

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 1-4: General communication subsystems – Light source encircled flux
measurement method**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres
optiques –
Partie 1-4: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Méthode de
mesure du flux inscrit de la source lumineuse**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 1-4: General communication subsystems – Light source encircled flux
measurement method**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres
optiques –
Partie 1-4: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Méthode de
mesure du flux inscrit de la source lumineuse**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 33.180.01

ISBN 978-2-88910-473-4

CONTENTS

FOREWORD.....	4
0 Introduction	6
0.1 General	6
0.2 Changes from previous edition	6
0.3 Assumptions applicable to the characterization of data sources	6
0.4 Assumptions applicable to the characterization of measurement sources	6
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Symbols	8
5 Apparatus	9
5.1 Common apparatus	9
5.1.1 General	9
5.1.2 Computer	10
5.1.3 Image digitizer	10
5.1.4 Detector	10
5.1.5 Magnifying optics	11
5.1.6 Attenuation	11
5.1.7 Micropositioner (optional)	11
5.1.8 Input port	12
5.1.9 Calibration light source	12
5.2 Transmission source apparatus	12
5.2.1 General	12
5.2.2 Test jumper assembly	13
5.2.3 Fibre shaker	13
5.3 Measurement source apparatus	14
6 Sampling and specimens	14
7 Geometric calibration	15
8 Measurement procedure	15
8.1 Safety	15
8.2 Image acquisition	15
8.2.1 Raw image acquisition	15
8.2.2 Dark image acquisition	16
8.2.3 Corrected image	16
8.3 Optical centre determination	16
8.3.1 General	16
8.3.2 Centroid image	16
8.3.3 Centroid computation	17
8.4 Test source image acquisition	17
9 Computation of encircled flux	17
9.1 Computation of radial data functions	17
9.2 Integration limit and baseline determination	19
9.2.1 Integration limit	19
9.2.2 Baseline determination	19
9.2.3 Baseline subtraction	19

9.3 Computation of encircled flux	19
10 Results	20
10.1 Information available with each measurement	20
10.2 Information available upon request	20
11 Specification information	20
Annex A (informative) Measurement sensitivity considerations	22
Annex B (informative) Theory of geometric calibration using the micropositioner	27
Annex C (normative) Procedure for geometric calibration using the micropositioner	32
Bibliography	34
Figure 1 – Apparatus block diagram	10
Figure 2 – Typical set-up for transmission source measurement	13
Figure 3 – Fibre shaker example	14
Figure 4 – Pixel and ring illustration	18
Figure A.1 – Core images from instrument A and instrument B	22
Figure A.2 – Compressed core images from instrument A and instrument B	22
Figure A.3 – Intensity versus radius for Instruments A and B	23

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61280-1-4:2009

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

Part 1-4: General communication subsystems – Light source encircled flux measurement method

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61280-1-4 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2003. This second edition constitutes a technical revision. The significant technical changes with respect to the previous edition are described in the introduction.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
86C/920/FDIS	86C/932/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 61280 series can be found, under the general title *Fibre optic communication subsystem test procedures*, on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The “colour inside” logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61280-1-4:2009

0 Introduction

0.1 General

This part of IEC 61280 is used to measure the encircled flux of a multimode light source. Encircled flux is a measure, as a function of radius, of the fraction of the total power radiating from a multimode optical fibre's core.

The basic approach is to collect 2D nearfield data using a calibrated camera, and to mathematically convert the 2D data into three normalized functions of radial distance from the fibre's optical centre. The three functions are *intensity*, *incremental flux* and *encircled flux*. Intensity has dimension optical power per area; incremental flux has dimension power per differential of radius; and encircled flux has dimension total optical power, all three being functions of radius.

These three radial functions are intended to characterize fibre optic laser sources either for use in mathematical models predicting the minimum guaranteed length of a communications link, or to qualify a light source to measure insertion loss in multimode links.

0.2 Changes from previous edition

This edition of the standard differs from its predecessor in both scope and content. Many of the content changes improve the measurement precision. Several changes have been made to the computation procedure:

- the integration methodology of the radial functions was simple summation, and is now specified to use trapezoidal integration or other higher-order techniques (see 9.3);
- a baseline subtraction step is specified to improve immunity to DC drifts (see 9.2.2 and 9.2.3);
- the ring width parameter is explicitly specified (see 9.2.1);
- the integration limit is specified (see 9.3).

The geometric calibration of the apparatus microscope now specifies either (depending on the application) the methodology of IEC 61745 or the original technique using the micropositioning stage (see Clause 7). Pixel sensitivity uniformity correction is now optional.

0.3 Assumptions applicable to the characterization of data sources

The 50- μm or 62,5- μm core near-parabolic graded-index multimode fibre used as the "test jumper assembly" is treated as if it possessed perfect circular symmetry about its optical centre, as asymmetries in the launched optical flux distributions will dominate any lopsidedness of the test jumper assembly. It is further assumed that all cladding modes will be stripped by passage through the specified ten metres or more of fibre. The modes of a mode group need not carry equal flux. (In fact, with such short fibres, one thousand metres or less, unequal distribution of flux in the modes of a group is the norm, not the exception.)

0.4 Assumptions applicable to the characterization of measurement sources

Measurement sources are assumed to be sufficiently broadband and incoherent that speckle is not a problem, and to have a sufficiently symmetrical nearfield distribution that the truncated centroid of that nearfield indicates the location of the optical centre of the fibre with sufficient accuracy for the purposes of this standard.

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

Part 1-4: General communication subsystems – Light source encircled flux measurement method

1 Scope

This part of IEC 61280 is intended to characterize the encircled flux of two types of light sources: transmission light sources, which are usually coherent and substantially under-excite the mode volume of a multimode fibre, and measurement light sources, which are incoherent and excite most of the mode volume of a multimode fibre.

This part of IEC 61280 sets forth a standard procedure for the collection of two-dimensional fibre optic nearfield greyscale data and subsequent reduction to one-dimensional data expressed as a set of three sampled parametric functions of radius from the fibre's optical centre. This revision of IEC 61280-1-4 continues to fulfil its original purpose, characterization of transmission light sources, which enables the accurate mathematical prediction of minimum guaranteed link length in 1 gigabit per second or greater fibre optic data communication systems. New to this revision is support for improved measurement precision of insertion loss in multimode fibre optic links through the characterization of measurement light sources.

Estimation of the fibre core diameter is not an objective of this standard.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60793-2-10, *Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*.

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

IEC 61745:1988, *End-face image analysis procedure for the calibration of optical fibre geometry test sets*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

calibration light source

light source used to find the optical centre of a multimode fibre

3.2

centroid image

image used to determine the optical centre of the multimode fibre core

3.3

corrected image

image which has had a dark image subtracted from it and whose elements have had uniformity correction applied

3.4

dark image

image taken with the measured light source either turned off or not installed in the input port. Stray light and electrical signals of the detection system will remain in the dark image

3.5

image

two-dimensional rectangular array of numbers whose elements are pixels and whose pixel values linearly correspond to the optical power falling on the pixels

3.6

light source

something that emits light that is coupled into a fibre, the output of which can be measured (can be a calibration light source, a transmission light source or a light source used for attenuation measurements)

3.7

measurement light source

light source intended to be used in the measurement of attenuation

3.8

nominal core radius

half the nominal core diameter of the multimode fibre to be measured

3.9

ring smoothing

technique to reduce the two dimensional near field image into a 1-D near field intensity profile while cancelling the effects of the periodic spacing of imager pixels of finite area

3.10

transmission light source

light source used to transmit digital data over multimode fibre optic links

3.11

uniformity correction

process to correct the sensitivity of a pixel so that it performs substantially like an average pixel

3.12

valid pixel

optical detection element in the detector matrix whose sensitivity, when corrected, is within 5 % of the mean sensitivity of the average conversion efficiency of the detector

4 Symbols

B the baseline intensity. This value is determined from a region of the computed near field just outside the core boundary.

D the distance from the centre of the centroid image to the nearest boundary of the image.

D_L, D_R, D_T, D_B the set of distances from the centre of the centroid image to, respectively, the left, right, top and bottom boundaries of the image. The minimum of this set is used to compute D .

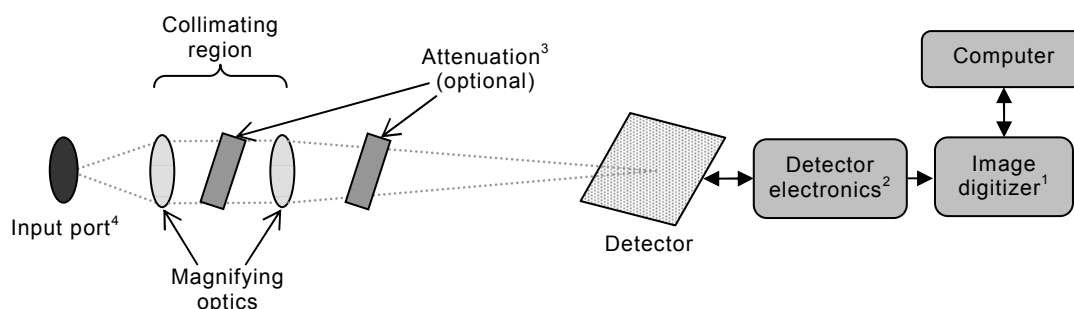
$EF(i)$	the encircled flux vector.
i	the index parameter used in the parametric result vectors $\bar{R}(i)$, $\bar{I}(i)$ and $EF(i)$.
I_{dark}	the matrix of pixel intensities of a dark image as measured by the detector and digitizer.
I_{raw}	the matrix of pixel intensities of the light source, before correction, as measured by the detector and image digitizer.
$I_{r,c}$	near-field intensity matrix. This is a matrix of pixel intensities, based on I_{raw} , as measured by the detector and corrected using U and I_{dark} .
$\bar{I}(i)$	the ring-smoothed intensity vector, each element being the arithmetic average of the set of radial coordinates of all the pixels in a given ring.
N_R	the number of rings used to compute the 1-D near field.
N_r	the number of rows in an image. All columns in an image have the same number of rows.
N_c	the number of columns in an image. All rows in an image have the same number of columns.
P_{Max}	the most intense valid pixel in the centroid image.
P_{Min}	the least intense valid pixel in the centroid image.
R	the radial coordinate, in μm , of the centre of any pixel, referenced to the optical centre X_0, Y_0 .
$\bar{R}(i)$	the ring-smoothed radial vector, each element being the arithmetic average of the radii of all the pixels in the i^{th} ring.
S_c	the column-weighted summation of all pixel intensities greater than T in the centroid image.
$S_i(i)$	the intensity summation vector used in ring smoothing.
S_P	the summation of all pixel intensities greater than T in the centroid image.
$S_N(i)$	the pixel counting vector used in ring smoothing.
$S_R(i)$	the radius summation vector used in ring smoothing.
S_r	the row-weighted summation of all pixel intensities greater than T in the centroid image.
T	the threshold used to determine which pixels in the centroid image will be used to determine the optical centre. All pixels greater than or equal to T are used to compute the centroid.
$U_{r,c}$	the sensitivity correction matrix, applied to a dark-subtracted image to reduce non-uniformity of the detector's pixel-to-pixel conversion efficiency.
W	the half-width, in μm , of the rings used to compute the 1-D near field.
X_0	the x -axis (column) location of the centre of the centroid image.
Y_0	the y -axis (row) location of the centre of the centroid image.

5 Apparatus

5.1 Common apparatus

5.1.1 General

The Figure 1 below shows an apparatus block diagram.



¹ The image digitizer may be either part of a camera or a computer add-in board.

² The detector electronics are usually integral to the camera and digitizer.

³ Attenuation is best placed in the collimating region of the optical path, but not all optical designs will have an accessible collimating region. When this is not possible, the attenuation should be placed on the detector side of the optics.

⁴ When a micropositioner (not shown) is employed, the input port will be physically attached to it.

IEC 2207/09

Figure 1 – Apparatus block diagram

5.1.2 Computer

Since the acquired image contains many thousands of pixels, and the reduction of the image to encircled flux requires substantial computation, a computer is required. The computer will usually be connected to the image digitizer to control the acquisition of an image through software, and may also control the micropositioner (and the source, if correlated double sampling is implemented).

5.1.3 Image digitizer

The nearfield of the fibre core is imaged onto the detector and then digitized by the image digitizer. The image digitizer may be an integral part of a camera which also contains the detector, or may be an add-in frame-grabber board in the computer.

Automatic circuitry in the digitizer, for example AGC or automatic gain control often found in video cameras, shall be disabled.

5.1.4 Detector

The detector is typically a CCD or CMOS camera. Other types of array cameras may be considered. In any case, detectors shall be both nominally linear and memoryless; this excludes for instance lead sulphide vidicon detectors. Absolute radiometric measurement of flux (optical power flow) is not required.

Automatic circuitry in the detector, for example AGC or automatic gain control often found in video cameras, shall be disabled.

The difference in conversion sensitivity from pixel to pixel in the detector will affect the accuracy of measurement. The corrected conversion efficiency non-uniformity of the detector shall not exceed $\pm 5\%$. It is possible to calibrate and correct a detector whose uncorrected uniformity is worse than 5 % by applying a pixel-by-pixel sensitivity correction matrix, U , to the raw image. Often, this correction is part of the camera function (and so each element of U may be taken as unity). Sometimes, the correction matrix may be supplied by the detector supplier. In other cases, the correction matrix shall be determined by the procedure outlined in A.2.

Detectors can have invalid pixels, these are pixels whose corrected conversion efficiency exceeds $\pm 5\%$ of the average conversion efficiency of the detector; invalid pixels will often produce no signal or a completely saturated signal, or be stuck at some intermediate value. Detectors whose invalid pixel count exceeds 0,1 % of the total number of pixels shall be rejected.

In most cameras and image digitizers, the setting of the 'black level' is user adjustable. Since the detector will be slightly noisy, it is important that the detector and digitizer do not clip random black signals at zero (in common systems, random noise in a detector will have a standard deviation less than 0,5 % of the saturation level). To ensure no clipping of the noise, when settable, set the black level to produce a small positive signal (typically at least five times the standard deviation of the noise) when no light is impinging on the detector.

5.1.5 Magnifying optics

Suitable optics shall be provided which projects the magnified image of the input port onto the detector such that the detector can measure the entire nearfield flux distribution. The numerical aperture of the magnifying optics shall exceed the nominal numerical aperture of the fibres (as specified in the fibre's family specification) used in calibration or measurement. Microscope objectives are often appropriate for this purpose.

NOTE 1 When a microscope objective is used, its actual magnification as used in the present apparatus generally will not be the same as the nominal magnification factor engraved into the side of the objective, because the present apparatus differs from the standard microscope for which that nominal magnification factor was computed. The geometric calibration procedures outlined in Clause 7 of this standard determine the actual magnification.

NOTE 2 When characterizing measurement light sources, measurement precision is important, so optical distortion is kept to a minimum. Care in selection and application of the lenses and other optical components should be considered. Plan-type microscope objectives are an example of suitable optics. The procedures found in IEC 61745 can be used to assess the optical integrity of the apparatus.

NOTE 3 Reflections from optical surfaces may seriously degrade the measurement of encircled flux. Anti-reflection coating at the wavelength of measurement or other forms of reflection control may be considered to reduce reflections.

It is important that the distance between the detector and all elements of the magnifying optics be held fixed once calibration is performed. When the relationship between these elements changes, the magnification is expected to change enough that recalibration will be required. Focusing shall be accomplished by changing only the distance between input port and the magnifying optics.

5.1.6 Attenuation

Often, the optical flux of the source will saturate the detector and the only effective solution is to employ optical attenuation. Any attenuation element shall not reduce the numerical aperture of the optical system, and shall not be the source of significant reflections or optical distortions which will bias the resulting encircled flux.

NOTE 1 When neutral density filters are used in the optical system, geometric distortions may be introduced.

NOTE 2 Changing the attenuation between the optical centre image and the image of the measured source may cause the location of the optical centre of the measurement source to move away from that determined using the optical centre image, causing errors in the resulting radial data functions.

5.1.7 Micropositioner (optional)

The micropositioner is an optional part of the apparatus. Depending on the apparatus design, it is possible to rely on connector ferrule geometry to place the image completely onto the detector without a micropositioner. In many implementations, only a focus adjustment (Z axis) is necessary, and in some cases, all three axes may only require alignment during construction or maintenance of the apparatus. Using the ferrule to place the fibre core image onto the detector does not relieve the requirement of finding the optical centre as required by 8.3.

When used, the purpose of the micropositioner is to bring the projected image of the fibre face into focus on the detector and to determine the magnification of the apparatus (see Clause 7). Mechanical locking mechanisms or their equivalents are required for all three axes to prevent mechanical drift during measurement. The micropositioner can optionally be driven by motors, and can optionally employ feedback mechanisms to control the actual position of the stage (and thus the fibre face). When geometric calibration is done using the micropositioner (see Clause 7 and Annex C), the performance requirements are specified in Annex B; otherwise, the only performance requirement is in the focal axis, which shall have high enough resolution to bring the fibre end into sufficient focus to achieve the required measurement precision.

5.1.8 Input port

The input port is where the calibration artefacts and measurement samples are connected to the apparatus. The input port characteristics depend on which type of source is to be characterized.

When characterizing transmission light sources, the input port is the distal end of the test jumper assembly. The proximal end of the test jumper assembly will be imaged onto the detector; when a micropositioner is used, the proximal end will be attached to the micropositioner.

When characterizing measurement light sources, the input port is commonly a connector bulkhead or its equivalent. When a micropositioner is employed, the bulkhead will be attached to the micropositioner.

