



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-80-0

DOI: 10.25039/TR.240.2020

TECHNICAL REPORT

Enhancement of Images for Colour-Deficient Observers

CIE 240:2020

UDC: 159.937.51
612.843.31
535.66

Descriptor: Perception of colour
Colour vision
Colorimetry

This is a preview. [Click here to purchase the full publication.](#)

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organization 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 about 40 countries.

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 organizations concerned with matters related to the science, technology, standardization and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried out by Technical Committees, organized in six Divisions. 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 reported and reviewed, and plans are made for the future. The CIE is recognized as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organizations.

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 environ 40 pays.

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 Comités Techniques, organisés en six Divisions. 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 rund 40 Ländern.

Die Ziele der CIE sind:

1. Ein internationales Forum 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 durch Technische Komitees geleistet, die in sechs Divisionen organisiert sind. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtanwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind auf der ganzen Welt anerkannt.

Alle vier Jahre findet eine Session statt, in der die Arbeiten der Divisionen berichtet und überprüft werden, sowie 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
Babenbergerstrasse 9, A-1010 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(1)714 31 87
e-mail: ciecb@cie.co.at
www.cie.co.at

© CIE 2020 - All rights reserved



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-80-0

DOI: 10.25039/TR.240.2020

TECHNICAL REPORT

Enhancement of Images for Colour-Deficient Observers

CIE 240:2020

UDC: 159.937.51
612.843.31
535.66

Descriptor: Perception of colour
Colour vision
Colorimetry

[This is a preview. Click here to purchase the full publication.](#)

This Draft Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 1-89 of Division 1 "Vision and Colour" and has been approved by the Board of Administration and by Division 1 of the Commission Internationale de l'Eclairage. 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.

Ce projet de rapport technique a été élaboré par le Comité Technique (TC) 1-89 de la CIE Division 1 "Vision et Couleur" et a été approuvé par le Bureau et Division 1 de la Commission Internationale de l'Eclairage. Le document expose les connaissances et l'expérience actuelles 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 tous les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire.

Dieser Entwurf eines Technischen Berichts ist vom Technischen Komitee (TC) 1-89 der CIE Division 1 "Sehen und Farbe" ausgearbeitet und vom Vorstand sowie Division 1 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.

Any mention of organizations 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, besteht die Möglichkeit, dass diese nicht vollständig sind.

© CIE 2020 - All rights reserved

The following members of TC 1-89 “Enhancement of Images for Colour Deficient Observers” took part in the preparation of this Draft Technical Report. The committee comes under Division 1 “Vision and Colour”.

Authors:

Hung, P. (Chair)

Ayama, M.
Bonci, D.
Chen, H.
Fernandes, L.
Kvitle A.
Milić, N.
Mochizuki, R.
Nagy, B.
Ohtsuka, S.
Oliveira, M.
Rodriguez-Pardo, C.
Sakamoto, T.
Sharma, G.
Simon-Liedtke, J.

USA

Japan
Brasil
Chinese Taipei
Brasil
Norway
Serbia
Japan
Hungary
Japan
Brasil
Colombia
Japan
USA
Norway

Advisors:

Ichihara, Y.
Kishimoto, Y.
Kuhn, G.
Kwak, Y.
Lenz, R.
Viénot, F.
Yoshikawa, Y.

