DIN EN 16603-60-10

DIN

ICS 49.140

Einsprüche bis 2014-04-07

Entwurf

Raumfahrttechnik – Steuerungleistung; Englische Fassung FprEN 16603-60-10:2013

Space engineering – Control performances; English version FprEN 16603-60-10:2013

Ingénierie spatiale – Performance de systèmes de contôle; Version anglaise FprEN 16603-60-10:2013

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-02-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 64 Seiten

Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 16603-60-10:2013) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 5 „Raumfahrt“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zum einstufigen Annahmeverfahren vorgelegt.

Dieses Dokument wurde speziell zur Behandlung von Raumfahrtsystemen erarbeitet und hat daher Vorrang vor jeglicher Europäischer Norm, da es denselben Anwendungsbereich hat, jedoch über einen größeren Geltungsbereich (z. B. Luft- und Raumfahrt) verfügt.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Einleitung

Der Schwerpunkt dieser Norm liegt auf besonderen Problemen beim Umgang mit Leistungsaspekten von Steuersystemen im Rahmen von Raumfahrtprojekten. Sie enthält eine Reihe an normativen Definitionen, Haushaltsregeln und Vorlagen für Spezifikationen, die bei der Entwicklung von allgemeinen Steuerungssystemen anwendbar sind.

Die Norm ist in zwei Hauptabschnitte unterteilt, die Folgendes behandeln:

— Indizes für Leistungsfehler und Analyseverfahren;

— Spezifikationen für Stabilität und Robustheit und Verifikation linearer Systeme.

Dieses Dokument bildet die normative Grundlage des allgemeineren und informativeren Handbuchs über den Regelverlauf, das von der ECSS-Arbeitsgruppe E-60-10 herausgegeben wurde. Zur Verdeutlichung (der Konzepte, des technischen Hintergrunds, z. B. Begründungen der Vorschriften), sollten Anwender sich auf das Handbuch beziehen.

ANMERKUNG Diese Norm und das zugehörige Handbuch dienen nicht dazu, Fachbücher über die Theorie der automatischen Steuerung zu ersetzen. Es wird davon ausgegangen, dass die Leser und Anwender dieser Norm über allgemeines Wissen über Steuerungstechnik und ihre Anwendung in der Raumfahrt verfügen.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm behandelt Steuerungssysteme, die Teil eines Raumfahrtprojektes sind. Sie ist anwendbar auf alle Elemente eines Raumfahrtsystems, einschließlich dem Raumsegment, dem Bodensegment und dem Startdienst.

Hier werden Fragen des Regelverlaufs hinsichtlich Definition, Spezifikation, Verifikation und Validierungsverfahren und -prozessen behandelt.

Diese Norm legt einen allgemeinen Rahmen zum Umgang mit Leistungsindikatoren fest, die in allen Disziplinen, die Steuerungstechnik einsetzen und von der Einrichtungs- bis zur Systemebene anwendbar sind. Sie richtet sich auch auf besondere Leistungsindikatoren, die für Steuerungssysteme anwendbar sind — hauptsächlich bezüglich Stabilität und Robustheit.

Zur Erstellung eines Fehlerbudgets für Leistungsfehler und Verwendung dessen zur Bewertung der Übereinstimmung mit einer Anforderung, werden Vorschriften zum Kombinieren von verschiedenen Fehlerquellen gegeben.

ANMERKUNG 1 Obwohl diese Norm allgemein anwendbar sein soll, ist einer der Hauptanwendungsbereiche das Ausrichten von Raumflugkörpern. Deshalb beziehen sich die meisten Beispiele und Darstellungen auf Probleme des AOCS (Lage- und Bahnregelungssystem eines Raumfahrzeugs, en: Attitude and Orbit Control System).

ANMERKUNG 2 Auch wenn die Definitionen und die normativen Abschnitte dieser Norm für die Leistungsfähigkeit des Ausrichtens von Raumflugkörpern gelten, wird diesbezüglich nicht alles detailliert behandelt (z. B. rotierende Raumflugkörper). Ergänzendes Textmaterial zum Fehlerbudget des Ausrichtens ist in ECSS-E-HB-60-10 aufgeführt.

ANMERKUNG 3 Jede Einheit (ESA, nationale Behörden, führende Unternehmen) kann interne Dokumente zu ihrer eigenen spezifischen Verwendung anfertigen und geeignete Richtlinien und Summierungsregeln ableiten, die auf den Hauptabschnitten dieser Norm, ECSS-E-ST-60-10, basieren.