See 5.2 and 5.3 for particular requirements.

5.1.9 Calibration light source

The calibration light source is used when calibrating the apparatus (see Clause 7). When this source is used to illuminate the test jumper assembly, the calibration source shall overfill the modes of the jumper. Optionally, a mode scrambler may be used with the chosen calibration source to ensure more uniform overfilling of the fibre. See IEC 60793-1-41, for information on mode scramblers.

Any spectrally broad non-coherent light source, such as a tungsten-halogen lamp, a xenon arc lamp, or a light-emitting diode (LED) may be used to overfill the test jumper assembly's fibre. When calibrating the apparatus for the characterization of measurement light sources, the centre wavelength of the calibration source shall be within 30 nm of the nominal wavelength of the light sources to be qualified, and its spectral width (full width, half maximum) shall be no more than 100 nm. When calibrating the apparatus for the characterization of transmission light sources, the spectral characteristics of the calibration source are not specified, but it is recommended that its spectrum be similar to the sources to be characterized. The chosen calibration source shall be stable in intensity over a time period sufficient to perform the measurements.

5.2 Transmission source apparatus

5.2.1 General

When characterizing transmission light sources, the input port of the apparatus consists of two elements, the test jumper assembly and the fibre shaker (see Figure 2 below).

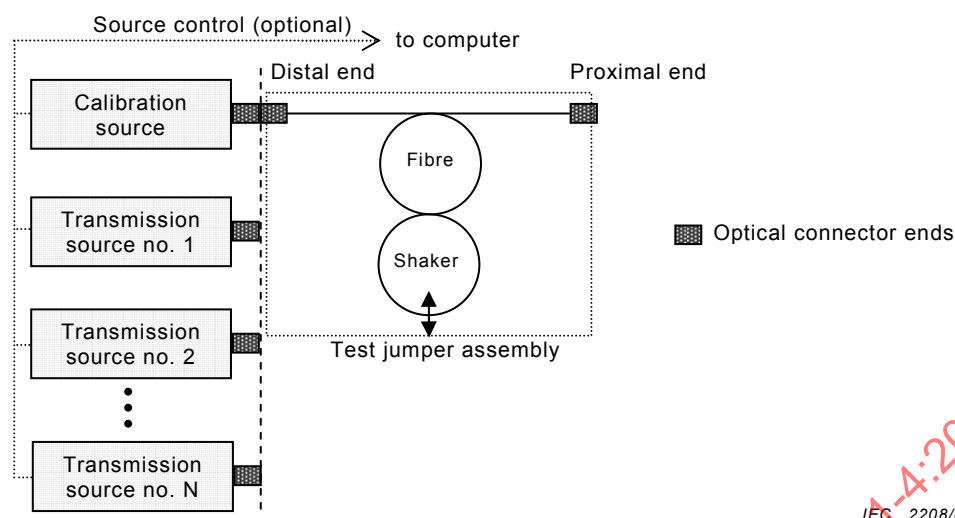


Figure 2 – Typical set-up for transmission source measurement

5.2.2 Test jumper assembly

The purpose of the test jumper assembly is to strip cladding modes, and to allow speckle to be averaged out by mechanical flexing of a portion of the test jumper assembly. The test jumper assembly is only used when qualifying light sources for multimode transmission.

The test jumper assembly shall be at least 10 m in length, made of germanium-doped near-parabolic graded-index fused-silica multimode “glass,” an IEC 60793-2-10 class A1 fibre with a core diameter of either 50 µm or 62,5 µm. The test jumper assembly shall consist of a single, uncut length of fibre with connectors at each end. The test jumper assembly connectors shall have single-mode mechanical tolerances, even though the fibre is multimode.

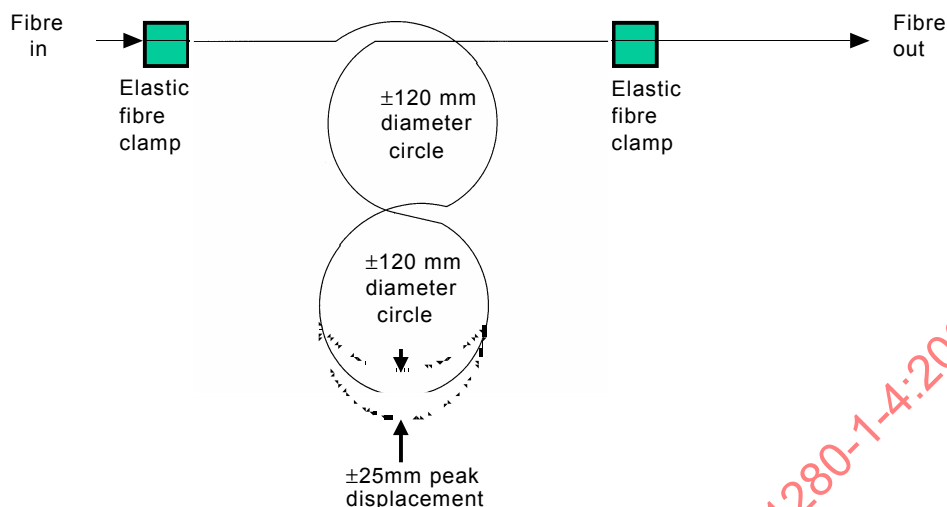
5.2.3 Fibre shaker

The purpose of the fibre shaker is to change the differential path length of the various modes in the test jumper, ensuring that as the image is averaged, speckle in the averaged imaged will be reduced. Speckle reduction can be accomplished in a variety of ways, and shall be good enough to ensure sufficient repeatability in the measurement of encircled flux. Shaking of the test jumper assembly with a mechanical device is required to reduce speckle.

Part of the test jumper assembly shall be mechanically shaken continuously in each of three nominally orthogonal directions (using three independent shaker mechanisms) during the measurement, making at least one hundred shake cycles in each of the three directions during the measurement period. The shake frequencies in the three directions shall be chosen such that the three shake cycles synchronize no more often than once every five hundred cycles of the middle shake frequency.

A fibre shaker mechanism may be of any design as long as it induces large amplitude movements and flexing in the optical fibre. Fibre transverse displacements of more than 25 mm are suggested. The fibre shakers shall include a fibre holding fixture for securely holding the fibre.

One exemplary mechanism, shown in Figure 3, has three turns of fibre coiled into a 3-ply figure-eight arrangement, with the loops each being approximately 120 mm in diameter. A motor-driven eccentric drives a slider back and forth at about one stroke per second, alternately flattening and stretching one loop of the figure eight with 25-mm amplitude. Three such mechanisms in series will consume about $3 \times 3 \times (2 \times \pi \times 0,120) = 6,8$ m of the test jumper assembly's fibre.



IEC 2209/09

NOTE 1 Only one figure-eight loop of the three is shown here, for visual clarity. Fibre clips are used to keep fibre in place, in addition to elastic fibre clamps that prevent transmission of fibre motion. Loose fibre clips not shown.

NOTE 2 Fibre is moved back and forth as shown, with a peak-to-peak amplitude of about 25 mm, distorting one fibre loop.

Figure 3 – Fibre shaker example

Another exemplary approach is to hang large loose loops of fibre in front of a large fan which blows these loops about, the turbulence in the stream of the fan randomizing the motion.

NOTE 1 The fibre ends leading into and out of the fibre shakers are mechanically fixed or stabilized to prevent movement of fibres at connection points. In addition, the fibre shakers are mechanically isolated from the rest of the test setup so that vibrations are not transmitted to connection points throughout the apparatus, or to the micropositioner, detector, or magnifying optics. Vibration reduction is easier if the fibre shaker is both statically and dynamically balanced, and if all moving components are light in weight.

NOTE 2 There is no required relation between the measurement period (containing the one hundred strokes) and the acquisition time of an image. Typically, in each measurement period, many individual images are taken and later summed or averaged by the computer; this technique may help to avoid detector saturation. The detector and digitizer may be able to perform an equivalent function independently. The image will be relatively speckle free when one hundred shake cycles are averaged in this way.

5.3 Measurement source apparatus

The apparatus as described in 5.1 is sufficient to characterize measurement light sources. Fibre shaking or other speckle reduction techniques shall not be employed.

NOTE This standard does not address the characterization OTDR transmitters, which will display significant speckle. As of the drafting of this standard, the characterization of encircled flux for OTDRs remained a subject of study.

6 Sampling and specimens

Light sources to be tested shall be chosen and prepared as defined by the user of this standard, who shall document the sampling and preparation procedures used. The only requirements on the light sources under test are that they have an operating wavelength

compatible with the detector, and have optical connectors or splices compatible with the input port of the apparatus. The construction details of the light sources are otherwise unspecified.

When qualifying lasers, the laser drive current shall be sufficient to ensure that the laser always acts as a laser, rather than as an LED.

7 Geometric calibration

Calibration of the apparatus is critical to the accuracy of this measurement procedure. (See A.4 for description of the kinds of noise and errors which calibration can correct.) Calibration shall be performed periodically, and should be performed at least monthly. If the calibration is known to drift significantly during a measurement interval, the source(s) of the drift shall be identified and eliminated. If the apparatus is disassembled or its components in or affecting the optical path are otherwise manipulated, calibration shall be performed before measurements are made.

The purpose of geometric calibration is to obtain the measurement data needed to compute the magnification factors S_x and S_y which have units of microns per pixel. These factors will be used to convert camera coordinates to fibre end-face coordinates. These magnification factors can be arrived at by either using IEC 61745 (specifically 2.3.4.1 "Scaling Factor") or by using the micropositioner as outlined in Annex B. The micropositioner calibration method is an acceptable calibration method when the test apparatus is to be used to qualify transmission sources. The IEC 61745 method is the preferred calibration method for all types of light sources. The calibration for use with transmission type light sources may alternatively be done by means of the micropositioner method.

8 Measurement procedure

8.1 Safety

All procedures in which an LED or laser source is used as the optical source shall be carried out using safety precautions in accordance with IEC 60825-1.

8.2 Image acquisition

8.2.1 Raw image acquisition

8.2.1.1 General

Acquiring an image is central to the measurement of encircled flux. The approach to image acquisition depends on the general characteristics of the light source being measured. When acquiring transmission light source images, a fibre shaker is required which requires that some form of averaging be performed. Measurement light sources, on the other hand, will not require a fibre shaker, and usually their optical intensity is sufficient to allow very short detector integration times. These issues are discussed in the subclauses to follow.

In any case, the raw image obtained from this clause is a matrix of uncorrected intensities I_{raw} , whose dimensions are N_r rows by N_c columns.

8.2.1.2 Transmission light source image acquisition

Since transmission light sources require a fibre shaker, and the resultant image shall be integrated over at least 100 cycles of the fibre shaker, long integration times are required. Direct detector integration and digital image accumulation may be employed to achieve the required integration. A typical procedure is to acquire multiple frames and sum or average them numerically, pixel-by-pixel. This approach prevents detector saturation while integrating enough shaker cycles to effectively reduce speckle.

8.2.1.3 Measurement light source image acquisition

Typical measurement light sources require only one short-period detector integration to arrive at a usable raw image. These sources are sufficiently incoherent and are sufficiently intense to easily get good dynamic range, although attenuation may be required to operate the detector within its linear range.

NOTE OTDR measurement light sources present significant challenges to this method and have not been investigated.

8.2.2 Dark image acquisition

The dark image is used to correct the raw image, pixel-by-pixel, for dark currents and DC offsets from the detector and digitizer. To acquire the dark image, the detector integration time and digital image accumulation shall be the same as was used to acquire I_{raw} . The dark image is acquired with the input port of the apparatus blocked to prevent light from entering the optical system. The resultant image is the matrix I_{dark} .

In some systems, it may be shown that the dark image is sufficiently uniform to be assumed to be constant for all pixels. In this case, each element of I_{dark} can be taken as zero. The average dark level will be removed from the resultant data by the baseline subtraction procedure outlined in 9.2.

8.2.3 Corrected image

The corrected image matrix I , is computed from the matrices I_{raw} , I_{dark} and U .

$$I_{r,c} = (I_{\text{raw},r,c} - I_{\text{dark},r,c}) * U_{r,c} \quad (1)$$

NOTE 1 The asterisk (*) operator denotes element-by-element multiplication.

NOTE 2 When the camera is sufficiently uniform without correction, and the baseline subtraction step of 10.2 is to be performed, no correction is required, and so I can be set to I_{raw} .

8.3 Optical centre determination

8.3.1 General

Encircled flux is computed with respect the optical centre of the multimode fibre's core. It is known that coherent light sources can produce, at least over short distances, near fields which are not symmetric about the centre of the fibre core. When measuring transmission sources, which are typically coherent, the optical centre of the test jumper assembly cannot be determined from the nearfield image of the transmission light source itself. Instead, the test jumper assembly's centre is determined by illuminating its core with a calibration source and finding the centroid of the resulting nearfield.

NOTE Since transmission light sources require two separate images to make a measurement of encircled flux (the image for centring and an image of the light source to be measured), attenuation setting is more challenging. As previously noted, moving or changing the attenuation between two images can shift the optical centre of the image. It is recommended that one attenuator setting be used for both images.

8.3.2 Centroid image

The centroid image is the image used to determine the optical centre of the multimode fibre cord. As discussed above, the centroid image for transmission light sources is an image of the test jumper assembly illuminated by a calibration light source. For measurement light sources, the same image shall be used to find both the optical centre of the fibre and to compute the encircled flux. Use 8.1 to acquire the centroid image.

NOTE A transmission light source centroid image can be used for any number of measurements of encircled flux as long as the test jumper assembly's optical centre is sufficiently stable with respect to the detector. Stability of the micropositioner, if used, and reasonable control of the ambient environment help ensure that the test jumper remains fixed in place.

8.3.3 Centroid computation

Using the centroid image, the near field centre is computed by finding the centre of gravity of each Cartesian axis independently.

To find the centroid, first find P_{Max} and P_{Min} respectively the intensities of the brightest and dimmest valid pixels in the entire centroid image (using invalid pixels will corrupt the determination of T), and then compute the threshold T

$$T = 0,1(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}) + P_{\text{Min}} \quad (2)$$

Next, compute the following three summations over all pixels, excluding pixels with intensities less than T , over the row and column indices r and c :

$$\begin{aligned} S_P &= \sum_{r=1}^{N_R} \sum_{c=1}^{N_C} \begin{cases} 0 & I(r,c) < T \\ I(r,c) & I(r,c) \geq T \end{cases} \\ S_r &= \sum_{r=1}^{N_R} \sum_{c=1}^{N_C} \begin{cases} 0 & I(r,c) < T \\ rI(r,c) & I(r,c) \geq T \end{cases} \\ S_c &= \sum_{r=1}^{N_R} \sum_{c=1}^{N_C} \begin{cases} 0 & I(r,c) < T \\ cI(r,c) & I(r,c) \geq T \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

Finally, compute the centroid, X_0, Y_0

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{S_c}{S_P} \\ Y_0 &= \frac{S_r}{S_P} \end{aligned} \quad (4)$$

8.4 Test source image acquisition

To acquire an image of the test source, connect the test source to the apparatus and energize the test source. Allow the test source to warm up as required, and then acquire an image of the test source using 8.1.

9 Computation of encircled flux

9.1 Computation of radial data functions

The first computation step reduces the 2-D pixel data into a 1-D radial function by averaging the pixels in sets of nested and overlapping annular rings of thickness $2W$ (where W is $0,2 \mu\text{m}$ unless otherwise specified) centred on the optical centre of the fibre, X_0, Y_0 , as defined in 8.2.2. The spacing of the rings is W microns, although the ring's radial coordinate in the resulting radial data functions will be the radial centroid of the radial coordinates of the pixels in the ring.

In Figure 4, the filtering concept is illustrated. The elements of the square grid are the pixels of the image. Two rings, centred on the optical centre X_0, Y_0 , are shown: the outer ring is hatched vertically and the inner ring is hatched horizontally. Each ring has a width $2W$, and overlap in a region W wide. The overlap region in the diagram is cross-hatched. The greyed-in pixels are the pixels which will be averaged into the outer ring, since their centres fall inside the outer ring's boundary.

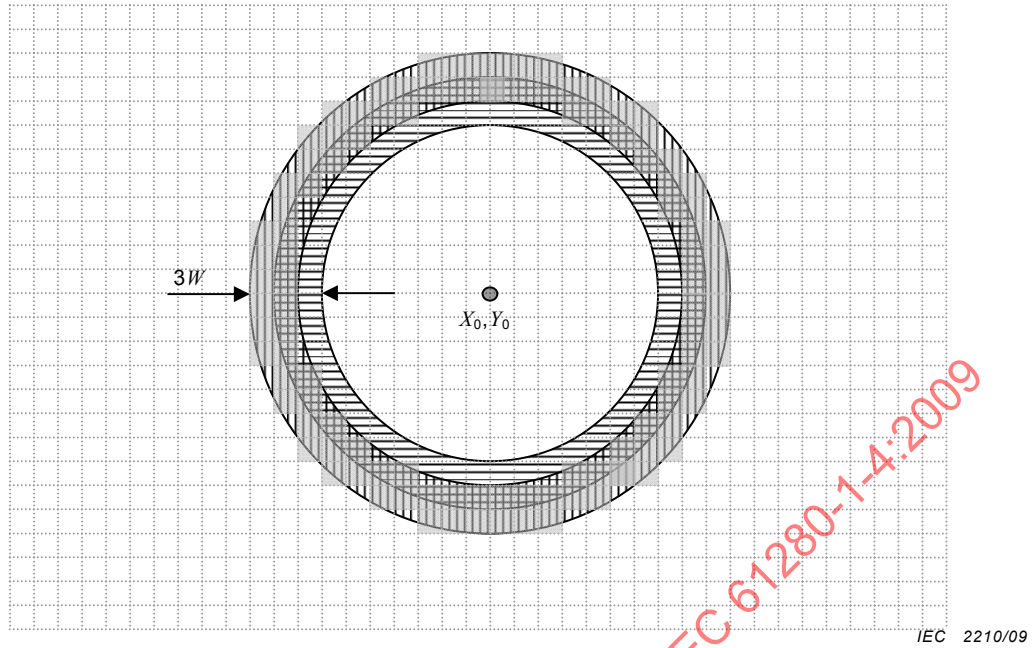


Figure 4 – Pixel and ring illustration

Use the following steps to compute the radial functions.

