

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61131-7

Première édition
First edition
2000-08

Automates programmables –

**Partie 7:
Programmation en logique floue**

Programmable controllers –

**Part 7:
Fuzzy control programming**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61131-7:2000

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61131-7

Première édition
First edition
2000-08

Automates programmables –

**Partie 7:
Programmation en logique floue**

Programmable controllers –

**Part 7:
Fuzzy control programming**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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 l'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	12
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	16
2 Références normatives.....	16
3 Définitions.....	16
4 Intégration dans l'automate programmable	20
5 Langage de contrôle flou FCL.....	22
5.1 Echange de programmes de contrôle flou.....	22
5.2 Eléments du langage de contrôle flou	24
5.3 Exemple de FCL	42
5.4 Règles de production et mots-clés du langage de contrôle flou (FCL)	42
6 Conformité	50
6.1 Classes de conformité du langage de contrôle flou FCL.....	50
6.2 Liste de contrôle de données.....	54
Annexe A (informative) Théorie.....	58
A.1 Logique floue	58
A.2 Contrôle flou	66
A.3 Performances du contrôle flou	80
Annexe B (informative) Exemples	84
B.1 Précontrôle	84
B.2 Adaptation des paramètres d'automate PID conventionnel.....	86
B.3 Contrôle flou direct d'un procédé	86
Annexe C (informative) Exemple d'application industrielle – Grue à conteneurs.....	88
Annexe D (informative) Exemple d'utilisation de variables dans le bloc de règles.....	108
Annexe E (informative) Symboles, abréviations et synonymes.....	112
Figure 1 – Exemple de bloc fonction de contrôle flou en représentation FBD	22
Figure 2 – Echange de données entre programmes en langage de contrôle flou (FCL)	24
Figure 3 – Déclaration d'interface de bloc fonction en langage ST et FBD	26
Figure 4 – Exemple de termes de rampe.....	28
Figure 5 – Exemple d'utilisation de variables pour les fonctions d'appartenance	28
Figure 6 – Exemple de termes singletons.....	30
Figure 7 – Exemple de bloc fonction flou.....	42
Figure 8 – Niveaux de conformité.....	50
Figure A.1 – Fonctions d'appartenance pour les termes «âge adulte légal» et «adulte»	60
Figure A.2 – Description de la variable linguistique «Age» par des termes linguistiques et par leur hiérarchie sur l'échelle de temps (années d'âge)	60
Figure A.3 – Profils de fonctions d'appartenance fréquemment utilisés.....	62

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
INTRODUCTION	13
Clause	
1 Scope and object	17
2 Normative references	17
3 Definitions	17
4 Integration into the programmable controller	21
5 Fuzzy Control Language FCL	23
5.1 Exchange of fuzzy control programs	23
5.2 Fuzzy Control Language elements	25
5.3 FCL example	43
5.4 Production rules and keywords of the Fuzzy Control Language (FCL)	43
6 Compliance	51
6.1 Conformance classes of Fuzzy Control Language FCL	51
6.2 Data check list	55
Annex A (informative) Theory	59
A.1 Fuzzy Logic	59
A.2 Fuzzy Control	67
A.3 Performance of Fuzzy control	81
Annex B (informative) Examples	85
B.1 Pre-control	85
B.2 Parameter adaptation of conventional PID controllers	87
B.3 Direct fuzzy control of a process	87
Annex C (informative) Industrial example – Container crane	89
Annex D (informative) Example for using variables in the rule block	109
Annex E (informative) Symbols, abbreviations and synonyms	113
Figure 1 – Example of a fuzzy control Function Block in FBD representation	23
Figure 2 – Data exchange of Programs in Fuzzy Control Language (FCL)	25
Figure 3 – Example of a Function Block interface declaration in ST and FBD languages	27
Figure 4 – Example of ramp terms	29
Figure 5 – Example of usage of variables for membership functions	29
Figure 6 – Example of singleton terms	31
Figure 7 – Example for fuzzy function block	43
Figure 8 – Levels of conformance	51
Figure A.1 – Membership functions of the terms "full legal age" and "adult"	61
Figure A.2 – Description of the linguistic variable "Age" by linguistic terms and their hierarchy on the time scale (age in years)	61
Figure A.3 – Commonly used shapes of membership functions	63