Diese Norm kann in Übereinstimmung mit ECSS-S-ST-00 an die spezifischen Eigenschaften und Beschränkungen eines Raumfahrtprojektes angepasst werden.

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe aus anderen Normen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe der ECSS-S-ST-00-01, insbesondere folgende Begriffe:

— **Fehler**

— **Leistung**

— **Unsicherheit**

3.2 Für diese Norm spezifische Begriffe[1)]

3.2.1
absoluter Wissensfehler (AKE)
Schwankungswert des Wissensfehlers zu einer bestimmten Zeit

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$AKE(t) = e_K(t)$$

ANMERKUNG 2 Siehe Anhang A.1.3 zur Definition von Anforderungen an Wissensfehler.

3.2.2
absoluter Leistungsfehler (APE)
Schwankungswert des Leistungsfehlers zu einer bestimmten Zeit

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$APE(t) = ep(t)$$

3.2.3
Fehlerindex
Parameter, der einen speziellen Aspekt der Zeitschwankung eines **Leistungs-** oder **Wissensfehlers** isoliert

ANMERKUNG 1 Ein Leistungsfehlerindex wird auf die Abweichung der (gewünschten) Ausgabe des Systems von der tatsächlichen Systemausgabe angewandt.

ANMERKUNG 2 Ein Wissensfehler wird auf die Abweichung der tatsächlichen Ausgabe des Systems von der bekannten (geschätzten) Systemausgabe angewandt.

ANMERKUNG 3 Die gebräuchlichsten Indizes werden in diesem Kapitel festgelegt (APE, RPE, AKE usw.). Die Liste ist nicht einschränkend.

---

1) Vorbemerkung: Die in 3.2 eingeführten Fehlersignale sind sehr allgemein gehalten. Sie stellen jede physikalische Größe dar (z. B. Fluglage, Temperatur, Druck, Position usw.). Je nach Situation und Art des Steuerungssystems sind sie skalar oder mehrdimensional.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

3.2.4
einzelne Fehlerquelle
elementare physikalische Eigenschaft oder Prozess, erzeugt durch eine eindeutigen Quelle, die einen **Leistungs-** oder **Wissensfehler** verursacht

ANMERKUNG 1 Beispielsweise Rauschen des Sensors, Vorspannung des Sensors, Rauschen des Bedienelementes, Vorspannung des Bedienelementes, Störkräfte und -drehmomente (z. B. Mikrovibrationen, Rangieren, externe oder interne Bewegung des Teilsystems), Reibungskräfte und Drehmomente, Versatz, Wärmeverzug, digitale Quantisierung, Leistung des Regelungsgesetzes (bleibende Regelabweichung), Jitter usw.

3.2.5
Wissensfehler
Abweichung der bekannten (geschätzten) Systemausgabe von der tatsächlich erreichten Ausgabe

ANMERKUNG 1 Wird abgekürzt durch e_K.

ANMERKUNG 2 Normalerweise ist dies zeitabhängig.

ANMERKUNG 3 Manchmal auch irritierend als „Messfehler“ bezeichnet, obwohl die Benennung tatsächlich allgemeiner gefasst ist, als bei einer direkten Messung.

ANMERKUNG 4 Für die Parameterdarstellung des Wissensfehlers sind abhängig vom System verschiedene Quantitäten relevant. Das Gleiche gilt für den Leistungsfehler. Die Entscheidung für die geeignetste bedarf eines guten Urteilsvermögens.

ANMERKUNG 5 Beispiel: Der Unterschied zwischen der tatsächlichen und der bekannten Ausrichtung eines Bezugssystems kann durch Verwendung der Eulerschen Winkel zur Transformation des Bezugssystemes oder dem Winkel zwischen der tatsächlichen und der bekannten Ausrichtung eines bestimmten Vektors innerhalb dieses Bezugssystems parametrisiert werden.

3.2.6
mittlerer Wissensfehler (MKE)
mittlerer Wert des Wissensfehlers über ein festgelegtes Zeitintervall

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$MKE(\Delta t) = \overline{e_K}(\Delta t) = \frac{1}{\Delta t}\int_{\Delta t} e_K(t)dt$$

ANMERKUNG 2 Siehe A.1.4 zur Festlegung des Intervalls Δt und A.1.3 zur Festlegung der Anforderungen an den Wissensfehler.