- Determine the maximum radius of a complete ring. This step finds the largest ring that will fit in the image without being truncated by an image boundary. Compute the shortest distance to the edge of the image from the image centre

$$\begin{aligned} D_L &= S_X X_0 \\ D_R &= S_X (N_C - X_0) \\ D_T &= S_Y Y_0 \\ D_B &= S_Y (N_R - Y_0) \\ D &= \min(D_L, D_R, D_T, D_B) \end{aligned} \quad (5)$$

where *min* finds the minimum of the four distances. Next, compute the number of rings, N_R , as

$$N_R = \frac{D - W}{W} \quad (6)$$

- Allocate and zero the three summation arrays, $S_R(0..N_R)$, $S_I(0..N_R)$, and $S_N(0..N_R)$

For each and every pixel (on row r and column c), perform the following steps:

- Compute the radial coordinate:

$$R = \sqrt{S_Y^2 (r - Y_0)^2 + S_X^2 (c - X_0)^2} \quad (7)$$

- Compute the ring index i

$$i = \text{trunc}\left(\frac{R}{W}\right) + 1$$

- If i is less than or equal to N_R then sum into both ring i and ring $i-1$

$$\begin{aligned} S_R(i) &= S_R(i) + R \\ S_I(i) &= S_I(i) + I(r, c) \\ S_N(i) &= S_N(i) + 1 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S_R(i-1) &= S_R(i-1) + R \\ S_I(i-1) &= S_I(i-1) + I(r, c) \\ S_N(i-1) &= S_N(i-1) + 1 \end{aligned} \quad (9)$$

The above double sum implements the overlapping-ring smoother.

- f) Finally, compute the parametric function pair (where i is the parameter) for each ring by computing the average radius and average intensity in each ring

$$\begin{aligned}\bar{R}(i) &= \frac{S_R(i)}{S_N(i)} \\ \bar{I}'(i) &= \frac{S_I(i)}{S_N(i)}\end{aligned}\quad (10)$$

NOTE Depending on the camera's resolution and the ring thickness selected, it is possible for some of the interior rings to contain no pixels, and so the corresponding S_N values will be zero. In this case, the ring should be omitted and the subsequent array elements shifted up, and N_R should be decremented. It is also possible for two or more adjacent rings to have the same $\bar{R}$ (or trivially identical, say within 0,01 μm) – in these cases the radii and intensities in these adjacent rings should be averaged, and those rings replaced with one ring of averaged $\bar{R}$ and averaged intensity, and N_R should be decremented appropriately.

9.2 Integration limit and baseline determination

9.2.1 Integration limit

The general equation for encircled flux is

$$EF(r) = \frac{\int_0^r r' I(r') dr'}{\int_0^\infty r' I(r') dr'} \quad (11)$$

Measurable nearfield intensity does not extend very far beyond the fibre's core boundary, and so it is justifiable to truncate the denominator integral at a radius somewhere beyond the core. From a measurement perspective, extending the integral far beyond the core only integrates noise and so only increases the noise of the measurement.

The integration limit, R_{Max} , shall be set to 1,15 times the nominal core radius of the fibre connected to the test source, for example R_{Max} would be set to 28,75 for 50 μm fibre. The maximum index, i_{Max} , can then be found as the index of the first radius in $\bar{R}(i)$ which is greater than or equal to R_{Max} .

9.2.2 Baseline determination

Determine the average baseline intensity, B , as the average of a set of $\bar{I}'(i)$ nearby, but outside the core's nearfield. The set of points shall include points from R_{Max} outwards in radius. The limit where averaging shall be terminated, unless otherwise specified, shall be at radii no greater than 1,2 times the nominal core radius of the fibre connected to the light source.

9.2.3 Baseline subtraction

Compute the baseline-subtracted intensity function

$$\bar{I}(i) = \bar{I}'(i) - B \quad 0 \leq i \leq i_{\text{Max}} \quad (12)$$

9.3 Computation of encircled flux

The computation of encircled flux is done in two steps: integrating the radius-weighted radial data function $\bar{R}, \bar{I}$, and then normalizing the function to a maximum of unity. This process will produce another parametric function pair, $\bar{R}$ and EF .

To compute the integral, it has been shown that simple summation or rectangular rule integration produce errors of approximately 0,25 %. These errors can easily be avoided by employing higher-order integration methods. Trapezoidal rule integration is shown in Equation 13 (The special case at index zero stems from the fact that the radius-intensity product at zero radius is identically zero.)

$$EF'(i) = \begin{cases} \frac{\bar{R}(0)^2 \bar{I}(0)}{2} & i = 0 \\ EF'(i-1) + \frac{\bar{R}(i)\bar{I}(i) + \bar{R}(i-1)\bar{I}(i-1)}{2} \times (\bar{R}(i) - \bar{R}(i-1)) & 0 < i \leq i_{\text{Max}} \end{cases} \quad (13)$$

The EF function is then computed as the normalization of EF'

$$EF(i) = \frac{EF'(i)}{EF'(i_{\text{Max}})} \quad (14)$$

In many cases, values of encircled flux at radial values other than the discrete values of $\bar{R}$ are required. It is sufficiently accurate to employ linear interpolation to produce these intermediate values.

10 Results

10.1 Information available with each measurement

Report the following with each measurement:

- date and time of measurement;
- identification of source specimen;
- nominal wavelength of source;
- the radius and encircled flux at each radius specified in the detail specification, or if not specified, the radii and encircled flux data computed in Clause 9;
- EF as a graph as a function of radius, including any specified template limits.

10.2 Information available upon request

The following information shall be available upon request:

- date of most recent calibration of equipment;
- method of calibration of equipment;
- the ring width, W , used in the computations;
- the integration limit parameters, R_{Max} and i_{Max} ;
- the original images used in the computations;
- the geometric calibration factors, S_X and S_Y ;
- the derived centre, and if different, the centroid image;
- the radial data functions computed in 9.1.

11 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

- type of source to be measured;
- sampling requirements, if any;
- criteria to be met by sources;

- any deviations to the procedure that may apply;
- radii at which the *EF* is to be reported;
- the *EF* template used to report results.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61280-1-4:2009

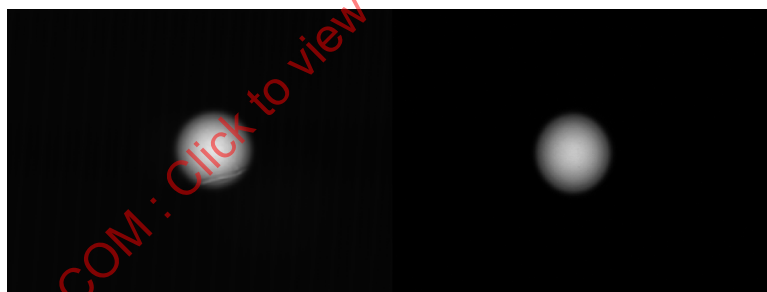
Annex A (informative)

Measurement sensitivity considerations

A.1 Baseline averaging considerations

A tradeoff exists when selecting the region where baseline averaging is performed (see 9.3). The baseline value, B , is subtracted from the entire set of intensities. If the value of B is taken a single intensity point, then the noise of the system would increase substantially (approximately by the square root of two). Averaging a region of intensities decreases this noise contribution; if all points in the intensity function have uncorrelated noise, then the noise will increase by the square root of one plus the number of intensities averaged. However, imperfections in the optical system of the apparatus, or imperfections in the camera, can make the baseline region outside the core non-constant, and so averaging the entire baseline region may cause a bias in B . Selecting an appropriate region over which to make the baseline determination should be done by characterizing the actual apparatus. This section analyzes two different images from two different instruments to illustrate methods an instrument designer might use to determine how far baseline averaging should extend into the intensity function.

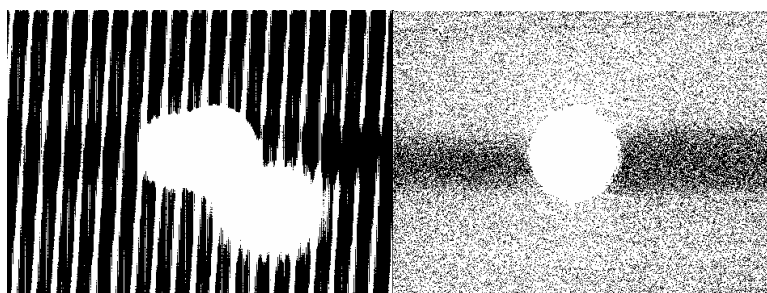
The two images shown in Figure A.1 below are from two similar instruments (the instruments do not use like components). Both use analogue cameras and PC-integrated frame grabbers, and have similar effective pixel sizes. The images are of two different, but similarly filled, 50 μm fibre cores. Instrument A shows a small imperfection on the lower portion of the core, but for this analysis, this imperfection is not important.



IEC 2211/09

Figure A.1 – Core images from instrument A and instrument B

It is useful to modify the display of the images such that pixels lower than the average background intensity are set to black, and pixels above the average background intensity are set to white to see small non-idealities in the images. The Figure A.2 below shows the two images from Figure A.1 reprocessed in this way.



IEC 2212/09

Figure A.2 – Compressed core images from instrument A and instrument B

Instrument A shows a small amount of video pattern noise (the nearly vertical white and dark pattern). Instrument A also shows two white spots not attributable to the core image (to the left and bottom-right of the image). These spots are most probably due to small reflections in the optical system. Instrument B has a small, horizontal stripe across the centre of the image. This section of the background has slightly less intensity than other regions of background in the image, and is due to recovery artefacts in the CCD sensor used in the camera. When we process these images to produce 1-D radial functions as described in 9.1 and we look carefully at the resultant nearfield functions in the baseline, two different patterns emerge.

Since instrument A has a baseline which includes small reflections, the baseline is not constant. The flat section within the reflection region is also between the default averaging radii of 1,15 to 1,2 times the nominal core radius, as shown by the vertical dotted lines (see Figure A.3 below). The baseline near the core includes the additive effect of the reflections; these reflections extend into the image of the core, and so the best estimate of the baseline should include the reflections. If averaging occurred beyond the default averaging radii, the baseline would be biased downward.

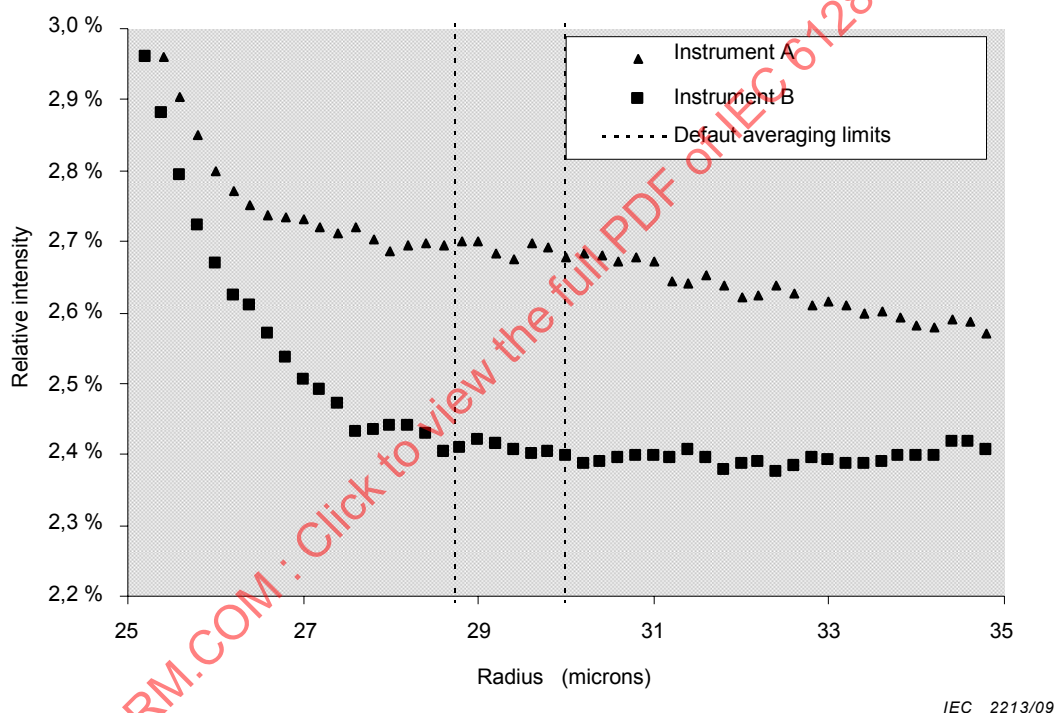


Figure A.3 – Intensity versus radius for Instruments A and B

Instrument B has very small modulations in the baseline, and the baseline can be determined by averaging the entire set of data beyond the integration limit of 1,15 times the nominal core radius, thus reducing noise in its estimate.

A.2 Pixel sensitivity variation calibration

Perform the following procedure to determine the pixel sensitivity variation correction matrix $U_{r,c}$. Record the image, I_{uRaw} , on the detector when illuminated with a uniform (to within 1 %) illuminated area bright enough to almost saturate the camera, about 75 % of saturation. (The inside of a small integrating sphere works well as a uniformly illuminated area.) Next, record the dark image, I_{uDark} , when the uniform source is off. Compute the average pixel, P_{uAvg} , as

$$P_{uAvg} = \frac{\sum_{r=1}^{N_r} \sum_{c=1}^{N_c} (I_{uRaw_{r,c}} - I_{uDark_{r,c}})}{N_r N_c} \quad (A.1)$$

Compute each element in U as

$$U_{r,c} = \frac{P_{uAvg}}{I_{uRaw_{r,c}} - I_{uDark_{r,c}}} \quad (A.2)$$

The resulting element values will typically range from 0,90 to 1,10. They are to be multiplied by their corresponding pixels, to normalize those pixels to the average sensitivity of all pixels, for every measurement that is made.

A.3 Correlated double sampling

One can use "correlated double sampling" (CDS) to almost completely eliminate CCD camera offsets, and their temperature sensitivity, at the cost of some added equipment complexity. Correlated double sampling is also quite effective against uncorrelated stray light. Makers of specialized instruments intended to perform the measurements described in the present standard would be well advised to implement correlated double sampling.

To implement CDS, one blinks the laser or incoherent calibration source at something like 5 Hz to 60 Hz, and electrically synchronizes the camera to the blinking such that odd frames are dark (source off), while the even frames see the nearfield being measured (source on), later subtracting the odd frames from the preceding even frames pixel for pixel, yielding an offset-corrected 2D nearfield flux distribution. For best calibration, the on time should exactly equal the off time. If one is averaging a series of frames, add all even frames, subtract all odd frames, and divide by the number of even frames. CDS would replace the entire offset correction scheme in 5.2, but pixel sensitivity correction will still be required. If many measurements are to be made, such as in a factory, this approach can be a time saver, as many sources of inaccuracy that would otherwise require time and care to prevent manually are simply eliminated. The chosen blink rate should be an exact sub-multiple of the local power-line frequency, 50 Hz or 60 Hz, to ensure maximum discrimination against stray artificial light and electrical noise, so that an integral number of power frequency sine waves will fit in the time that the source is either on or off. For example, with 60-Hz power, the on time and off time could both be 1/30 of a second (two complete cycles fit in the on period, and another two complete cycles fit in the off period), for a blink rate of 15 Hz. It is not necessary to phase lock the sampling period to the power line; it is sufficient that the sampling period be an exact multiple of the power line cycle period.

A.4 Imperfections of practical detectors and optics

Cameras vary in their mechanical construction, age, condition, and state of adjustment. Some will contain two-dimensional detectors, where the distortions will be due largely to optics and non-square pixels. Some will mechanically scan a one-dimensional (linesman) CCD more or less perpendicular to its line of pixels. Some will mechanically scan a single pixel (a pinhole) in two dimensions. Others will scan a set of perhaps orthogonal slits over a single large-area detector. Imperfections in these mechanical scanners will cause the X-direction and Y-direction magnification to differ significantly, and non-perpendicularity of the various mechanical components can also cause shearing (where motion along one axis causes apparent motion in another axis). The camera body (or the CCD chip within) may be slightly rotated about the camera's Z (optical) axis, and the camera may also be slightly tilted with respect to the test jumper assembly's optical axis.

In mathematical terms, all of these geometric distortions can together be expressed as a single overall "affine transformation" between "true space" (micropositioner coordinates) at the fibre face and the "TV space" reported by the camera. Affine transforms are easily expressed with matrices. In practice, one measures the camera's distortions, derives the

affine transform, and uses the transform to mathematically compensate subsequent measurements for the camera's geometric distortions. No two cameras will be exactly alike, so this compensation shall be done on a per camera basis (that is, by serial number). In general, if a camera is working well, it is better to calibrate and compensate mathematically than to try to physically adjust the camera. But in any case one shall recalibrate whenever the camera is repaired or adjusted, or the mounting of components to the optical bench or optical plate is disturbed.