Figure A.4 – Algorithmes pour l'implémentation d'opérations entre deux fonctions d'appartenance	66
Figure A.5 – Structure et éléments fonctionnels du contrôle flou.....	68
Figure A.6 – Principe de fuzzification (exemple)	68
Figure A.7 – Représentation de la base de connaissance sous forme linguistique	70
Figure A.8 – Représentation de deux variables sous forme de matrice	70
Figure A.9 – Eléments d'une inférence.....	72
Figure A.10a – Exemple montrant les principes d'agrégation.....	74
Figure A.10b – Principes d'activation (exemple)	74
Figure A.10c – Principes d'accumulation (exemple).....	76
Figure A.11a – Méthodes de défuzzification	76
Figure A.11b – Comparaison entre maximum le plus à gauche et maximum le plus à droite ..	78
Figure A.11c: Comparaison entre Centre de surface et Centre de gravité	78
Figure A.11d – Méthodes de défuzzification	80
Figure A.12 – Exemples de courbes de caractéristiques de contrôle flou	82
Figure A.13a – Automate à base de logique floue: structure fondamentale	82
Figure A.13b – Exemple d'automate à base de logique floue	82
Figure B.1 – Exemple de précontrôle	84
Figure B.2 – Exemple d'adaptation d'un paramètre.....	86
Figure B.3 – Exemple de contrôle flou direct	86
Figure C.1 – Exemple d'application industrielle – Grue à conteneurs	88
Figure C.2 – Variable linguistique «Distance» entre tête de grue et position finale	90
Figure C.3 – Variable linguistique «Angle» entre conteneur et tête de grue.....	90
Figure C.4 – Variable linguistique «Puissance»	90
Figure C.5 – Base de règles	92
Figure C.6 – Fuzzification de la variable linguistique «Distance»	92
Figure C.7 – Fuzzification de la variable linguistique «Angle»	94
Figure C.8 – Sous-ensemble de trois règles.....	94
Figure C.9 – Eléments d'agrégation	94
Figure C.10 – Principes d'agrégation	96
Figure C.11 – Eléments d'activation	96
Figure C.12 – Principes d'activation	98
Figure C.13 – Eléments d'accumulation	98
Figure C.14 – Principes d'accumulation	100
Figure C.15 – Défuzzification	102
Figure C.16 – Exemple en FCL	104
Figure D.1 – Principe du système contrôlé	108
Figure D.2 – Principe de contrôle flou d'un four	108
Figure D.3 – Bloc de règles.....	108
Figure D.4 – Exemple en FCL	110