3.2.7
mittlerer Leistungsfehler (MPE)
mittlerer Wert des Leistungsfehlers über ein festgelegtes Zeitintervall

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$MPE(\Delta t) = \overline{e_p}(\Delta t) = \frac{1}{\Delta t}\int_{\Delta t} ep(t)dt$$

ANMERKUNG 2 Siehe A.1.4 zur Festlegung des Intervalls Δt.

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

3.2.8
Fehler der Leistungsabweichung (PDE)
Differenz der Mittelwerte des Leistungsfehlers, die über zwei Zeitintervalle innerhalb eines Beobachtungszeitraums gemessen werden

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$PDE(\Delta t_1, \Delta t_2) = \overline{e_p}(\Delta t_2) - \overline{e_p}(\Delta t_1) = \frac{1}{\Delta t_2}\int_{\Delta t_2} e_p(t)dt - \frac{1}{\Delta t_1}\int_{\Delta t_1} e_p(t)dt$$

ANMERKUNG 2 Dabei sind die Zeitintervalle Δt_1 und Δt_2 durch ein Zeitintervall ungleich Null Δt_{PDE} getrennt.

ANMERKUNG 3 Die Dauer von Δt_1 und Δt_2 ist ausreichend lang, um kurzfristige Beiträge zu mitteln. Im Idealfall haben sie die gleiche Dauer. Siehe A.1.4 zur weiteren Erörterung der Wahl von Δt_1, Δt_2, Δt_{PDE}.

ANMERKUNG 4 Die zwei Intervalle Δt_1 und Δt_2 liegen innerhalb eines Beobachtungszeitraumes.

3.2.9
Leistungsfehler
Unterschied zwischen der (gewünschten) Ausgabe des Systems und der tatsächlich erreichten Ausgabe

ANMERKUNG 1 Wird gekennzeichnet durch e_P.

ANMERKUNG 2 Normalerweise ist dies zeitabhängig.

ANMERKUNG 3 Für die Parameterdarstellung des Leistungsfehlers sind abhängig vom System verschiedene Quantitäten relevant. Die Entscheidung für die geeignetste bedarf eines guten Urteilsvermögens.

ANMERKUNG 4 Beispiel: Der Unterschied zwischen der gewünschten und der tatsächlichen Ausrichtung eines Bezugssystems kann anhand der Eulerschen Winkel zur Transformation des Bezugssystems oder dem Winkel zwischen der gewünschten und der tatsächlichen Ausrichtung eines bestimmten Vektors innerhalb dieses Bezugssystems parametrisiert werden.

3.2.10
Fehler der Leistungsreproduzierbarkeit (PRE)
Differenz aus den Mittelwerten des Leistungsfehlers, die über zwei Zeitintervalle innerhalb verschiedener Beobachtungszeiträume gemessen werden

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$PRE(\Delta t_1, \Delta t_2) = \overline{e_p}(\Delta t_2) - \overline{e_p}(\Delta t_1) = \frac{1}{\Delta t_2}\int_{\Delta t_2} e_p(t)dt - \frac{1}{\Delta t_1}\int_{\Delta t_1} e_p(t)dt$$

ANMERKUNG 2 Dabei sind die Zeitintervalle Δt_1 und Δt_2 durch ein Zeitintervall Δt_{PRE} getrennt.

ANMERKUNG 3 Die Dauer von Δt_1 und Δt_2 ist ausreichend lang, um kurzfristige Beiträge zu mitteln. Im Idealfall haben sie die gleiche Dauer. Siehe A.1.4 zur weiteren Erörterung der Wahl von Δt_1, Δt_2 und Δt_{PRE}.

ANMERKUNG 4 Die zwei Intervalle Δt_1 und Δt_2 liegen innerhalb verschiedener Beobachtungszeiträume.

