, gamut boundary calculation, gamut mapping algorithms, colour spaces and experimental method. Also provided are example workflows that show how the general principles are applied and a checklist for determining compliance with the guidelines. The results of GMA evaluation carried out in accordance with these guidelines will then serve as the basis for recommending either one gamut mapping algorithm, or a set of algorithms and rules for use in specific applications.

GUIDE POUR L'EVALUATION DES ALGORITHMES DE MAPPAGE DE GAMME DE COULEURS

RESUME

Ce rapport technique fournit un ensemble de directives pour évaluer la performance des algorithmes de mappage de gamme de couleurs (AMGCs) du point de vue de la fidélité de la reproduction des couleurs des images au passage d'un périphérique à un autre ou d'un support à un autre. Le guide couvre divers aspects de l'évaluation des AMGCs, y compris les images test, les supports, les conditions d'observation, la mesure, les calculs aux limites de la gamme, les algorithmes, les espaces chromatiques, ainsi que la méthode expérimentale. On illustre l'application des principes généraux avec des exemples mettant en oeuvre différents flux de travaux. On fournit également une liste de contrôle pour vérifier la conformité avec les directives proposées. La recommandation future soit d'un, soit d'un ensemble d'AMGCs avec des règles régissant leur usage dans des applications spécifiques, sera basée sur les résultats des évaluations faites en conformité avec ce guide.

RICHTLINIEN FÜR DIE BEWERTUNG VON GAMUT-MAPPING-ALGORITHMEN

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser technische Bericht stellt Richtlinien für die Bewertung der Farbbildreproduktionsgüte von geräte- und medienübergreifenden Gamut-Mapping-Algorithmen (GMA) zur Verfügung. Die Richtlinien berücksichtigen zahlreiche Aspekte der GMA-Bewertung einschließlich Testbilder, Medien, Betrachtungsbedingungen, Farbmessung, Berechnung der Farbumfangsgrenze, Gamut-Mapping-Algorithmen, Farbräume und experimentelle Methode. Außerdem werden Beispiel-Workflows vorgestellt, die zeigen, wie die generellen Prinzipien angewendet werden, und des weiteren eine Checkliste zur Kontrolle der Einhaltung der Richtlinien. Die Ergebnisse von gemäß diesen Richtlinien durchgeführten GMA-Bewertungen dienen später als Basis entweder eines Gamut-Mapping-Algorithmus oder eines Satzes von Algorithmen einschließlich Regeln für die Benutzung bei bestimmten Anwendungen.

1. INTRODUCTION

This technical report marks the end of the first phase of the activity of Technical Committee 8-03. This report presents guidelines for the evaluation of the performance of gamut mapping algorithms (GMAs). The report provides guidance as to the details of the test images to be used, the media on which they are to be reproduced, the viewing conditions to be employed, the measurement procedures to be followed, the GMAs to be applied, the way gamut boundaries are to be calculated, the colour spaces in which the mapping is to be done and the experimental method for carrying out the evaluation.

The next phase of activity for the TC will be coordinating research efforts based on the guidelines presented here. The results of the research will be used to further our ultimate goal of developing and recommending a base-line solution for cross-device and cross-media image reproduction.

2. GENERAL PRINCIPLES

First, the details given in the following sections will be of three kinds: obligatory, recommended and suggested. Obligatory details will be those that have to be adhered to so as to take part in the coordinated research for which these guidelines are intended (use checklist). Recommended details will form the majority of these guidelines and it will be advisable, but not necessary, to follow them. Suggested details will be those that participants are presented with only for the sake of giving examples. If not stated otherwise, any point made in the following sections is obligatory.

Second, in addition to the above kinds of detail, the following sections will include descriptions of procedures to follow for reporting the particulars of given experiments.

Third, the reproduction intent for the colour reproduction systems in which GMAs will be evaluated is defined to be subjective accuracy. This obligatory subjective accuracy intent is one which aims at reproducing a given colour image in a way where the reproduction is as close to the original as possible, this similarity is determined psychophysically and the process has no image enhancing aims. It is further suggested that the performance of GMAs also be evaluated from the point of view of the preferred reproduction intent, which aims at creating reproductions that are in themselves pleasing in appearance.

Fourth, the general colour reproduction framework and terminology assumed here are those given in the *Survey of Gamut Mapping Algorithms* (Morovic and Luo, 2001), reprinted below with the kind permission of IS&T: The Society of Imaging Science and Technology sole copyright owners of *The Journal of Imaging Science and Technology*.

Note also that while the present guidelines are the work of the entire technical committee, each of the following sections has authors who were responsible. It is the names of these authors that are shown after the headings of individual sections.

2.1 List of definitions

Image: two-dimensional stimulus containing pictorial or graphical information whereby the original image is the image to which its reproductions are compared in terms of some characteristic (e.g. accuracy).

Colour reproduction medium: a medium for displaying or capturing colour information, e.g. a CRT monitor, a digital camera or a scanner. Note, that in the case of printing, the colour reproduction medium is not the printer but the combination of printer, colorants and substrate.

Colour gamut: a range of colours achievable on a given colour reproduction medium (or present in an image on that medium) under a given set of viewing conditions - it is a volume in colour space.

Colour gamut boundary: a surface determined by a colour gamut's extremes.

Gamut boundary descriptor (GBD): an overall way of approximately describing a gamut boundary.

Line gamut boundary (LGB): the points of intersections between a gamut boundary (as characterized by a GBD) and a given line along which mapping is to be carried out.