	Page
Figure A.4 – Algorithms for implementing operations between two membership functions	67
Figure A.5 – Structure and functional elements of fuzzy control	69
Figure A.6 – The principle of fuzzification (as an example)	69
Figure A.7 – Representation of the knowledge base in linguistic form	71
Figure A.8 – Matrix representation of two variables	71
Figure A.9 – Elements of inference	73
Figure A.10a – An example showing the principles of aggregation	75
Figure A.10b – The principles of activation (as an example)	75
Figure A.10c – The principles of accumulation (as an example)	77
Figure A.11a – Methods of defuzzification	77
Figure A.11b – Difference between Left Most Maximum and Right Most Maximum	79
Figure A.11c – Difference between Centre of Area and Centre of Gravity	79
Figure A.11d – Methods of defuzzification	81
Figure A.12 – Examples of fuzzy control characteristic curves	83
Figure A.13a – Fuzzy-based controller: Fundamental structure	83
Figure A.13b – Example of a Fuzzy-based controller	83
Figure B.1 – Example of a pre-control	85
Figure B.2 – Example of a parameter adaptation	87
Figure B.3 – Example of a direct fuzzy control	87
Figure C.1 – Industrial example – Container crane	89
Figure C.2 – Linguistic variable "Distance" between crane head and target position	91
Figure C.3 – Linguistic variable "Angle" of the container to the crane head	91
Figure C.4 – Linguistic variable "Power"	91
Figure C.5 – Rule base	93
Figure C.6 – Fuzzification of the linguistic variable "distance"	93
Figure C.7 – Fuzzification of the linguistic variable "angle"	95
Figure C.8 – Subset of three rules	95
Figure C.9 – Elements of aggregation	95
Figure C.10 – Principles of aggregation	97
Figure C.11 – Elements of activation	97
Figure C.12 – Principles of activation	99
Figure C.13 – Elements of accumulation	99
Figure C.14 – Principles of accumulation	101
Figure C.15 – Defuzzification	103
Figure C.16 – Example in SCL	105
Figure D.1 – Principle of the controlled system	109
Figure D.2 – Principle of the fuzzy based control of the oven	109
Figure D.3 – Rule block	109
Figure D.4 – Example in FCL	111

	Pages
Tableau 1 – Méthodes de défuzzification.....	30
Tableau 2 – Formules des différentes méthodes de défuzzification	32
Tableau 3 – Algorithmes appariés	34
Tableau 4 – Méthodes d'activation	34
Tableau 5 – Méthodes d'accumulation	36
Tableau 6 – Priorité des opérateurs	36
Tableau 7 – Mots-clés réservés pour le FCL	48
Tableau 8 – Eléments de langage de contrôle flou FCL Niveau Base (obligatoires).....	52
Tableau 9 – Eléments de langage de contrôle flou FCL Niveau Extension (facultatifs)	54
Tableau 10 – Exemple de liste d'éléments de langage Niveau Ouvert.....	54
Tableau 11 – Liste de contrôle de données	56
Tableau A.1 – Etapes d'inférence et algorithmes couramment utilisés	74
Tableau C.1 – Etapes d'inférence et opérateurs correspondants	92
Tableau E.1 – Symboles et Abréviations	112
Tableau E.2 – Synonymes	112

	Page
Table 1 – Defuzzification methods	31
Table 2 – Formulae for defuzzification methods	33
Table 3 – Paired algorithms	35
Table 4 – Activation methods	35
Table 5 – Accumulation methods	37
Table 6 – Priority of operators	37
Table 7 – Reserved keywords for FCL	49
Table 8 – FCL Basic Level language elements (mandatory).....	53
Table 9 – FCL Extension Level language elements (optional)	55
Table 10 – Examples of a list with Open Level language elements	55
Table 11 – Data check list	57
Table A.1 – Inference steps and commonly used algorithms.....	75
Table C.1 – Inference steps and assigned operator.....	93
Table E.1 – Symbols and abbreviations.....	113
Table E.2 – Synonyms	113

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AUTOMATES PROGRAMMABLES –

Partie 7: Programmation en logique floue

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 61131-7 a été établie par le sous-comité 65B: Dispositifs, du comité d'études 65 de la CEI: Mesure et commande dans les processus industriels.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
65B/406/FDIS	65B/413/RVD

Le rapport de vote indiqué au 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 3.

Les annexes A à E sont données uniquement à titre d'information.

La CEI 61131 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Automates programmables*:

Partie 1:1992, Informations générales

Partie 2:1992, Spécifications et essais des équipements

Partie 3:1993, Langages de programmation

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROGRAMMABLE CONTROLLERS –**Part 7: Fuzzy control programming**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61131-7 has been prepared by subcommittee 65B: Devices, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement and control.

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

FDIS	Report on voting
65B/406/FDIS	65B/413/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 3.

Annexes A to E are for information only.

IEC 61131 consists of the following parts under the general title *Programmable controllers*:

Part 1:1992, General information

Part 2:1992, Equipment requirements and tests

Part 3:1993, Programming languages