ANMERKUNG 5 Die mathematischen Definitionen der Indizes von PDE und PRE sind identisch. Der Unterschied liegt in der Verwendung: PDE wird verwendet um die Abweichung des Leistungsfehlers während eines langen Beobachtungszeitraums zu quantifizieren, während PRE verwendet wird, um die Genauigkeit mit der eine Beobachtung zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt werden kann, zu quantifizieren.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

3.2.11
relativer Wissensfehler (RKE)
Differenz aus dem momentanen Wissensfehler zu einem bestimmten Zeitpunkt und seinem Mittelwert über ein Zeitintervall, das diesen Zeitpunkt enthält

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$RKE(t,\Delta t) = e_K(t) - \overline{e_K}(\Delta t) = e_K(t) - \frac{1}{\Delta t}\int_{\Delta t} e_k(t)dt \qquad t \in \Delta t$$

ANMERKUNG 2 Wie hier angegeben ist die genaue Beziehung zwischen t und Δt nicht klar definiert. Je nach System, kann es geeignet sein diese genauer zu spezifizieren: z. B. wird t zufällig innerhalb Δt gewählt, oder t befindet sich am Ende von Δt. Siehe A.1.4 zur Festlegung des Intervalls Δt und A.1.3 zur Festlegung der Anforderungen an den Wissensfehler.

3.2.12
relativer Leistungsfehler (RPE)
Differenz aus dem momentanen Leistungsfehler zu einem bestimmten Zeitpunkt und seinem Mittelwert über ein Zeitintervall, das diesen Zeitpunkt enthält

ANMERKUNG 1 Dies wird ausgedrückt durch:

$$RPE(t,\Delta t) = e_p(t) - \overline{e_p}(\Delta t) = e_p(t) - \frac{1}{\Delta t}\int_{\Delta t} e_p(t)dt \qquad t \in \Delta t$$

ANMERKUNG 2 Wie hier angegeben ist die genaue Beziehung zwischen t und Δt nicht klar definiert. Je nach System, kann es geeignet sein diese genauer zu spezifizieren: z. B. wird t zufällig innerhalb Δt gewählt, oder t befindet sich am Ende von Δt. Siehe A.1.4 zur weiteren Erörterung.

3.2.13
Robustheit
Fähigkeit eines gesteuerten Systems manche Leistungs- oder Stabilitätseigenschaften in einer Anlage, in Sensoren, Bedienelementen und/oder umgebungsbedingten Unsicherheiten aufrechtzuerhalten

ANMERKUNG 1 Die Robustheit der Leistung ist die Fähigkeit die Leistung in Anwesenheit von festgelegten begrenzten Unsicherheiten zu erhalten.

ANMERKUNG 2 Die Robustheit der Stabilität ist die Fähigkeit die Stabilität in Anwesenheit von festgelegten begrenzten Unsicherheiten zu erhalten.

3.2.14
Stabilität
Fähigkeit eines Systems, das begrenzten externen Störgrößen unterliegt, auf unbestimmte Zeit in einem begrenzten Bereich um eine Gleichgewichtslage oder in einer Gleichgewichtsbahn zu verbleiben

3.2.15
Stabilitätsreserve
maximale Abweichung einiger Parameter, die ein gegebenes Steuerungssystem beschreiben, bei der das System stabil bleibt

ANMERKUNG 1 Die in der klassischen Steuerungstechnik am häufigsten definierten Stabilitätsreserven sind die Amplitudenreserve, die Phasenreserve, die Modulreserve und — weniger häufig — die Totzeitreserve (siehe Abschnitt 5 dieser Norm).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

3.2.16
statistische Gruppe
Reihe aller physikalisch möglichen Kombinationen von Parameterwerten, die ein Steuerungssystem beschreiben

ANMERKUNG 1 Zum Beispiel: Bei Betrachtung der Lagedynamik eines Raumflugkörpers, schließen diese Parameter Masse, Trägheiten, modale Koppelfaktoren, Eigenfrequenzen und Dämpfungsgrade des Anhängermodus, die Standardabweichung des Sensorrauschens usw. mit ein. Dies bedeutet, dass alle physikalischen Parameter sich potenziell auf die Leistung des Systems auswirken können.

4 Abkürzungen

Die folgenden Abkürzungen sind festgelegt und werden in diesem Dokument verwendet:

Abkürzung	Bedeutung
AKE	absoluter Wissensfehler (en: absolute knowledge error)
APE	absoluter Leistungsfehler (en: absolute performance error)
LTI	lineares zeitinvariantes System (en: linear time invariant)
MIMO	Mehrgrößensystem (en: multiple input – multiple output)
MKE	mittlerer Wissensfehler (en: mean knowledge error)
MPE	mittlerer Leistungsfehler (en: mean performance error)
PDE	Fehler der Leistungsabweichung (en: performance drift error)
PDF	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (en: probability density function)
PRE	Fehler der Leistungsreproduzierbarkeit (en: performance reproducibility error)
RKE	relativer Wissensfehler (en: relative knowledge error)
RMS	quadratischer Mittelwert (en: root mean square)
RPE	relativer Leistungsfehler (en: relative performance error)
RSS	geometrische Summe (en: root sum of squares)
SISO	Eingrößensystem (en: single input – single output)