Japan
Japan
Brasil
Korea
Sweden
France
Japan

CONTENTS

Summary	vi
Résumé	vi
Zusammenfassung	vi
1 Introduction	1
2 Scope	2
3 Terms and definitions	2
4 Use cases and their requirements for image enhancement for CDOs	5
4.1 Use cases	5
4.2 Requirements	6
4.2.1 Discrimination	6
4.2.2 Colour-name information	6
4.2.3 Preservation of original colour	7
4.2.4 Preference	7
5 Enhancement techniques	8
5.1 Classification	8
5.2 Recolouring	8
5.2.1 An interactive app for colour-deficient observers	8
5.2.2 Adaptive colour visualization for dichromats using a customized hierarchical palette	11
5.2.3 Image-enhancement methods based on the p/d-safe colour palette	13
5.2.4 Exact compensation of colour weakness with discrimination-threshold matchings	14
5.2.5 Real-time temporal-coherent colour-contrast enhancement for dichromats ...	17
5.2.6 Image enhancement based on hue-rotation (HR) and hue-blending (HB) methods	18
5.2.7 An efficient naturalness-preserving image-recolouring method for dichromats	20
5.3 Edge enhancement	22
5.3.1 Border enhancement based on unsharp masking	22
5.4 Pattern superposition	24
5.4.1 Hatching method by angular lines	24
5.4.2 Using patterns to encode colour information for CDOs	25
5.5 Comparison of enhancement techniques	26
5.5.1 General comparison	26
5.5.2 Performance-based comparison	27
6 Test methods for enhancement techniques	28
6.1 General	28
6.2 Test images	28
6.2.1 Natural image	29
6.2.2 Scientific visualization images	30
6.2.3 Document images	31
6.3 Evaluation methods	32
6.3.1 Visual test by CDO	32
6.3.2 Visual test by CNO using a simulator	33
6.3.3 Evaluation using behavioural visual search	35
6.3.4 Behavioural test by CDO using eye tracker	38
7 Conclusion and future work	43

Annex A Assessment of CDOs	45
A.1 Colour-vision test	45
A.1.1 General test	45
A.1.2 Computer-based test	46
A.2 Gene test	47
Annex B CDO groups	49
Annex C Colour difference for CDOs based on uniform colour space	50
C.1 Introduction	50
C.2 Conventional method based on a trichromatic colour-difference formula	50
C.3 D-CIELAB: Colour-difference metric for dichromatic observers	50
C.4 Two-stage model formulation for dichromatic colour perception	50
C.5 L [#] M [#] S [#] : Quasi-uniform colour space based on LMS-cone responses	51
C.6 l_{cp} and s_{cp} : Approximately uniform chromaticity diagrams for the protanomalous and the deuteranomalous	52
Annex D Side-by-side list of selected colour-deficiency terms and their definitions	53
References	54

ENHANCEMENT OF IMAGES FOR COLOUR-DEFFICIENT OBSERVERS

Summary

This document summarizes the methods used to enhance images in order to be easily recognized by colour-deficient observers. They are classified into three major categories: recolouring, edge enhancement and pattern superposition; pros and cons are discussed. The document provides recommendations on how to choose an enhancement method for a specific application with the proviso that there is no unique technique covering all cases. Besides it describes some evaluation methods of the enhancement techniques to be proposed in the future. Three types of test images (a natural scene, a scientific visualization and an office document) are provided for the evaluations.

AMELIORATION D'IMAGES POUR LES OBSERVATEURS DEFICIENTS EN VISION DES COULEURS

Résumé

Ce document résume les méthodes utilisées pour améliorer des images afin de les rendre plus facilement reconnaissables par des observateurs présentant une déficience de la vision des couleurs. Ces méthodes sont classées en trois principales catégories : recoloration, renforcement des contours et superposition de motifs; leurs avantages et inconvénients sont présentés. Ce document fournit des recommandations pour sélectionner une méthode d'amélioration adaptée à une application spécifique, sous réserve qu'aucune technique ne répond à l'ensemble des cas possibles. De plus, il décrit plusieurs méthodes pour évaluer les techniques d'amélioration qui pourront être proposées dans le futur. Trois types d'images tests (une image naturelle, une visualisation scientifique et un document de travail) sont fournis pour ces évaluations.

VERBESSERUNG VON BILDERN FÜR FARBFEHLSICHTIGE BEOBACHTER

Zusammenfassung

Dieses Dokument fasst die Methoden zur Bildverbesserung für die leichte Erkennung durch farbfehlsichtige Beobachter zusammen. Sie sind in drei größere Kategorien eingeteilt: Neufärbung, Randverbesserung und Musterüberlagerung; Vor- und Nachteile werden diskutiert. Das Dokument liefert Empfehlungen zur Auswahl einer Verbesserungsmethode für eine spezifische Anwendung, unter dem Vorbehalt, dass es keine eindeutige Technik gibt, die alle Fälle abdeckt. Außerdem werden einige Bewertungsmethoden der Verbesserungstechniken beschrieben, die zukünftig vorgeschlagen werden sollen. Drei Typen von Testbildern (eine natürliche Szene, eine wissenschaftliche Visualisierung und ein Bürodokument) werden für die Bewertungen bereitgestellt.