Dark current: dark current, which is due to various kinds of electrical leakage within the photodiodes of the CCD chip at the heart of the camera, is very sensitive to temperature, typically doubling for each seven degrees centigrade rise in chip temperature. No two pixels (or CCDs) will have exactly the same dark current. Because dark current is integrated during each exposure period, the output voltage offset induced by dark current will vary in direct proportion to exposure duration (integration time).

Fixed-pattern noise: fixed-pattern noise, which is due to capacitive feed through of logic clock signals into video lines within the CCD chip, has a repetitive and usually complex pattern that does not vary significantly with temperature, illumination, or exposure duration. The pattern is fixed from pixel to pixel; any given pixel will have a substantially constant value.

Pixel crosstalk noise: pixel crosstalk, which is caused by imperfect charge transfer from pixel to pixel as the image is being shifted to the output, causes smearing of the image and bleeding into background areas.

Under reasonable laboratory conditions, these offsets (dark current and fixed-pattern) and pixel crosstalk combined are typically no more than about 5 % or 10 % of saturation, if stray light has been fully eliminated and the exposure duration is short enough for the temperature.

Pixel sensitivity variation: the sensitivity (responsivity) of individual pixels to light varies by up to ± 10 % from the mean due to manufacturing variations, but does not vary significantly with temperature, illumination, or exposure duration, so long as both saturation ceiling and noise floor are avoided.

Bad pixels: a few pixels will have little sensitivity to light, remaining stuck at some high or low value, or being very much less sensitive to light than average. Because even 100 bad pixels out of the 30 000 active pixels in a 256x256 picture has negligible effect on the results, we simply ignore bad pixels in the procedures given here except when determining the centroid threshold, making no attempt to eliminate or compensate for bad pixels.

The above discusses the imperfections of the imager chip itself. However, the optical system containing the imager has imperfections as well, in addition to the mechanical misalignments that are calibrated out in Clause 7 and Annex C. For the purposes of the present standard, the principal such imperfection is that caused by internal reflections in the optical system, especially reflections within and between the microscope objective and the detector. Reflections can be produced at any optical discontinuity, but especially at air/glass interfaces. These interfaces can be found at the outer surfaces of the magnifying optics, attenuators and filters, beam splitters and the window of the detector package that protects the imager chip. It is possible to use windowless detector packages; this practice may expose the imager chip to the environment causing reliability problems. The degree to which these reflections affect the measurement of encircled flux depends on the location of the reflections within the image, the reflection's intensity, and the shape of the reflection.

The useful way to tell if a spot in an image is caused by a reflection is to move the fibre end-face (input port) in the XY plane, and observe the resulting motion of the spots. Reflections will generally move along the line of fibre end-face motion, but at a greater or lesser speed than the direct image of the fibre end-face, and often in the opposite direction. Compressing and false-colouring these images, as demonstrated in Figure A.2, may help in detecting these reflections.

The most common remedy is the use of anti-reflection coatings on all optical surfaces, and this works reasonably well if the test wavelength is well matched to the wavelength range for which the coating was designed.

In addition, one can arrange the optical system such that reflections fall in harmless locations. The simplest way to accomplish this is to move the centre of the fibre face to one side of the microscope objective's optical axis and the centre of the imager chip to the other side, while maintaining the various planes (image, object, and principal) parallel, depending on the flat field of the objective to maintain focus despite these displacements. Then, light from the objective will arrive at an angle to the window, and will be reflected off to one side.

The parallel-displacement approach mentioned above is a special case of the "Scheimpflug condition", which is the principle behind view cameras in photography. The Scheimpflug Condition is met when the image plane, the object plane, and the corresponding lens principal planes all intersect the same line. This intersection line will be well away from the image or object, and in the case of parallel displacement, will be at infinity.

When the Scheimpflug condition is met, the image will be in perfect focus despite the tilted image, lens, and object planes. With parallel planes, the magnification factors do not depend on location in the image; while with intersecting planes, the magnification factors will vary linearly with location in the image. This varying magnification factor is easily handled using projective geometry, but the considerable added complexity did not seem justified, as the parallel planes and affine geometry of the present standard approach are adequate.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF 61280-1-4:2009

Annex B (informative)

Theory of geometric calibration using the micropositioner

B.1 Background and assumptions

The purpose of the procedure developed and documented here is the calibration of optical systems using mechanical positioning stages for use in this standard.

There are two coordinate systems of interest here, that of the mechanical positioning stage (called variously the object or the true coordinate system) and that of the camera (called variously the video or image coordinate system). The optical fibre whose nearfield is being measured physically exists in the object space, and is projected by a microscope objective onto the sensitive area of the imaging chip (within the camera) to form the image.

The XY planes of the two coordinate systems are parallel to one another, and are perpendicular to the optical (Z) axis of the microscope objective.

The X and Y (row and column, respectively) axes of the camera are assumed to be exactly perpendicular to one another, both by convention and because in practice the rows and columns of imager chips have essentially perfect orthogonality.

The X and Y axes of the mechanical stage are assumed to be nearly but not exactly perpendicular to each other, the skew angle (deviation from orthogonality) not exceeding $\pm 5^\circ$.

The rotation of the image coordinate system with respect to the object coordinate system is assumed to not exceed $\pm 5^\circ$.

These $\pm 5^\circ$ limits are based on the expected maxima in practical systems, and the procedure developed here will actually handle angles up to a bit less than $\pm 45^\circ$. The worst case is at the limit, with skew and rotation angles having opposite signs.

Whatever the values of the rotation and skew angles, they are expected to be constant once the components of the optical system are bolted together and locked.

Without loss of generality, the rotation angle is measured between the two X axes, and so the angle between the Y axes will be the algebraic sum of rotation and skew. In other words, all of the skew is by convention allocated to the Y axis of the object coordinate system.

The origin of the object (mechanical stage) coordinate system is likely to be remote from the outline of the fibre core and also from the origin of the image (camera) coordinate system, as mechanical stages usually have travel ranges in the millimetres. The origins are usually at a corner, and are rarely in the centre of either object or image plane.

To summarize, the coordinate system of the camera imager will in general be slightly rotated with respect to that of the stage, the axes of the stage will not be quite perpendicular, the origins of the two systems will not in general coincide, and the optical axis of the objective lens will usually fall well away from either origin.

The magnifications (scaling factors S_x and S_y) in the X and Y (column and row) directions are not in general equal, although their ratio usually falls between 1:2 and 2:1, with 1:1 signifying square pixels. Scaling arises from two distinct physical causes. The first is the general $\sim 40\times$ magnification due to the microscope objective, which magnification will in general be exactly

the same in all directions in the image planes. The second is due to the shape of the pixels in the camera, and this will in general be different in the row and column directions of the imager chip, as the pixels are rectangular and not necessarily square. In practice, these effects are merged into a pair of overall scaling factors which in effect give the X and Y dimensions of an imager pixel as projected upon the face of the fibre in object space, with the effects of rotation and skew mathematically removed. This rotation will appear to be a rigid-body rotation only if the imager pixels are exactly square. Because the fibre has no preferred or distinguished orientation, for simplicity the axes of the imager are used.

One objective is commonality with IEC 61745, in particular by use of the same definition of S_X and S_Y as provided in 2.3.4.1 of that standard, such that one can use S_X and S_Y values generated using the IEC 61745, 2.3.4 approach for S_X and S_Y in this standard. Both S_X and S_Y are the ratio of object-space (IEC 61745: calibrated) motion to corresponding image-space (IEC 61745: measured) motion, aligned along the CCD row and column axes respectively. The units of S_X and S_Y are microns per pixel.

B.2 Mathematical development

After mechanically assembling the optical system consisting of stage, fibre, microscope objective lens, and camera, calibration is required. This is accomplished by illuminating the fibre with light of reasonable spectral width and reasonably symmetric nearfield intensity distribution, and moving the fibre in the object XY plane to three well-separated non-collinear positions. At each position, the X and Y coordinate settings of the stage are recorded and an image is captured. In each image, the centroid of flux exceeding a threshold is computed (as described in 8.3.3) and used as the corresponding position in image space.

NOTE 1 If different light sources are used for calibration and for subsequent nearfield intensity distribution measurement, the spectra of the two sources should be similar in center wavelength and perhaps spectral width, as the magnification factor of microscope objectives varies with wavelength.

For accuracy, each of the calibration positions shall be far enough from all edges of the image frame that no above-threshold pixels are clipped by an encroaching frame edge. Also, the response of the imager chip to illumination shall be substantially linear, so saturation shall be avoided. The best arrangement of points is a big, roughly equilateral triangle, or a right triangle. The exact shape isn't critical, so long as it roughly follows the edges of the frame, sufficiently far from the edges to avoid clipping off parts of the calibration-point nearfields.

One can test for adequate non-collinearity and adequate separation of the calibration points by computing the area of the triangle formed by the calibration points, and requiring that the ratio of triangle area to image-frame area exceed some minimum value. This may be done in pure pixel coordinates, without regard for the actual shape of the pixels, as pixel shape will cancel out in the ratio of areas.

All information needed to compute the X-axis and Y-axis scaling factors despite rotation, skew, and translation is contained in the locations of the three calibration points as seen in object and image space.

The first step is to compute the homogeneous affine transform matrix describing the relationship between object and image planes.

The general form of the transform is :

$$p'_i = M \times p_i \quad (\text{B.1})$$

where

$$p_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \text{ and } p'_i = \begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

are the locations of the i^{th} calibration point in *object* and *image* space respectively,

$$M = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ is the affine transform matrix in homogeneous form,}$$

$i = 1, 2, 3$, and the $\times$ symbol means matrix multiplication.

Considering the transform matrix M , the physical interpretation of the elements $a \dots f$ follow: a is the nominal magnification in the X direction (but is not S_x); b is the apparent motion in X due to real motion in Y; c is the translation in X; d is the apparent motion in Y due to real motion in X; e is the nominal magnification in the Y direction (but is not S_y); and f is the translation in the Y direction.

To compute M from the calibration points requires some matrix math. The derivation follows.

The first step is to form a linear system consisting of the three points and the matrix to be found:

$$P' = M \cdot P \quad (\text{B.2})$$

where $P' = [p'_1 \ p'_2 \ p'_3]$ and $P = [p_1 \ p_2 \ p_3]$ are row vectors whose elements are column vectors, with primed symbols describing points in image space while unprimed symbols describe points in object space.

The next step is to solve for M :

$$M \cdot (P \cdot P^{-1}) = P' \cdot P^{-1} \quad (\text{B.3})$$

$$M = P' \cdot P^{-1} \quad (\text{B.4})$$

where P^{-1} signifies the matrix inverse of P .

Note that the homogeneous space is closed under matrix multiplication. So, all operations that yield a position vector should automatically yield "1" (within roundoff error) as the last element, and all operations that yield a transform matrix should automatically yield {0,0,1} (also within roundoff error) as the last row. If these constants fail to automatically emerge from the computations, there is an error in the code. It is useful to test that such assertions are always met, as their failure indicates that the results of further computations will at least be in error, and may be total nonsense.

NOTE 2 Although not required in the present algorithm, after testing for ≈ 0 and ≈ 1 , it is common to round these constants to exactly zero or exactly one as appropriate, to reduce the accumulation of small numerical errors.

The upper left 2x2 sub-matrix (consisting of all but the constant and translation terms) of the transform matrix M contains all the skew, rotation and scaling information, uncontaminated by translations. As translations are no longer needed, the homogeneous form is also no longer needed, and the row containing the constants {0,0,1} may also be omitted, so what remains is the 2x2 sub-matrix containing only the elements a , b , d and e :

$$D = \begin{bmatrix} a & b \\ d & e \end{bmatrix} \quad (\text{B.5})$$

The geometric transforms necessary to get from image space to object space are applied in a specific order, following in reverse the path of light from fibre face through lens to imager chip. Specifically, pixel scaling is first, implicitly followed by translation (to account for non-coincidence of the origins), followed by rotation of coordinate systems, and finally followed by skewing of the object coordinate system. The effect of translation will drop out regardless of where it is done in the light-path sequence, but order matters for all else.

First, the skew matrix:

$$K = \begin{bmatrix} 1 & \sin\varphi \\ 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (\text{B.6})$$

where φ is the skew angle, being the deviation from perpendicular (obliqueness) of the object coordinate system's X and Y axes.

Then, the rotation matrix:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (\text{B.7})$$

where θ is the rotation angle, being the angle between the object and image X axes.

And finally the scaling matrix:

$$S = \begin{bmatrix} M_x & 0 \\ 0 & M_y \end{bmatrix} \quad (\text{B.8})$$

where M_x and M_y are the inverses of the long-sought pure scaling factors.

To find the net effect, these matrices are multiplied in reverse order from that in which their effects are applied in the optical system. Their reverse order is a consequence of the formulation of Equation B.1.

$$D = S \times R \times K = \begin{bmatrix} M_x \cos\theta & M_x (\cos\theta \sin\varphi - \sin\theta \cos\varphi) \\ M_y \sin\theta & M_y (\cos\theta \cos\varphi + \sin\theta \sin\varphi) \end{bmatrix} \quad (\text{B.9})$$

where θ is the rotation angle, φ is the skew angle, and M_x and M_y are the multiplicative inverses of the pure scaling factors (and are not equal to elements a and e unless the rotation and skew angles are both zero).

After application of some trigonometric identities, we have

$$D = S \times R \times K = \begin{bmatrix} M_x \cos\theta & M_x \sin(\theta - \varphi) \\ M_y \sin\theta & M_y \cos(\theta - \varphi) \end{bmatrix} \quad (\text{B.10})$$

The objective is to isolate the inverse pure scaling factors M_x and M_y given only the numerical values for a , b , d and e derived from measurements at the calibration points.

The key observation is that if one tries to find these angles and inverse scaling factors directly, mathematical singularities appear at various angles and combinations of angles, including zero rotation and zero skew. However, the ratios b/a and d/e are well-behaved, being free of all such singularities in the domain of interest.

First, define the ratios r_1 and r_2 :

$$r_1 = \frac{b}{a} = \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos\theta} \text{ and } r_2 = \frac{d}{e} = \frac{\sin\theta}{\cos(\theta - \varphi)} \quad (\text{B.11})$$

Then square the ratios:

$$r_1^2 = \frac{\sin^2(\theta - \varphi)}{\cos^2\theta} \text{ and } r_2^2 = \frac{\sin^2\theta}{\cos^2(\theta - \varphi)} \quad (\text{B.12})$$

Define the intermediate variables X , $(1-X)$, Y and $(Y-1)$:

$$X = \cos^2(\theta), Y = \cos^2(\theta - \phi); (1 - X) = \sin^2(\theta), (1 - Y) = \sin^2(\theta - \phi) \quad (\text{B.13})$$

The ratios may now be expressed as functions of these intermediate variables:

$$r_1^2 = \frac{1 - Y}{X} \text{ and } r_2^2 = \frac{1 - X}{Y} \quad (\text{B.14})$$

Solve for X and Y :

$$X = \frac{r_2^2 - 1}{r_1^2 r_2^2 - 1} \text{ and } Y = \frac{r_1^2 - 1}{r_1^2 r_2^2 - 1} \quad (\text{B.15})$$

In theory, X and Y cannot be less than zero or more than unity. In practice, when computed from measured data, X and Y may nonetheless very slightly exceed this range.

The excess over unity will never be more than slight because even with large errors in measurement of the point locations in object space, there is always a set of rotation and skew angles plus scale factors that allow one to transform between object and image spaces. The effect of measurement errors is therefore to cause proportionate errors in the resulting pure scaling factors, but the X and Y values will never significantly exceed unity. The remaining very slight excess over unity is therefore harmless in the present algorithm, and so will be ignored.

The less-than-zero case is covered by requiring X and Y to exceed specified minimum values. If $X \leq \cos^2(5^\circ)$, the rotation angle is too large. Likewise, if $Y \leq \cos^2(10^\circ)$, the skew angle is too high. The limits in the two cosines differ because the worst case for Y is when rotation and skew angles have different signs, while X depends only on the rotation angle. The mathematical limit is closer to 40° , where $1/\cos(\theta)$ becomes too large and too noisy to support the desired accuracy.

Given the two intermediate variables X and Y , the inverses of the pure scaling factors may be computed as follows:

$$M_x = \frac{a}{\sqrt{X}} \text{ and } M_y = \frac{e}{\sqrt{Y}} \quad (\text{B.16})$$

And then we compute the pure scaling factors:

$$S_x = \frac{1}{M_x} \text{ and } S_y = \frac{1}{M_y} \quad (\text{B.17})$$

This concludes the derivation. The procedure is described in normative Annex C.

Annex C (normative)

Procedure for geometric calibration using the micropositioner

Step 1. Collect object and image locations of three points. This is accomplished by illuminating the fibre with a calibration light source (see 5.1.9), and using the micropositioner to move the fibre in the object XY plane to three well-separated non-collinear positions, just inside the image frame borders. At each position, the X and Y coordinate settings of the stage is recorded and an image is captured. In each image, the centroid of flux exceeding a threshold is computed and used as the corresponding position in image space.

For accuracy, all of the positions shall be far enough from all edges of the image frame that no above-threshold pixels are clipped by an encroaching frame edge, and all above-threshold intensity values shall be from the linear range of the imager chip.