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

EUROPEAN STANDARD — *Entwurf* — **FINAL DRAFT**
NORME EUROPÉENNE **FprEN 16603-60-10**
EUROPÄISCHE NORM

August 2013

ICS 49.140

English version

Space engineering - Control performances

Ingénierie spatiale - Performance de systèmes de contôle

Raumfahrttechnik - Steuerungleistung

This draft European Standard is submitted to CEN members for unique acceptance procedure. It has been drawn up by the Technical Committee CEN/CLC/TC 5.

If this draft becomes a European Standard, CEN and CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

This draft European Standard was established by CEN and CENELEC in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN and CENELEC member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN and CENELEC members are the national standards bodies and national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

Warning : This document is not a European Standard. It is distributed for review and comments. It is subject to change without notice and shall not be referred to as a European Standard.





CEN-CENELEC Management Centre:
Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

© 2013 CEN/CENELEC All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members and for CENELEC Members.

Ref. No. FprEN 16603-60-10:2013 E

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

Table of contents

Foreword **5**

Introduction **6**

1 Scope **7**

2 Normative references **8**

3 Terms, definitions and abbreviated terms **9**

3.1 Terms from other standards 9

3.2 Terms specific to the present standard 9

3.3 Abbreviated terms 14

4 Performance requirements and budgeting **15**

4.1 Specifying a performance requirement 15

4.1.1 Overview 15

4.1.2 Elements of a performance requirement 16

4.1.3 Elements of a knowledge requirement 16

4.1.4 Probabilities and statistical interpretations 17

4.2 Use of error budgeting to assess compliance 17

4.2.1 Scope and limitations 17

4.2.2 Identification and characterisation of contributors 18

4.2.3 Combination of contributors 19

4.2.4 Comparison with requirement 21

5 Stability and robustness specification and verification for linear systems **23**

5.1 Overview 23

5.2 Stability and robustness specification 24

5.2.1 Uncertainty domains 24

5.2.2 Stability requirement 26

5.2.3 Identification of checkpoints 26

5.2.4 Selection and justification of stability margin indicators 27

5.2.5 Stability margins requirements 27

5.2.6 Verification of stability margins with a single uncertainty domain 28

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

5.2.7 Verification of stability margins with reduced and extended uncertainty domains 28

Annex A (informative) **Use of performance error indices** **29**

A.1 Formulating error requirements 29

A.1.1 More about error indices 29

A.1.2 Statistical interpretation of requirements 30

A.1.3 Knowledge requirements 32

A.1.4 Specifying the timescales for requirements 32

A.2 More about performance error budgets 34

A.2.1 When to use an error budget 34

A.2.2 Identifying and quantifying the contributing errors 35

A.2.3 Combining the errors 36

A.2.4 Comparison with requirements 38

Annex B (informative) **Inputs to an error budget** **40**

B.1 Overview 40

B.2 Bias errors 41

B.3 Random errors 42

B.4 Periodic errors (short period) 44

B.5 Periodic errors (long period) 44

B.6 Distributions of ensemble parameters 45

B.7 Using the mixed statistical distribution 48

Annex C (informative) **Worked example** **49**

C.1 Scenario and requirements 49

C.2 Assessing the contributing errors 50

C.3 Compiling the pointing budgets 52

Annex D (informative) **Correspondence with the pointing error handbook** **54**

References **55**

Bibliography **56**

Figures

Figure A-1 : Example showing the APE, MPE and RPE error indices 30

Figure A-2 : Example showing the PDE and PRE error indices 30

Figure A-3 : Example of a statistical ensemble of errors. 31

Figure A-4 : The different ways in which a requirement for P(|ε|<1°) > 0,9 can be met 32

Figure A-5 : Illustration of how the statistics of the pointing errors differ depending on which statistical interpretation is used 32

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

Figure C-1 : Scenario example 50

Tables

Table B-1 : Parameters whose distributions are assessed for the different pointing error indices (knowledge error indices are similar) 41
Table B-2 : Budget contributions from bias errors, where B represents the bias 42
Table B-3 : Budget contributions from zero mean Gaussian random errors 43
Table B-4 : Uniform Random Errors (range 0-C) 43
Table B-5 : Budget contributions for periodic errors (low period sinusoidal) 44
Table B-6 : Budget contributions for periodic errors (long period sinusoidal) 45
Table B-7 : Some common distributions of ensemble parameters and their properties 47
Table C-1 : Example of contributing errors, and their relevant properties 51
Table C-2 : Example of distribution of the ensemble parameters 52
Table C-3 : Example of pointing budget for the APE index 53
Table C-4 : Example of pointing budget for the RPE index 53
Table D-1 : Correspondence between Pointing error handbook and ECSS-E-ST-60-10 indicators 54

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

Foreword

This document (FprEN 16603-60-10:2013) has been prepared by Technical Committee CEN/CLC/TC 5 "Space", the secretariat of which is held by DIN (Germany).

This document (FprEN 16603-60-10:2013) originates from ECSS-E-ST-60-10C.

This document is currently submitted to the Unique Acceptance Procedure.

This document has been developed to cover specifically space systems and will the-refore have precedence over any EN covering the same scope but with a wider do-main of applicability (e.g. : aerospace).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

Introduction

This standard focuses on the specific issues raised by managing performance aspects of control systems in the frame of space projects. It provides a set of normative definitions, budget rules, and specification templates applicable when developing general control systems.

The standard is split up in two main clauses, respectively dealing with:

- Performance error indices and analysis methods.
- Stability and robustness specification and verification for linear systems.

This document constitutes the normative substance of the more general and informative handbook on control performance, issued in the frame of the E-60-10 ECSS working group. If clarifications are necessary (on the concepts, the technical background, the rationales for the rules for example) the readers should refer to the handbook.

NOTE It is not intended to substitute to textbook material on automatic control theory, neither in this standard nor in the associated handbook. The readers and the users are assumed to possess general knowledge of control system engineering and its applications to space missions.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

1 Scope

This standard deals with control systems developed as part of a space project. It is applicable to all the elements of a space system, including the space segment, the ground segment and the launch service segment.

It addresses the issue of control performance, in terms of definition, specification, verification and validation methods and processes.

The standard defines a general framework for handling performance indicators, which applies to all disciplines involving control engineering, and which can be applied as well at different levels ranging from equipment to system level. It also focuses on the specific performance indicators applicable to the case of closed-loop control systems – mainly stability and robustness.

Rules are provided for combining different error sources in order to build up a performance error budget and use this to assess the compliance with a requirement.

NOTE 1 Although designed to be general, one of the major application field for this Standard is spacecraft pointing. This justifies why most of the examples and illustrations are related to AOCS problems.

NOTE 2 Indeed the definitions and the normative clauses of this Standard apply to pointing performance; nevertheless fully specific pointing issues are not addressed here in detail (spinning spacecraft cases for example). Complementary material for pointing error budgets can be found in ECSS-E-HB-60-10.

NOTE 3 For their own specific purpose, each entity (ESA, national agencies, primes) can further elaborate internal documents, deriving appropriate guidelines and summation rules based on the top level clauses gathered in this ECSS-E-ST-60-10 standard.

This standard may be tailored for the specific characteristic and constrains of a space project in conformance with ECSS-S-ST-00.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this ECSS Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revision of any of these publications do not apply, However, parties to agreements based on this ECSS Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the more recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the publication referred to applies.

EN reference	Reference in text	Title
EN 16601-00-01	ECSS-S-ST-00-01	ECSS System – Glossary of terms

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms from other standards

For the purpose of this Standard, the terms and definitions from ECSS-S-ST-00-01 apply, in particular for the following terms:

error

performance

uncertainty

3.2 Terms specific to the present standard [1]

3.2.1 absolute knowledge error (AKE)

instantaneous value of the knowledge error at any given time

NOTE 1 This is expressed by:
$$AKE(t) = e_K(t)$$

NOTE 2 See annex A.1.3 for defining requirements on the knowledge error.

3.2.2 absolute performance error (APE)

instantaneous value of the performance error at any given time

NOTE This is expressed by:
$$APE(t) = e_P(t)$$

3.2.3 error index

parameter isolating a particular aspect of the time variation of a **performance error** or **knowledge error**

NOTE 1 A performance error index is applied to the difference between the target (desired) output of the system and the actual system output.