Also for accuracy, the error in X-coordinate (Y-coordinate) location cannot exceed $\pm 1\%$. In other words, if X-coordinate length of the smallest axis-aligned rectangle into which the calibration points fit is $200\text{ }\mu\text{m}$, the total error in X-coordinate values cannot exceed $200/100 = 2\text{ }\mu\text{m}$. Likewise Y.

The calibration points are identified as p_i (as seen in object space) and p'_i (the same point as seen in image space), where i runs from 1 to 3. The order of numbering the calibration points is not significant.

Step 2. If there are fewer than three calibration points, stop processing and report an “insufficient calibration points” error. Otherwise, continue processing.

Step 3. If any of the calibration points falls too close to any edge of the image frame, stop processing and report a “frame encroachment” error. Otherwise, continue processing.

Step 4. If the intensity of more than 1% of the valid pixels exceeds 95% of the maximum possible linear intensity value, stop processing and report a “pixel saturation” error. Otherwise, continue processing.

Step 5. Verify that the calibration points are neither collinear nor too close together by computing the area of the triangle formed by the points, and comparing this area to the area of the image frame containing the points.

Compute the area of the triangle¹:

$$A_{\text{triangle}} = \frac{1}{2} \text{abs}(\det[P']) \quad (\text{C.1})$$

where

$P' = [p'_1 \ p'_2 \ p'_3]$ contains the three calibration points as seen in image space,

$p'_i = \begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix}$, $\det[]$ is the determinant, and $\text{abs}()$ is the absolute-value function.

¹ This formula may be derived from “The Surveyor’s Area Formula”, Bart Braden, The College Mathematics Journal, September 1986, v.14, n.4, pages 326-337.

If A_{triangle} covers less than 10 % of the area of the image, stop processing and report a “calibration point geometry” error. Otherwise, proceed to next step.

Step 6: Compute the following data matrix:

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ q & r & s \end{bmatrix} = P' \times P^{-1} \quad (\text{C.2})$$

where

$$P' = [p'_1 \quad p'_2 \quad p'_3] \text{ and } P = [p_1 \quad p_2 \quad p_3]$$

$$p_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \text{ and } p'_i = \begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix},$$

Step 7: Verify the assertion that the constants q , r , and s have emerged correctly as $\{0,0,1\}$, to within roundoff or numerical error, as a general test on the programming. This test cannot be failed by bad data – a coding or algorithm error is required. Compute the deviation from the expected constant values:

$$C_{\text{err}} = \text{abs}(q) + \text{abs}(r) + \text{abs}(1-s) \quad (\text{C.3})$$

where $\text{abs}(\cdot)$ is the absolute-value function.

If C_{err} exceeds 10^{-6} , stop processing and report a fatal “failed constants-value program assertion” error. Otherwise, continue to next step.

Step 8: Compute the intermediate variables X and Y :

First, compute the squared ratios:

$$r_1^2 = \left(\frac{b}{a}\right)^2 \text{ and } r_2^2 = \left(\frac{d}{e}\right)^2 \quad (\text{C.4})$$

Then, compute X and Y from the squared ratios:

$$X = \frac{r_2^2 - 1}{r_1^2 r_2^2 - 1} \text{ and } Y = \frac{r_1^2 - 1}{r_1^2 r_2^2 - 1} \quad (\text{C.5})$$

Step 9: If $X \leq \cos^2(5^\circ)$, report a fatal “rotation angle too large” error and stop processing. Otherwise, proceed to next step.

Step 10: Likewise, if $Y \leq \cos^2(10^\circ)$, report a fatal “skew angle too large” error and stop processing. Otherwise, proceed to next step.

Step 11: Given the intermediate variables, the pure scaling factors are computed as follows:

$$S_x = \frac{\sqrt{X}}{a} \text{ and } S_y = \frac{\sqrt{Y}}{e} \quad (\text{C.6})$$

Step 12: Return the pure scaling factors S_x and S_y which have units microns per pixel, for use in converting image dimensions into object dimensions. This completes the procedure.

Bibliography

IEC 60793-1-20, *Optical fibres – Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry*

IEC 60793-1-41, *Optical fibres – Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth*

ANSI/EIA-440-B:2004, *Fiber optic terminology*

Foley et al, Addison-Wesley, *Computer graphics: principles and practice*, 2nd edition, 1990²

Holst, Gerald C., *Electro-optical imaging system performance*, JCD Publishing et SPIE Press, 1995

James R. Janesick, Morely M. Blouke, and J. Freeman, *Scientific charge-coupled devices*, Optical Engineering, August 1987, Vol. 26, No. 8, pp. 692-714

James R. Janesick, *Scientific charge-coupled devices*, SPIE Press, 2001

David F. Rogers et J. Alan Adams, McGraw-Hill, *Mathematical elements for computer graphics*, 2nd edition, 1990³

² Section 5.2, page 204 et seq, which has a clearly-written introduction to affine transforms, plus references to the mathematical literature. The physical meanings of the transform matrix elements are also explained.

³ More on affine transforms. Also covers spline curves, such as those used in FOTP-176. Be aware that Rogers uses equivalent but somewhat different mathematical conventions than Foley.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61280-1-4:2009

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	38
0 Introduction	40
0.1 Généralités.....	40
0.2 Modifications par rapport à la précédente édition	40
0.3 Hypothèses applicables à la caractérisation des sources des données.....	40
0.4 Hypothèses applicables à la caractérisation des sources des mesures.....	40
1 Domaine d'application	41
2 Références normatives.....	41
3 Termes et définitions	41
4 Symboles	43
5 Appareillage	44
5.1 Appareillage commun.....	44
5.1.1 Généralités.....	44
5.1.2 Ordinateur	44
5.1.3 Numériseur d'image.....	44
5.1.4 Détecteur	44
5.1.5 Optiques de grossissement	45
5.1.6 Affaiblissement	45
5.1.7 Micropositionneur (facultatif)	46
5.1.8 Port d'entrée.....	46
5.1.9 Source lumineuse d'étalonnage.....	46
5.2 Appareillage de la source de transmission.....	47
5.2.1 Généralités.....	47
5.2.2 Ensemble de liaison d'essai	47
5.2.3 Agitateur de fibre.....	47
5.3 Appareillage de la source de mesure.....	49
6 Échantillonnage et spécimens	49
7 Étalonnage géométrique.....	49
8 Procédure de mesure	49
8.1 Sécurité.....	49
8.2 Acquisition d'image	50
8.2.1 Acquisition d'images brutes	50
8.2.2 Acquisition d'images d'obscurité	50
8.2.3 Image corrigée	50
8.3 Détermination du centre optique.....	51
8.3.1 Généralités.....	51
8.3.2 Image du centroïde.....	51
8.3.3 Calcul du centroïde	51
8.4 Acquisition d'images de source d'essai.....	52
9 Calcul du flux inscrit	52
9.1 Calcul des fonctions des données radiales	52
9.2 Limite d'intégration et détermination de la ligne de base.....	53
9.2.1 Limite d'intégration	53
9.2.2 Détermination de la ligne de base.....	54
9.2.3 Soustraction de la ligne de base.....	54

9.3 Calcul du flux inscrit	54
10 Résultats	55
10.1 Informations disponibles pour chaque mesure	55
10.2 Informations disponibles sur demande	55
11 Informations relatives à la spécification	55
Annexe A (informative) Considérations sur la sensibilité des mesures	56
Annexe B (informative) Théorie de l'étalonnage géométrique à l'aide du micropositionneur	62
Annexe C (normative) Procédure d'étalonnage géométrique à l'aide du micropositionneur	68
Bibliographie	71
Figure 1 – Schéma fonctionnel de l'appareillage	44
Figure 2 – Montage typique pour les mesures de la source de transmission	47
Figure 3 – Exemple d'agitateur de fibre	48
Figure 4 – Illustration de pixels et d'anneaux	52
Figure A.1 – Images d'un cœur à partir d'un instrument A et d'un instrument B	56
Figure A.2 – Images d'un cœur compressé à partir d'un instrument A et d'un instrument B	57
Figure A.3 – Intensités en fonction du rayon pour les instruments A et B	58

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION À FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-4: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Méthode de mesure du flux inscrit de la source lumineuse

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61280-1-4 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 2003. Cette seconde édition constitue une révision technique. Les modifications techniques majeures par rapport à l'édition précédente sont décrites en introduction.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/920/FDIS	86C/932/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61280, présentées sous le titre général *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

0 Introduction

0.1 Généralités

La présente partie de la CEI 61280 sert à mesurer le flux inscrit d'une source lumineuse multimodale. Le flux inscrit est une mesure de la fraction de la puissance totale rayonnée par le cœur d'une fibre optique multimodale en fonction de son rayon.

L'approche de base consiste à rassembler les données de champ proche en 2D en utilisant une caméra étalonnée, et à convertir mathématiquement ces données en 2D en trois fonctions normalisées de la distance radiale par rapport au centre optique de la fibre. Les trois fonctions sont *l'intensité*, *le flux incrémental* et *le flux inscrit*. L'intensité a une puissance optique dimensionnelle par zone; le flux incrémental a une puissance dimensionnelle par différentiel de rayon; et le flux inscrit a une puissance optique totale dimensionnelle, les trois étant fonction du rayon.

Ces trois fonctions radiales sont destinées à caractériser des sources laser à fibres optiques utilisées dans des modèles mathématiques prévoyant la longueur garantie minimale d'une liaison de communication, ou pour qualifier une source lumineuse afin de mesurer la perte d'insertion dans des liaisons multimodales.

0.2 Modifications par rapport à la précédente édition

Le domaine d'application et le contenu de la présente édition de la norme sont différents de ceux de l'édition précédente. De nombreuses modifications du contenu améliorent la précision des mesures. Plusieurs modifications ont été apportées à la procédure de calcul:

- la méthodologie d'intégration des fonctions radiales était une simple somme, et il est maintenant spécifié qu'elle utilise l'intégration trapézoïdale ou d'autres techniques évoluées (voir 9.3);
- une étape de soustraction de ligne de base est spécifiée pour améliorer l'immunité aux dérives en courant continu (voir 9.2.2 et 9.2.3);
- le paramètre de largeur d'un anneau est spécifié explicitement (voir 9.2.1);
- la limite d'intégration est spécifiée (voir 9.3).

L'étalonnage géométrique du microscope spécifie maintenant (selon l'application) soit la méthodologie de la CEI 61745, soit la technique d'origine utilisant l'étagage de micro-positionnement (voir Article 7). La correction d'uniformité de sensibilité des pixels est maintenant facultative.

0.3 Hypothèses applicables à la caractérisation des sources des données

La fibre multimodale à gradient d'indice quasi parabolique à cœur de 50 μm ou 62,5 μm utilisée comme «ensemble de liaison d'essai» est traitée comme si elle présentait une symétrie circulaire parfaite autour de son centre optique. En effet, les asymétries dans les distributions de flux optiques injectées l'emporteront sur toute imperfection de l'ensemble de liaison d'essai. On suppose en outre que tous les modes de gaine seront extraits en traversant les dix mètres ou plus spécifiés de fibre. Il n'est pas nécessaire que les modes d'un groupe de modes transportent un flux égal. (En fait, avec de telles fibres courtes, mille mètres ou moins, une distribution inégale du flux dans les modes d'un groupe est la norme, pas l'exception.)

0.4 Hypothèses applicables à la caractérisation des sources des mesures

On suppose que les sources de mesure disposent d'une bande suffisamment large et qu'elles sont incohérentes pour que les «speckles» ne constituent pas un problème. On suppose également que la distribution du champ proche est suffisamment symétrique pour que le centroïde tronqué de ce champ proche indique l'emplacement du centre optique de la fibre avec une précision suffisante pour atteindre les objectifs de la présente norme.

PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION À FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-4: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Méthode de mesure du flux inscrit de la source lumineuse

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61280 est destinée à caractériser le flux inscrit de deux types de sources lumineuses: les sources lumineuses de transmission, qui sont généralement cohérentes et sous-excitant sensiblement le volume des modes d'une fibre multimodale et les sources lumineuses de mesure, qui sont incohérentes et excitent la majeure partie du volume des modes d'une fibre multimodale.

La présente partie de la CEI 61280 définit une procédure standard consistant à collecter des données de niveaux de gris de champ proche de fibres optiques bidimensionnelles, puis à les réduire en données unidimensionnelles exprimées sous la forme d'un ensemble de trois fonctions paramétriques échantillonnées du rayon par rapport au centre optique de la fibre. La présente révision de la CEI 61280-1-4 satisfait ce but initial, la caractérisation des sources lumineuses de transmission, qui permet une prévision mathématique précise de la longueur minimum garantie de la liaison dans les systèmes de communication de données par fibres optiques de 1 gigabit par seconde ou plus. Une nouveauté de cette révision est l'amélioration de la précision des mesures des pertes d'insertion dans des liaisons à fibres optiques multimodales par la caractérisation des sources lumineuses de mesure.

L'évaluation du diamètre du cœur des fibres ne constitue pas un objectif de la présente norme.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60793-2-10, *Fibres optiques – Partie 2-10: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A1*

CEI 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*

CEI 61745:1988, *Procédure d'analyse d'image d'extrémité pour l'étalonnage de dispositifs d'essais de géométrie des fibres optiques*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

source lumineuse de calibration

source lumineuse utilisée pour déterminer le centre optique d'une fibre multimodale

3.2

image du centroïde

image utilisée pour déterminer le centre optique du cœur de la fibre multimodale

3.3

image corrigée

image à partir de laquelle une image d'obscurité a été soustraite et dont les éléments ont subi une correction d'uniformité

3.4

image d'obscurité

image prise avec la source lumineuse mesurée éteinte ou non installée sur le port d'entrée. La lumière parasite et les signaux électriques du système de détection resteront dans l'image d'obscurité

3.5

image

matrice rectangulaire bidimensionnelle de nombres dont les éléments sont des pixels et dont les valeurs des pixels correspondent linéairement à la puissance optique atteignant les pixels

3.6

source lumineuse

dispositif qui émet un rayonnement lumineux, couplé à une fibre, dont la sortie peut être mesurée (il peut s'agir d'une source lumineuse d'étalonnage, d'une source lumineuse de transmission ou d'une source lumineuse utilisée dans le cadre de mesure d'affaiblissement)

3.7

source lumineuse de mesure

source lumineuse destinée à être utilisée dans le cadre de mesure d'affaiblissement

3.8

rayon nominal du cœur

moitié du diamètre nominal du cœur de la fibre multimodale à mesurer

3.9

lissage en anneau

technique permettant de réduire l'image du champ proche bidimensionnel en un profil d'intensité de champ proche unidimensionnel tout en supprimant les effets de l'espacement périodique des pixels de l'imageur de surface finie

3.10

source lumineuse de transmission

source lumineuse utilisée pour transmettre des données numériques sur des liaisons à fibres optiques multimodales

3.11

correction d'uniformité

processus permettant de corriger la sensibilité d'un pixel de telle sorte qu'il se comporte essentiellement comme un pixel moyen

3.12

pixel valide

élément de détection optique dans la matrice du détecteur dont la sensibilité, lorsqu'elle est corrigée, est comprise dans une gamme de 5 % autour de la sensibilité moyenne du rendement de conversion du détecteur

4 Symboles

B	l'intensité de la ligne de base. Cette valeur est déterminée à partir d'une région du champ proche calculé situé juste à l'extérieur du bord du cœur.
D	la distance entre le centre de l'image du centroïde et le bord le plus proche de l'image.
D_L, D_R, D_T, D_B	l'ensemble des distances entre le centre de l'image du centroïde et, respectivement, le bord gauche, droit, haut et bas de l'image. Le minimum de cet ensemble est utilisé pour calculer D .
$EF(i)$	le vecteur du flux inscrit.
i	le paramètre d'indice utilisé dans les vecteurs de résultats paramétriques $\bar{R}(i), \bar{I}(i)$ et $EF(i)$.
I_{dark}	la matrice des intensités des pixels d'une image d'obscurité telles qu'elles sont mesurées par le détecteur et le numériseur.
I_{raw}	la matrice des intensités des pixels d'une source lumineuse, avant correction, telles qu'elles sont mesurées par le détecteur et le numériseur d'images.
$I_{r,c}$	la matrice des intensités du champ proche. Il s'agit d'une matrice des intensités des pixels, basée sur I_{raw} , telles qu'elles sont mesurées par le détecteur et corrigées à l'aide de U et I_{dark} .
$\bar{I}(i)$	le vecteur d'intensité d'anneau lissé, chaque élément étant la moyenne arithmétique de l'ensemble des coordonnées radiales de tous les pixels dans un anneau donné.
N_R	le nombre d'anneau utilisés pour calculer le champ proche unidimensionnel.
N_r	le nombre de lignes dans une image. Toutes les colonnes dans une image ont le même nombre de lignes.
N_c	le nombre de colonnes dans une image. Toutes les lignes dans une image ont le même nombre de colonnes.
P_{Max}	le pixel valide le plus intense dans l'image du centroïde.
P_{Min}	le pixel valide le moins intense dans l'image du centroïde.
R	les coordonnées radiales, en μm , du centre de n'importe quel pixel, référencées par rapport au centre optique X_0, Y_0 .
$\bar{R}(i)$	le vecteur radial d'anneau lissé, chaque élément étant la moyenne arithmétique des rayons de tous les pixels dans le $i^{\text{ème}}$ anneau.
S_c	la somme pondérée sur les colonnes de toutes les intensités des pixels supérieures à T dans l'image du centroïde.
$S_l(i)$	le vecteur de la somme des intensités utilisées pour le lissage en anneau.
S_P	la somme de toutes les intensités des pixels supérieures à T dans l'image du centroïde.
$S_N(i)$	le vecteur de comptage des pixels utilisé pour le lissage en anneau.
$S_R(i)$	le vecteur de la somme des rayons utilisée pour le lissage en anneau.
S_r	la somme pondérée sur les lignes de toutes les intensités des pixels supérieures à T dans l'image du centroïde.
T	le seuil utilisé pour déterminer quels pixels dans l'image du centroïde seront utilisés pour déterminer le centre optique. Tous les pixels supérieurs ou égaux à T sont utilisés pour calculer le centroïde.
$U_{r,c}$	la matrice de correction de la sensibilité, appliquée à une image d'obscurité soustraite pour réduire la non uniformité de l'efficacité de la conversion, pixels par pixel, des détecteurs.
W	la demie largeur, en μm , des anneaux utilisés pour calculer le champ proche unidimensionnel.
X_0	l'emplacement de l'axe des x (colonnes) du centre de l'image du centroïde.

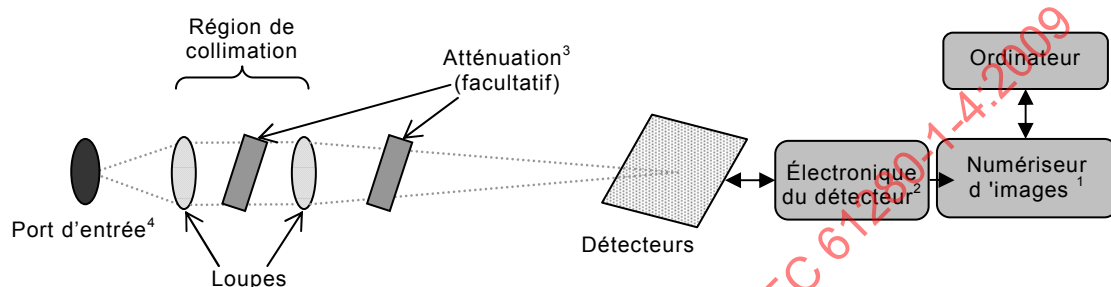
Y_0 l'emplacement de l'axe des y (lignes) du centre de l'image du centroïde.

5 Appareillage

5.1 Appareillage commun

5.1.1 Généralités

La Figure 1 ci-dessous représente le schéma fonctionnel de l'appareillage.



¹ Le numériseur d'images peut soit faire partie d'une caméra, soit être une carte informatique.

² L'électronique du détecteur est généralement intégrée à la caméra et au numériseur.

³ Il est préférable de placer l'atténuation dans la région de collimation du chemin optique, mais les architectures optiques ne présentent pas toutes une région de collimation accessible. Dans ce cas, il convient de placer l'atténuation côté détecteur de l'optique

⁴ Lorsqu'un micropositionneur (non représenté) est utilisé, le port d'entrée sera attaché physiquement à celui-ci.

IEC 2207/09

Figure 1 – Schéma fonctionnel de l'appareillage

5.1.2 Ordinateur

Puisque l'image acquise contient des milliers de pixels et la réduction de l'image au flux inscrit requiert d'importants calculs, un ordinateur est nécessaire. L'ordinateur sera généralement connecté au numériseur d'images pour commander l'acquisition d'une image via un logiciel et pour commander le micropositionneur (et la source, si un double échantillonnage corrélé est mis en œuvre).

5.1.3 Numériseur d'image

Une image du champ proche du cœur de la fibre est créée sur le détecteur, puis numérisée par le numériseur d'image. Le numériseur d'image peut faire partie intégrante d'une caméra qui contient également le détecteur ou il peut s'agir d'une carte de capture de trames ajoutée à l'ordinateur.

Les circuits automatiques du numériseur, par exemple une commande automatique de gain que l'on trouve souvent dans les caméras vidéo, doivent être désactivés.

5.1.4 Détecteur

Le détecteur est typiquement une caméra CCD ou CMOS. On peut considérer d'autres types de caméras à matrice. Dans tous les cas, les détecteurs doivent être linéaires et sans effet mémoire. Par exemple, les détecteurs vidicon au sulfure de plomb sont exclus. Une mesure radiométrique absolue du flux (puissance du flux optique) n'est pas nécessaire.

Les circuits automatiques du détecteur, par exemple une commande automatique de gain que l'on trouve souvent dans les caméras vidéo, doivent être désactivés.

La différence de sensibilité de conversion d'un pixel à un autre dans le détecteur affectera la précision de la mesure. La non-uniformité de l'efficacité de la conversion corrigée du détecteur ne doit pas dépasser $\pm 5\%$. Il est possible d'étalonner et de corriger le détecteur dont la non-uniformité non corrigée est supérieure à 5% en appliquant une matrice de correction de la sensibilité pixel par pixel, U , à l'image brute. Souvent, cette correction fait partie des fonctions de la caméra (et donc chaque élément de U peut-être considérée comme unitaire). Parfois, la matrice de correction peut être fournie par le fournisseur du détecteur. En d'autres cas, la matrice de correction doit être déterminée par la procédure décrite en A.2.

Les détecteurs peuvent avoir des pixels invalides, il s'agit de pixels dont l'efficacité de la conversion corrigée dépasse $\pm 5\%$ de l'efficacité de la conversion moyenne du détecteur. Les pixels invalides produiront souvent un signal complètement saturé ou aucun signal, ou encore, ils resteront à une valeur intermédiaire. Les détecteurs dont le nombre de pixels invalides dépasse $0,1\%$ du nombre total de pixels doivent être rejetés.

Dans la plupart des caméras et des numériseurs d'image, le réglage du «niveau du noir» peut être ajusté par l'utilisateur. Puisque le détecteur sera légèrement bruité, il est important que le détecteur et le numériseur n'écrêtent pas les signaux de noir aléatoire à zéro (dans les systèmes habituels, le bruit aléatoire dans un détecteur présentera un écart inférieur à $0,5\%$ du niveau de saturation). Pour garantir aucun écrêtage du bruit, lorsque celui-ci est réglable, le niveau du noir doit être réglé pour produire un petit signal positif (typiquement au moins cinq fois l'écart-type du bruit) lorsque aucune lumière n'atteint le détecteur.

5.1.5 Optiques de grossissement

Des optiques appropriées doivent être prévues pour projeter une image agrandie du port d'entrée sur le détecteur de telle sorte que le détecteur puisse mesurer toute la distribution du flux du champ proche. L'ouverture numérique de l'optique de grossissement doit dépasser l'ouverture numérique nominale des fibres (comme cela est indiqué dans les spécifications de la famille de fibres) utilisée pour l'étalonnage ou les mesures. Les objectifs des microscopes répondent souvent à cette exigence.

NOTE 1 Lorsqu'on utilise l'objectif d'un microscope, son grossissement réel tel qu'il est utilisé dans l'appareil ne sera généralement pas le même que le facteur de grossissement nominal gravé sur le côté de l'objectif. Ceci parce que l'appareil est différent du microscope standard pour lequel le facteur de grossissement nominal a été calculé. Les procédures d'étalonnage géométrique présentées dans l'Article 7 de la présente norme déterminent le grossissement réel.

NOTE 2 Pour caractériser des sources lumineuses de mesure, la précision de la mesure est importante afin que la distorsion optique reste minimale. Il convient de sélectionner et d'utiliser avec soin les lentilles et les autres composants optiques. Les objectifs des microscopes de type plan sont un exemple d'optiques qui conviennent. Les procédures présentées dans la CEI 61745 peuvent être utilisées pour évaluer l'intégrité optique de l'appareil.

NOTE 3 Les réflexions à partir des surfaces optiques peuvent sérieusement dégrader la mesure du flux inscrit. Un revêtement anti-réflexion à la longueur d'onde de la mesure, ou toute autre forme de contrôle des réflexions peuvent-être considérés pour réduire les réflexions.

Il est important que la distance entre le détecteur et tous les éléments des optiques de grossissement ne soit pas modifiée après l'étalonnage. Lorsque la distance entre ces éléments change, le grossissement changera suffisamment pour qu'un nouvel étalonnage soit nécessaire. La focalisation doit être effectuée en changeant uniquement la distance entre le port d'entrée et l'optique de grossissement.

5.1.6 Affaiblissement

Souvent, le flux optique de la source sature le détecteur et la seule solution efficace consiste à utiliser un atténuateur optique. Dans tous les cas l'atténuateur ne doit pas réduire l'ouverture numérique du système optique et ne doit pas être la source de réflexions importantes ni de distorsions optiques qui auraient un effet sur le flux inscrit résultant.

NOTE 1 Lorsque des filtres de densité neutre sont utilisés dans le système optique, des distorsions géométriques peuvent apparaître.

NOTE 2 Le fait de modifier l'affaiblissement entre l'image du centre optique et l'image de la source mesurée peut éloigner l'emplacement du centre optique de la source de mesure par rapport à l'emplacement qui a été déterminé en utilisant l'image du centre optique. Ceci entraîne des erreurs dans les fonctions des données radiales résultantes.

5.1.7 Micropositionneur (facultatif)

Le micropositionneur est une partie optionnelle de l'appareil. En fonction de la conception de l'appareil, il est possible de se servir de la géométrie de la bague du connecteur pour placer toute l'image sur le détecteur sans utiliser de micropositionneur. Dans de nombreuses mises en œuvre, seul un réglage du foyer (axe Z) est nécessaire. Dans certains cas, les trois axes peuvent nécessiter un alignement uniquement lors de la construction ou de la maintenance de l'appareil. L'utilisation de la bague pour placer l'image du cœur de la fibre sur le détecteur ne dispense pas de trouver le centre optique comme cela est exigé en 8.3.

Le but du micropositionneur est de focaliser l'image projetée de la face de la fibre sur le détecteur et de déterminer le grossissement de l'appareil (voir Article 7). Des mécanismes de verrouillage mécanique ou des mécanismes équivalents sont nécessaires sur les trois axes afin d'éviter une dérive mécanique pendant les mesures. Le micropositionneur peut facultativement être entraîné par des moteurs ou utiliser des mécanismes de rétroaction pour commander la position réelle de l'étage (et donc la face la fibre). Lorsque l'étalonnage géométrique est effectué en utilisant le micropositionneur (voir Article 7 et Annexe C), les exigences de performances sont spécifiées en Annexe B; sinon, la seule exigence de performances porte sur l'axe focal, qui doit présenter une résolution suffisamment grande pour que l'extrémité de la fibre soit suffisamment focalisée pour obtenir la précision de mesure exigée.

5.1.8 Port d'entrée

Le port d'entrée est l'endroit où les appareils d'étalonnage et les échantillons de mesure sont connectés à l'appareillage. Les caractéristiques du port d'entrée dépendent du type de source à caractériser.

Lors de la caractérisation de sources lumineuses de transmission, le port d'entrée est l'extrémité distale de l'ensemble de liaison d'essai. Une image de l'extrémité proximale de l'ensemble de liaison d'essai sera créée sur le détecteur; lorsqu'un micropositionneur est utilisé, l'extrémité proximale sera attachée au micropositionneur.

Lors de la caractérisation de sources lumineuses de mesure, le port d'entrée est généralement la platine de connecteurs ou son équivalent. Lorsqu'un micropositionneur est utilisé, la platine sera attachée au micropositionneur.

Les exigences particulières sont présentées en 5.2 et 5.3.

5.1.9 Source lumineuse d'étalonnage

La source lumineuse d'étalonnage est utilisée pour étalonner l'appareillage (voir Article 7). Lorsque cette source est utilisée pour éclairer l'ensemble de liaison d'essai, la source d'étalonnage doit remplir complètement la distribution modale de la liaison. Un embrouilleur de modes peut facultativement être utilisé avec la source d'étalonnage choisie pour garantir une saturation modale uniforme de la fibre. Les informations sur les embrouilleurs de modes sont présentées dans la CEI 60793-1-41.

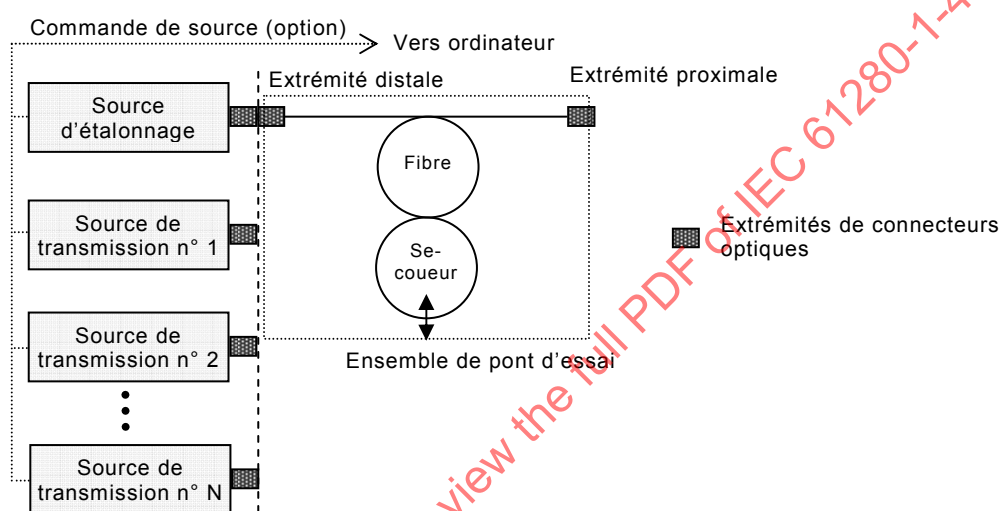
Toute source lumineuse non cohérente à large spectre, par exemple une ampoule tungstène-halogène, une ampoule à arc au xénon ou une diode électroluminescente (DEL) peut être utilisée pour remplir complètement la distribution modale de la fibre de l'ensemble de liaison d'essai. Pendant l'étalonnage de l'appareillage pour caractériser des sources lumineuses de mesure, la longueur d'onde du centre de la source d'étalonnage ne doit pas différer de plus

de 30 nm par rapport à la longueur d'onde nominale des sources lumineuses à qualifier et sa largeur spectrale (largeur totale, demi maximum) ne doit pas dépasser 100 nm. Pendant l'étalonnage de l'appareil pour la caractérisation des sources lumineuses de transmission, les caractéristiques spectrales de la source d'étalonnage ne sont pas spécifiées, mais il est recommandé que son spectre soit semblable à celui des sources à caractériser. L'intensité de la source d'étalonnage choisie doit être stable sur une période de temps suffisante pour effectuer des mesures.

5.2 Appareillage de la source de transmission

5.2.1 Généralités

Lors de la caractérisation de sources lumineuses de transmission, le port d'entrée de l'appareillage est constitué de deux éléments, l'ensemble de liaison d'essai et l'agitateur de fibres (voir la Figure 2 ci-dessous).



IEC 2208/09

Figure 2 – Montage typique pour les mesures de la source de transmission

5.2.2 Ensemble de liaison d'essai

L'ensemble de liaison d'essai a pour but d'extraire les modes de gaine et de permettre de moyenniser le «speckle» par flexions mécaniques d'une portion de l'ensemble de liaison d'essai. L'ensemble de liaison d'essai est uniquement utilisé pour qualifier des sources lumineuses pour la transmission multimodale.

L'ensemble de liaison d'essai doit mesurer au moins 10 m de long, être constitué de «verre» multimodal en silice fondue à gradient d'indice quasi parabolique dopé au germanium, une fibre de classe A1 selon la CEI 60793-2-10 avec un cœur de diamètre de 50 μm ou de 62,5 μm . L'ensemble de liaison d'essai doit être constitué d'une seule fibre non coupée et dotée de connecteurs à chaque extrémité. Les connecteurs de l'ensemble de liaison d'essai doivent avoir des tolérances mécaniques unimodales même si la fibre est multimodale.

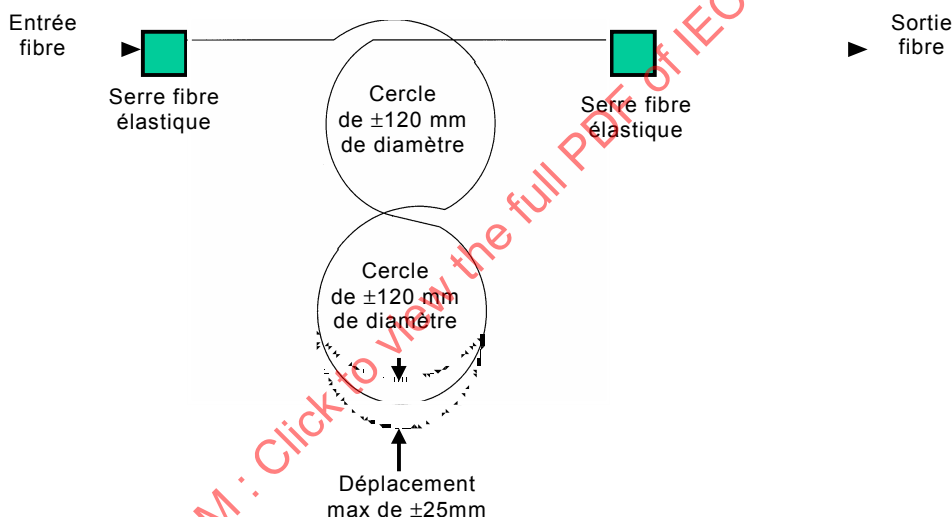
5.2.3 Agitateur de fibre

L'agitateur de fibre sert à changer la longueur des chemins différentiels des différents modes dans la liaison d'essai pour assurer la réduction des «speckles» présentes dans les images moyennées. La réduction des «speckles» peut être effectuée de différentes manières et doit être assez bonne pour garantir une répétabilité suffisante des mesures du flux inscrit. L'agitation de l'ensemble de liaison d'essai par un dispositif mécanique est nécessaire pour réduire les «speckles».

Une partie de l'ensemble de liaison d'essai doit être agitée mécaniquement en permanence dans chacune des trois directions orthogonales (en utilisant trois mécanismes indépendants d'agitation) pendant la mesure. Pendant la période de mesure, au moins 100 cycles d'agitation doivent être effectués dans chacune des trois directions. Les fréquences d'agitation dans les trois directions doivent être choisies de telle sorte que les trois cycles d'agitation se synchronisent au plus une fois tous les cinq cents cycles de la fréquence milieu d'agitation.

Toute architecture de mécanisme agitateur de fibre est acceptable tant qu'elle n'entraîne pas de mouvement de large amplitude et qu'elle fléchit la fibre optique. Il est conseillé que les déplacements transversaux de la fibre soient supérieurs à 25 mm. Les agitateurs de fibre doivent inclure un dispositif qui maintient fermement la fibre.

Un exemple de mécanisme, représenté sur la Figure 3, possède trois tours de fibre enroulée en forme de «8» sur trois épaisseurs. Le diamètre de chaque boucle étant d'environ 120 mm. Un excentrique entraîné par un moteur imprime un mouvement de va-et-vient à un coulisseau à une cadence d'environ un va-et-vient par seconde, aplatissant et étirant alternativement une boucle du «8» avec une amplitude de 25 mm. Trois mécanismes de ce type placés en série utiliseront environ $3 \times 3 \times (2 \times \pi \times 0,120) = 6,8$ m de fibre de l'ensemble de liaison d'essai.



IEC 2209/09

NOTE 1 Une seule des boucles en forme de « 8 » est représentée ici par souci de clarté. En plus des serre-fibres, utiliser des pinces pour fibre pour maintenir la fibre en place sans la serrer afin d'empêcher la transmission du mouvement de la fibre. Les pinces non serrées pour fibre ne sont pas représentées.

NOTE 2 La fibre subit un mouvement de va-et-vient (tel que celui représenté) avec une amplitude crête à crête d'environ 25 mm qui déforme une boucle de fibre.

Figure 3 – Exemple d'agitateur de fibre

Un autre exemple consiste à placer de larges boucles souples de fibre devant un grand ventilateur qui souffle sur ces boucles. Les turbulences du flux du ventilateur rendant aléatoire le mouvement.

NOTE 1 Les extrémités des fibres qui entrent et sortent des agitateurs de fibre sont fixées mécaniquement ou stabilisées pour empêcher que les fibres ne bougent au niveau des points de connexion. En outre, les agitateurs de fibre sont mécaniquement isolés du reste du montage d'essai de telle sorte que les vibrations ne soient pas transmises aux points de connexion dans l'appareil, au micropositionneur, au détecteur ou aux optiques de grossissement. La réduction des vibrations est plus simple si l'agitateur de fibre est équilibré statiquement et dynamiquement et si tous les composants qui interviennent dans le mouvement sont légers.

NOTE 2 Aucune relation n'est nécessaire entre la période de mesure (contenant une centaine de courses) et le temps d'acquisition d'une image. Typiquement, dans chaque période de mesure, plusieurs images sont prises puis ajoutées ou moyennées par un ordinateur. Cette technique peut permettre d'éviter la saturation du détecteur. Le détecteur et le numériseur peuvent effectuer une fonction équivalente indépendamment. L'image ne comportera presque pas de «speckles» si cent cycles d'agitation sont moyennés de cette manière.

5.3 Appareillage de la source de mesure

L'appareil décrit en 5.1 est suffisant pour caractériser les sources lumineuses de mesure. L'agitation de fibre ou toute autre technique de réduction des «speckles» ne doit pas être utilisée.

NOTE La présente norme ne traite pas de la caractérisation des transmetteurs OTDR qui présentent une grande quantité de «speckles». Pour la rédaction de la présente norme, la caractérisation de flux inscrits pour les OTDR reste à l'étude.

6 Échantillonnage et spécimens

Les sources lumineuses à soumettre aux essais doivent être choisies et préparées tel que cela est défini par l'utilisateur de la présente norme, qui doit documenter les procédures d'échantillonnage et de préparation utilisées. Les seules exigences sur les sources lumineuses soumises à des essais sont que leur longueur d'onde de fonctionnement doit être compatible avec le détecteur et qu'elles doivent disposer de connecteurs optiques ou d'épissures compatibles avec le port d'entrée de l'appareil. Sinon, les détails de construction des sources lumineuses ne sont pas spécifiés.

Lors de la qualification de lasers, le courant d'excitation du laser doit être suffisant pour garantir que le laser se comporte toujours comme un laser et non comme une DEL.

7 Étalonnage géométrique

L'étalonnage de l'appareil est important pour la précision de cette procédure de mesure. (Voir A.4 pour la description du type de bruits et d'erreurs qu'un étalonnage peut corriger.) L'étalonnage doit être effectué périodiquement. Il convient de procéder à au moins un étalonnage par mois. Si l'on constate que l'étalonnage a beaucoup varié sur l'intervalle de mesures, la ou les sources de ces variations doivent être identifiées et éliminées. Si l'appareil est démonté ou si les composants situés sur le chemin optique ou affectant le chemin optique sont manipulés, un étalonnage doit être effectué avant de prendre des mesures.

Le but de l'étalonnage géométrique est d'obtenir les données des mesures nécessaires pour calculer les facteurs de grossissement S_x et S_y dont l'unité est le micron par pixel. Ces facteurs seront utilisés pour convertir les coordonnées de la caméra en coordonnées de l'extrémité de la fibre. Ces facteurs de grossissement peuvent être obtenus en se référant à la CEI 61745 (en particulier le 2.3.4.1 «Facteur d'échelle») ou en utilisant le micropositionneur comme cela est décrit en Annexe B. La méthode d'étalonnage avec le micropositionneur est une méthode d'étalonnage acceptable lorsque l'appareil d'essai doit être utilisé pour qualifier des sources de transmission. La méthode décrite dans la CEI 61745 est la méthode de calibration préférentielle pour tous les types de source lumineuse. La calibration utilisée avec les sources lumineuses de type transmission peut alternativement être faite au moyen de la méthode par micropositionneur.

8 Procédure de mesure

8.1 Sécurité

Toutes les procédures dans lesquelles une DEL ou une source laser est utilisée comme source optique doivent être effectuées en respectant les précautions de sécurité selon la CEI 60825-1.

8.2 Acquisition d'image

8.2.1 Acquisition d'images brutes

8.2.1.1 Généralités

L'acquisition d'une image est l'élément central de la mesure du flux inscrit. L'approche de l'acquisition d'une image dépend des caractéristiques générales de la source lumineuse mesurée. Un agitateur de fibre est nécessaire pour acquérir des images d'une source lumineuse de transmission. Ceci nécessite d'effectuer une moyenne. D'autre part, les sources lumineuses de mesure ne nécessitent pas la présence d'un agitateur de fibre et généralement leur intensité optique est suffisante pour permettre des temps d'intégration de détecteur très courts. Ces points sont étudiés dans les paragraphes qui suivent.

Dans tous les cas, l'image brute obtenue selon cet article est une matrice d'intensités non corrigées I_{raw} , dont les dimensions sont N_r lignes par N_c colonnes.

8.2.1.2 Acquisition d'images d'une source lumineuse de transmission

Puisque les sources lumineuses de transmission nécessitent un agitateur de fibre et les images résultants doivent être intégrées sur au moins 100 cycles de l'agitateur de fibre, des longs temps d'intégration sont nécessaires. Une intégration de détecteur directe et une accumulation d'images numériques peuvent être utilisées pour effectuer l'intégration requise. Une procédure typique consiste à acquérir plusieurs trames et à les ajouter ou à les moyenner numériquement, pixel par pixel. Cette approche empêche une saturation du détecteur tout en intégrant suffisamment de cycles de l'agitateur pour réduire effectivement les «speckles».

8.2.1.3 Acquisition d'images d'une source lumineuse de mesure

Des sources lumineuses de mesure typiques nécessitent uniquement l'intégration du détecteur sur une courte période pour obtenir une image brute utilisable. Ces sources sont suffisamment incohérentes et intenses pour produire facilement une bonne plage dynamique, bien qu'un affaiblissement puisse être nécessaire pour faire fonctionner le détecteur dans sa plage linéaire.

NOTE Les sources lumineuses de mesure OTDR sont compliquées à traiter avec cette méthode et n'ont pas encore été étudiées.

8.2.2 Acquisition d'images d'obscurité

L'image d'obscurité est utilisée pour corriger l'image brute, pixel par pixel, pour les courants d'obscurité et des décalages continus provenant des détecteurs et des numériseurs. Pour acquérir l'image d'obscurité, le temps d'intégration du détecteur et l'accumulation d'images numériques doivent être les mêmes que ceux utilisés pour acquérir I_{raw} . L'image d'obscurité est acquise avec le port d'entrée de l'appareil bloqué pour éviter que de la lumière n'entre dans le système optique. L'image résultante est la matrice I_{dark} .

Dans certains systèmes, on peut voir que l'image d'obscurité est suffisamment uniforme pour être considérée comme constante pour tous les pixels. Dans ce cas, chaque élément de I_{dark} peut-être pris comme nul. Le niveau d'obscurité moyen sera retiré des données résultantes par la procédure de soustraction de ligne de base présentée en 9.2.

8.2.3 Image corrigée

La matrice d'image corrigée I , est calculée à partir des matrices I_{raw} , I_{dark} et U .

$$I_{r,c} = (I_{\text{raw},r,c} - I_{\text{dark},r,c}) * U_{r,c} \quad (1)$$

NOTE 1 L'opérateur astérisque (*) représente la multiplication élément par élément.

NOTE 2 Lorsque la caméra est suffisamment uniforme sans correction et l'étape de soustraction de la ligne de base de 10.2 doit être effectuée, aucune correction n'est nécessaire, et donc I peut prendre la valeur I_{raw} .

8.3 Détermination du centre optique

8.3.1 Généralités

Le flux inscrit est calculé en fonction du centre optique du cœur de la fibre multimodale. Il est connu que les sources lumineuses cohérentes peuvent produire, au moins sur de courtes distances, des champs proches qui ne sont pas symétriques par rapport au centre du cœur de la fibre. Lors de la mesure des sources de transmission, qui sont typiquement cohérentes, le centre optique de l'ensemble de liaison d'essai ne peut pas être déterminé à partir de l'image du champ proche de la source lumineuse de transmission même. Au lieu de cela, le centre de l'ensemble de liaison d'essai est déterminé en éclairant son cœur à l'aide d'une source d'étalonnage et en déterminant le centroïde du champ proche résultant.

NOTE Puisque les sources lumineuses de transmission nécessitent deux images distinctes pour effectuer une mesure du flux inscrit (l'image servant au centrage et une image de la source lumineuse mesurée), le réglage de l'affaiblissement est plus compliqué. Comme on l'a noté précédemment, le déplacement ou la modification de l'affaiblissement entre deux images peut décaler le centre optique de l'image. Il est recommandé d'utiliser un réglage d'atténuateur pour les deux images.

8.3.2 Image du centroïde

L'image du centroïde est l'image utilisée pour déterminer le centre optique du cordon à fibre optique multimodale. Comme on l'a étudié ci-dessus, l'image du centroïde pour des sources lumineuses de transmission est une image de l'ensemble de liaison d'essai éclairé par une source lumineuse d'étalonnage. Pour les sources lumineuses de mesure, la même image doit être utilisée pour trouver le centre optique de la fibre et pour calculer le flux inscrit. Se référer à 8.1 pour acquérir l'image du centroïde.

NOTE Une image du centroïde d'une source lumineuse de transmission peut être utilisée pour plusieurs nombres de mesures de flux inscrits tant que le centre optique de l'ensemble de liaison d'essai est suffisamment stable rapport au détecteur. La stabilité du micropositionneur, le cas échéant, et un contrôle raisonnable de l'environnement ambiant permet de garantir que la liaison d'essai reste bien en place.

8.3.3 Calcul du centroïde

Le centre du champ proche est calculé à l'aide de l'image du centroïde en déterminant le centre de gravité de chaque axe cartésien indépendamment.

Pour trouver le centroïde, commencer par déterminer P_{Max} et P_{Min} , respectivement les intensités des pixels valides les plus brillants et les plus sombres dans toute l'image du centroïde (l'utilisation de pixels invalides corromprait la détermination de T), puis calculer le seuil T .

$$T = 0,1(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}) + P_{\text{Min}} \quad (2)$$

Ensuite, calculer les trois sommes suivantes sur tous les pixels, à l'exclusion des pixels dont l'intensité est inférieure à T , sur les lignes et colonnes d'indice r et c :

$$\begin{aligned} S_P &= \sum_{r=1}^{N_R} \sum_{c=1}^{N_C} \begin{cases} 0 & I(r,c) < T \\ I(r,c) & I(r,c) \geq T \end{cases} \\ S_r &= \sum_{r=1}^{N_R} \sum_{c=1}^{N_C} \begin{cases} 0 & I(r,c) < T \\ rI(r,c) & I(r,c) \geq T \end{cases} \\ S_c &= \sum_{r=1}^{N_R} \sum_{c=1}^{N_C} \begin{cases} 0 & I(r,c) < T \\ cI(r,c) & I(r,c) \geq T \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

Finalement, calculer le centroïde X_0, Y_0

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{S_c}{S_p} \\ Y_0 &= \frac{S_r}{S_p} \end{aligned} \quad (4)$$

8.4 Acquisition d'images de source d'essai

Pour acquérir une image de la source d'essai, relier la source d'essai à l'appareil, puis alimenter la source d'essai. Laisser la source d'essai chauffer le temps nécessaire, puis procéder à l'acquisition d'une image de la source d'essai selon 8.1.

9 Calcul du flux inscrit

9.1 Calcul des fonctions des données radiales

La première étape de calcul réduit les données des pixels bidimensionnels en fonctions radiales unidimensionnelles en moyennant les pixels en ensembles d'anneaux imbriqués et se chevauchant, d'épaisseur $2W$ (où W vaut $0,2 \mu\text{m}$, sauf spécification contraire), centrés sur le centre optique de la fibre, X_0, Y_0 , comme cela est défini en 8.2.2. L'espacement des anneaux est W microns, bien que les coordonnées radiales des anneaux dans les fonctions des données radiales résultantes soient le centroïde radial des coordonnées radiales des pixels dans l'anneau.

Le concept de filtrage est illustré sur la Figure 4. Les éléments de la grille carrée sont les pixels de l'image. Deux anneaux, centrés sur le centre optique X_0, Y_0 , sont représentés: l'anneau extérieur est hachuré verticalement et l'anneau intérieur est hachuré horizontalement. Chaque anneau a une largeur de $2W$ et chevauche une région de W de large. Sur le schéma, la région de chevauchement est hachurée dans les deux sens. Les pixels grisés sont les pixels qui seront moyennés dans l'anneau extérieur puisque leur centre se trouve à l'intérieur du bord de l'anneau extérieur.

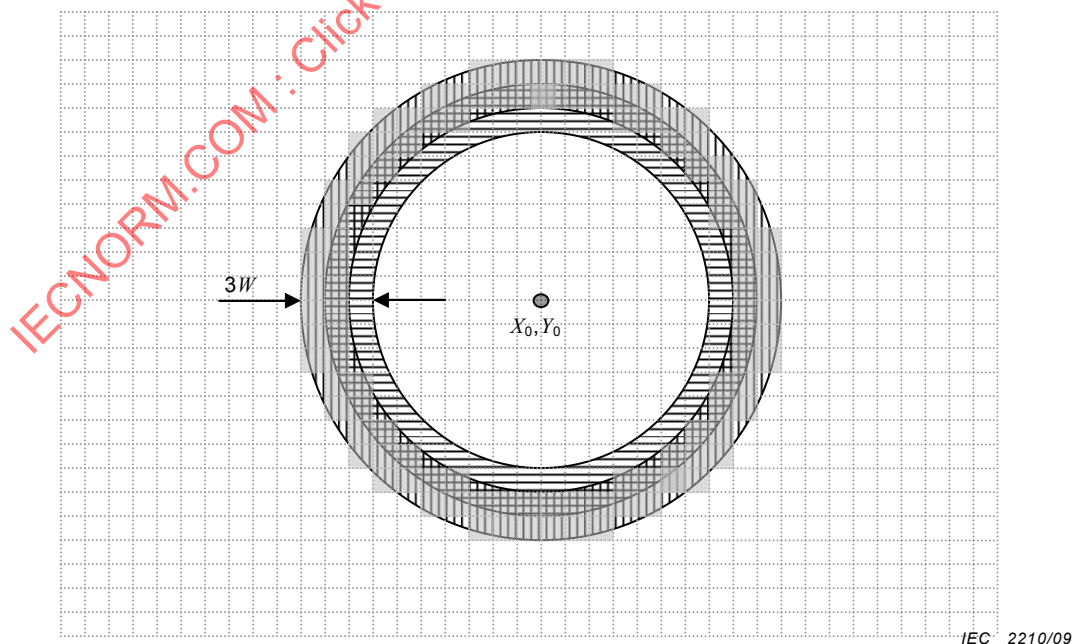


Figure 4 – Illustration de pixels et d'anneaux

Les étapes suivantes servent à calculer les fonctions radiales.

- a) Déterminer le rayon maximum d'un anneau complet. Cette étape détermine l'anneau le plus large qui tiendra dans l'image sans être tronqué par le bord d'une image. Calculer la distance la plus courte entre le bord et le centre de l'image.

$$\begin{aligned} D_L &= S_X X_0 \\ D_R &= S_X (N_C - X_0) \\ D_T &= S_Y Y_0 \\ D_B &= S_Y (N_R - Y_0) \\ D &= \min(D_L, D_R, D_T, D_B) \end{aligned} \quad (5)$$

où *min* est le minimum des quatre distances. Calculer ensuite le nombre d'anneaux, N_R , en utilisant la formule suivante

$$N_R = \frac{D - W}{W} \quad (6)$$

- b) Attribuer et mettre à zéro les trois matrices de somme, $S_R(0..N_R)$, $S_I(0..N_R)$, et $S_N(0..N_R)$

Pour chaque pixel et tous les pixels (sur la ligne r et la colonne c), effectuer les étapes suivantes:

- c) Calculer les coordonnées radiales:

$$R = \sqrt{S_Y^2 (r - Y_0)^2 + S_X^2 (c - X_0)^2} \quad (7)$$

- d) Calculer l'indice de l'anneau i

$$i = \text{trunc}\left(\frac{R}{W}\right) + 1$$

- e) Si i est inférieur ou égal à N_R alors calculer la somme dans l'anneau i et dans l'anneau $i-1$

$$\begin{aligned} S_R(i) &= S_R(i) + R \\ S_I(i) &= S_I(i) + I(r, c) \\ S_N(i) &= S_N(i) + 1 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S_R(i-1) &= S_R(i-1) + R \\ S_I(i-1) &= S_I(i-1) + I(r, c) \\ S_N(i-1) &= S_N(i-1) + 1 \end{aligned} \quad (9)$$

La double somme ci-dessus lisse la boucle chevauchant.

- f) Finalement, calculer la paire de fonctions paramétriques (ou i est le paramètre) pour chaque anneau en calculant le rayon moyen et l'intensité moyenne dans chaque anneau

$$\begin{aligned} \bar{R}(i) &= \frac{S_R(i)}{S_N(i)} \\ \bar{I}'(i) &= \frac{S_I(i)}{S_N(i)} \end{aligned} \quad (10)$$

NOTE En fonction de la résolution de la caméra et de l'épaisseur des anneaux sélectionnés, il est possible que certains anneaux intérieurs ne contiennent pas de pixels et donc les valeurs S_N correspondantes seront nulles. Dans ce cas, il convient d'omettre l'anneau et de décaler vers le haut les éléments suivants de la matrice et il convient de décrémenter N_R . Il est également possible que deux ou plusieurs anneaux adjacents aient le même rayon $\bar{R}$ (ou qu'ils soient trivialement identiques par exemple un écart de moins de 0,01 μm). Dans ce cas, il convient de moyenner les rayons et les intensités dans ces anneaux adjacents et de remplacer ces anneaux par un anneau de rayon $\bar{R}$ moyenné et d'intensité moyennée, et il convient de décrémenter de manière appropriée N_R .

9.2 Limite d'intégration et détermination de la ligne de base

9.2.1 Limite d'intégration

L'équation générale pour un flux inscrit est la suivante

$$EF(r) = \frac{\int_0^r r' I(r') dr'}{\int_0^\infty r' I(r') dr'} \quad (11)$$

L'intensité d'un champ proche mesurable ne dépasse pas de beaucoup le bord du cœur de la fibre, et il est donc justifié de tronquer l'intégrale du dénominateur à un rayon situé quelque part au-delà du cœur. Du point de vue des mesures, l'extension de l'intégrale bien au-delà du cœur intègre uniquement du bruit et augmente donc uniquement le bruit de la mesure.

La limite d'intégration, R_{Max} , doit être fixée à 1,15 fois le rayon nominal du cœur de la fibre connectée à la source d'essai, par exemple R_{Max} serait fixé à 28,75 pour une fibre de 50 μm . L'indice maximum, i_{Max} , peut alors être l'indice du premier rayon dans $\bar{R}(i)$ qui est supérieur ou égal à R_{Max} .

9.2.2 Détermination de la ligne de base

Déterminer l'intensité de la ligne de base moyenne, B , comme la moyenne d'un ensemble de $\bar{I}'(i)$ proches, mais à l'extérieur du champ proche du cœur. L'ensemble de points doit inclure des points depuis R_{Max} vers l'extérieur en rayon. La limite de la moyenne, sauf spécification contraire, doit se terminer à un rayon supérieur à 1,2 fois le rayon nominal du cœur de la fibre connectée à la source lumineuse.

9.2.3 Soustraction de la ligne de base

Calculer la fonction de l'intensité à laquelle la ligne de base a été soustraite

$$\bar{I}(i) = \bar{I}'(i) - B \quad 0 \leq i \leq i_{\text{Max}} \quad (12)$$

9.3 Calcul du flux inscrit

Le calcul du flux inscrit se fait selon les deux étapes suivantes: l'intégration de la fonction des données radiales pondérées par le rayon, $\bar{R}, \bar{R}\bar{I}$, puis la normalisation de la fonction au maximum à l'unité. Ce processus produira une autre paire de fonctions paramétriques, $\bar{R}$ et EF .

Dans calcul de l'intégrale, il a été montré qu'une simple somme ou une intégration suivant une règle rectangulaire produit des erreurs d'environ 0,25 %. Ces erreurs peuvent facilement être évitées en utilisant des méthodes d'intégration d'ordre supérieur. Une intégration suivant une règle trapézoïdale est représentée dans l'Equation 13. (Le cas spécial à indice nul provient du fait que le produit du rayon par l'intensité au rayon nul est identiquement nul.)

$$EF'(i) = \begin{cases} \frac{\bar{R}(0)^2 \bar{I}(0)}{2} & i = 0 \\ EF'(i-1) + \frac{\bar{R}(i)\bar{I}(i) + \bar{R}(i-1)\bar{I}(i-1)}{2} \times (\bar{R}(i) - \bar{R}(i-1)) & 0 < i \leq i_{\text{Max}} \end{cases} \quad (13)$$

La fonction EF est alors calculée comme la normalisation de EF'

$$EF(i) = \frac{EF'(i)}{EF'(i_{\text{Max}})} \quad (14)$$

Dans de nombreux cas, des valeurs de flux inscrit à des valeurs radiales autres que les valeurs discrètes de $\bar{R}$ sont nécessaires. L'utilisation d'interpolation linéaire pour produire ces valeurs intermédiaires est suffisamment précise.

10 Résultats

10.1 Informations disponibles pour chaque mesure

Les informations suivantes doivent être rapportées pour chaque mesure

- date et heure de la mesure;
- identification du spécimen de source;
- longueur d'onde nominale de la source;
- le rayon et le flux inscrit à chaque rayon spécifié dans la spécification particulière, ou si cela n'est pas spécifié, les données du rayon et du flux inscrit calculées à l'Article 9;
- EF sous la forme d'un graphe en fonction du rayon, incluant toute limite de modèle spécifié.

10.2 Informations disponibles sur demande

Les informations suivantes doivent être disponibles sur demande:

- date du dernier étalonnage de l'équipement;
- méthode d'étalonnage de l'équipement;
- la largeur d'anneau, W , utilisée dans les calculs;
- les paramètres de limite d'intégration, R_{Max} et i_{Max} ;
- les images originales utilisées dans les calculs;
- les facteurs d'étalonnage géométrique, S_x et S_y ;
- le centre dérivé, et s'il est différent, l'image du centroïde;
- les fonctions de données radiales calculées en 9.1.

11 Informations relatives à la spécification

La spécification particulière doit spécifier les informations suivantes:

- le type de sources à mesurer;
- les exigences d'échantillonnage, le cas échéant;
- les critères que les sources doivent satisfaire;
- tout écart par rapport à la procédure qui doit être appliquée;
- les rayons auxquels EF doit être rapporté;
- le modèle EF utilisé pour rapporter les résultats.

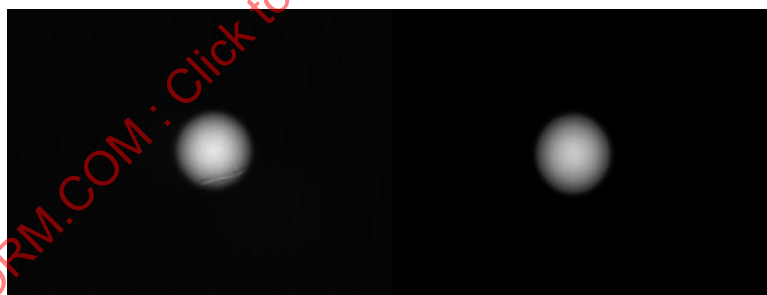
Annexe A (informative)

Considérations sur la sensibilité des mesures

A.1 Considérations sur le calcul de la moyenne d'une ligne de base

Il existe un compromis sur la sélection de la région dans laquelle la moyenne de la ligne de base est effectuée (voir 9.3). La valeur d'une ligne de base, B , est soustraite de l'ensemble entier des intensités. Si la valeur de B était prise sur un seul point d'intensité, alors le bruit du système augmenterait de manière importante (environ de la racine carrée de deux). La moyenne d'une région d'intensité diminue cette contribution du bruit. Si tous les points dans la fonction d'intensités ont un bruit non corrélé, alors le bruit augmente de la racine carrée de un plus le nombre d'intensités moyennées. Cependant, des imperfections du système optique de l'appareil ou des imperfections de la caméra peuvent rendre non constante la région de la ligne de base à l'extérieur du cœur et donc le fait d'effectuer une moyenne de toute la région de la ligne de base peut entraîner une déviation en B . Il convient de sélectionner une région appropriée sur laquelle sera déterminée la ligne de base en caractérisant l'appareil réel. Cette section analyse deux images différentes provenant de deux instruments différents afin d'illustrer les méthodes qu'un concepteur d'instruments peut utiliser pour déterminer jusqu'à quel point il convient d'effectuer la moyenne de la ligne de base dans la fonction d'intensité.

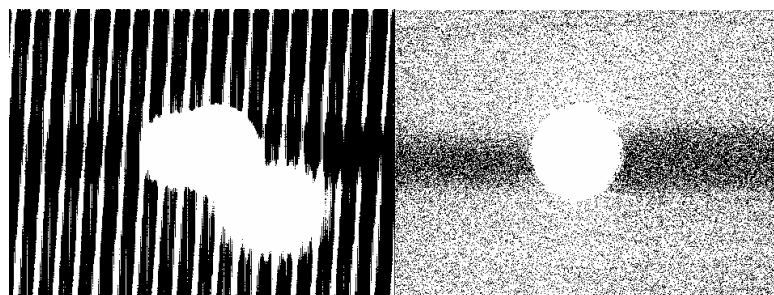
Les deux images représentées dans la Figure A.1 ci-dessous proviennent de deux instruments similaires (les instruments n'utilisent pas de composants identiques). Les deux instruments utilisent des caméras analogiques et des capteurs de trames intégrés dans un ordinateur et utilisent des tailles efficaces de pixel semblables. Il s'agit d'images de deux cœurs de fibres de 50 μm différents, mais remplis de la même manière. L'instrument A montre une petite imperfection sur la partie inférieure du cœur, mais pour cette analyse, l'imperfection n'est pas importante.



IEC 2211/09

Figure A.1 – Images d'un cœur à partir d'un instrument A et d'un instrument B

Il est utile de modifier l'affichage des images de telle sorte que les pixels inférieurs à l'intensité moyenne de l'arrière-plan soient mis en noir et les pixels supérieurs à l'intensité moyenne de l'arrière-plan soient mis en blanc afin de mettre en valeur les éléments non idéaux sur les images. La Figure A.2 ci-dessous représente les deux images de la Figure A.1 retraitées de cette manière.



IEC 2212/09

Figure A.2 – Images d'un cœur compressé à partir d'un instrument A et d'un instrument B

L'instrument A représente une petite quantité de bruit de motif vidéo (les motifs sombres et les motifs blancs quasiment verticaux). L'instrument A montre également deux taches blanches qui ne correspondent pas à l'image du cœur (à gauche et en bas à droite de l'image). Ces taches sont probablement dues à de petites réflexions dans le système optique. Avec l'instrument B, une petite bande horizontale traverse le centre de l'image. Cette section de l'arrière-plan est légèrement moins intense que les autres régions de l'arrière-plan de l'image. Ceci est dû aux dispositifs de rétablissement du capteur CCD utilisés dans la caméra. Lorsque ces images sont traitées pour produire des fonctions radiales unidimensionnelles comme cela est décrit en 9.1 et en regardant attentivement les fonctions de champs proches résultantes dans la ligne de base, deux motifs différents apparaissent.

Puisque l'instrument A présente une ligne de base qui inclut de petites réflexions, la ligne de base n'est pas constante. La section plate à l'intérieur de la région de réflexion représente également les rayons de moyennage par défaut de 1,15 à 1,2 fois le rayon nominal du cœur, comme cela est représenté par les lignes pointillées verticales (voir Figure A.3 ci-dessous). La ligne de base proche du cœur inclut l'effet additif des réflexions. Ces réflexions s'étendent dans l'image du cœur et il convient donc que la meilleure estimation de la ligne de base inclue les réflexions. Si le moyennage s'est produit au-delà des rayons de moyennage par défaut, la ligne de base sera déviée vers le bas.

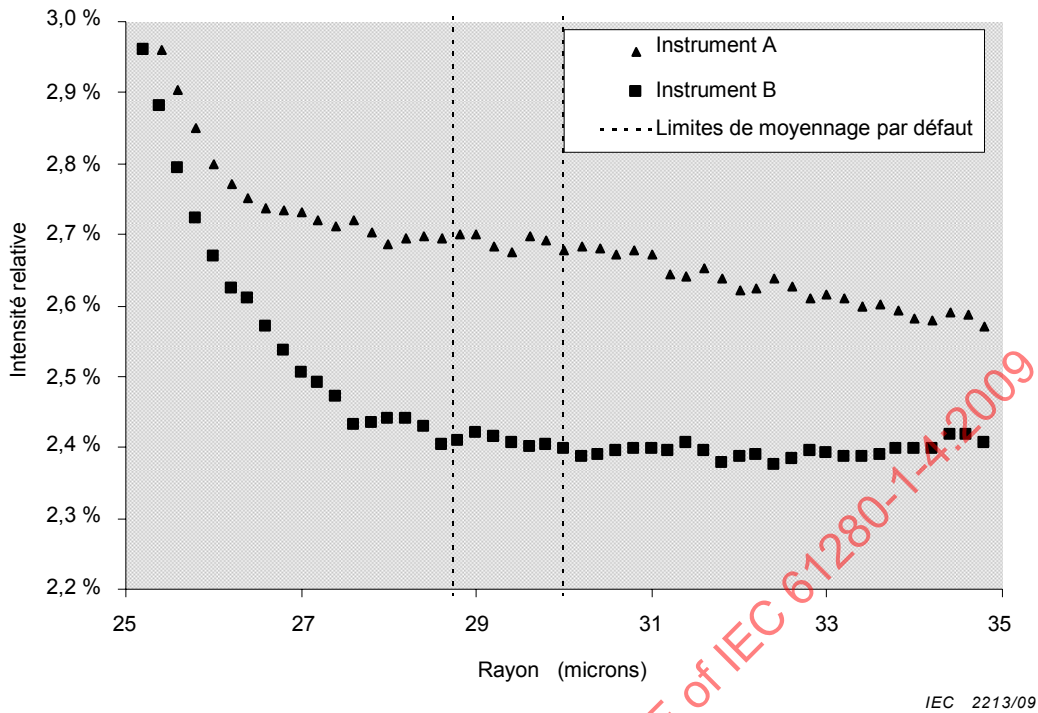


Figure A.3 – Intensités en fonction du rayon pour les instruments A et B

L'instrument B présente de très petites modulations de la ligne de base, et la ligne de base peut être déterminée en moyennant tout l'ensemble de données au-delà de la limite d'intégration de 1,15 fois le rayon nominal du cœur, réduisant ainsi le bruit par rapport à son estimation.

A.2 Étalonnage de la variation de la sensibilité des pixels

La procédure suivante permet de déterminer la matrice de correction de variation de la sensibilité des pixels $U_{r,c}$. Enregistrer l'image, I_{uRaw} , sur le détecteur lorsqu'il est éclairé par une région éclairée uniforme (moins de 1 %) suffisamment lumineuse pour quasiment saturer la caméra, environ 75 % de saturation. (L'intérieur d'une petite sphère d'intégration fonctionne aussi bien qu'une région éclairée uniformément.) Enregistrer ensuite l'image d'obscurité, I_{uDark} , lorsque la source uniforme est éteinte. Calculer le pixel moyen, P_{uAvg} , à l'aide de l'équation suivante

$$P_{uAvg} = \frac{\sum_{r=1}^{N_r} \sum_{c=1}^{N_c} (I_{uRaw_{r,c}} - I_{uDark_{r,c}})}{N_r N_c} \quad (A.1)$$

Calculer chaque élément dans U en utilisant

$$U_{r,c} = \frac{P_{uAvg}}{I_{uRaw_{r,c}} - I_{uDark_{r,c}}} \quad (A.2)$$

Les valeurs des éléments résultants seront typiquement comprises dans la gamme allant de 0,90 à 1,10. Ils doivent être multipliés par leurs pixels correspondants afin de normaliser ces pixels à la sensibilité moyenne de tous les pixels, pour chaque mesure prise.