[1] As a preliminary note, the error signals introduced in clause 3.2 are very general. They represent any type of physical quantity (e.g. attitude, temperature, pressure, position). According to the situation and to the nature of the control system, they are scalar or multi-dimensional.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

NOTE 2 A knowledge error index is applied to the difference between the actual output of the system and the known (estimated) system output.

NOTE 3 The most commonly used indices are defined in this chapter (APE, RPE, AKE etc.). The list is not limitative.

3.2.4 individual error source

elementary physical characteristic or process originating from a well-defined source which contributes to a **performance error** or a performance **knowledge error**

NOTE For example sensor noise, sensor bias, actuator noise, actuator bias, disturbance forces and torques (e.g. microvibrations, manoeuvres, external or internal subsystem motions), friction forces and torques, misalignments, thermal distortions, assembly distortions, digital quantization, control law performance (steady state error), jitter, etc.

3.2.5 knowledge error

difference between the known (estimated) output of the system and the actual achieved output

NOTE 1 It is denoted by e_K.

NOTE 2 Usually this is time dependent.

NOTE 3 Sometimes confusingly referred to as "measurement error", though in fact the concept is more general than direct measurement.

NOTE 4 Depending upon the system, different quantities can be relevant for parameterising the knowledge error, in the same way as for the performance error. A degree of judgement is used to decide which is most appropriate.

NOTE 5 For example: the difference between the actual and the known orientation of a frame can be parameterised using the Euler angles for the frame transformation or the angle between the actual and known orientation of a particular vector within that frame.

3.2.6 mean knowledge error (MKE)

mean value of the knowledge error over a specified time interval

NOTE 1 This is expressed by:

$$MKE(\Delta t) = \overline{e_K}(\Delta t)$$

$$= \frac{1}{\Delta t}\int_{\Delta t} e_K(t)\,dt$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

NOTE 2 See annex A.1.4 for discussion of how to specify the interval Δt, and annex A.1.3 for defining requirements on the knowledge error.

3.2.7 mean performance error (MPE)

mean value of the performance error over a specified time interval

NOTE 1 This is expressed by:

$$MPE(\Delta t) = \overline{e_P}(\Delta t) = \frac{1}{\Delta t}\int_{\Delta t} e_P(t)\,dt$$

NOTE 2 See annex A.1.4 for discussion of how to specify the interval Δt .

3.2.8 performance drift error (PDE)

difference between the means of the performance error taken over two time intervals within a single observation period

NOTE 1 This is expressed by:

$$PDE(\Delta t_1, \Delta t_2) = \overline{e_P}(\Delta t_2) - \overline{e_P}(\Delta t_1) = \frac{1}{\Delta t_2}\int_{\Delta t_2} e_P(t)\,dt - \frac{1}{\Delta t_1}\int_{\Delta t_1} e_P(t)\,dt$$

NOTE 2 Where the time intervals Δt_1 and Δt_2 are separated by a non-zero time interval Δt_{PDE}.

NOTE 3 The durations of Δt_1 and Δt_2 are sufficiently long to average out short term contributions. Ideally they have the same duration. See annex A.1.4 for further discussion of the choice of Δt_1 , Δt_2, Δt_{PDE}.

NOTE 4 The two intervals Δt_1 and Δt_2 are within a single observation period

3.2.9 performance error

difference between the target (desired) output of the system and the actual achieved output

NOTE 1 It is denoted by e_P.

NOTE 2 Usually this is time dependent.

NOTE 3 Depending upon the system, different quantities can be relevant for parameterising the performance error. A degree of judgement is used to decide which is most appropriate.

NOTE 4 For example: The difference between the target and actual orientation of a frame can be parameterised using the Euler angles for the frame transformation or the angle between the target and actual orientation of a particular vector within that frame.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03

3.2.10 performance reproducibility error (PRE)

difference between the means of the performance error taken over two time intervals within different observation periods

NOTE 1 This is expressed by:

$$PRE(\Delta t_1, \Delta t_2) = \overline{e_P}(\Delta t_2) - \overline{e_P}(\Delta t_1)$$
$$= \frac{1}{\Delta t_2} \int_{\Delta t_2} e_P(t)\,dt - \frac{1}{\Delta t_1} \int_{\Delta t_1} e_P(t)\,dt$$

NOTE 2 Where the time intervals Δt_1 and Δt_2 are separated by a time interval Δt_{PRE}.

NOTE 3 The durations of Δt_1 and Δt_2 are sufficiently long to average out short term contributions. Ideally they have the same duration. See annex A.1.4 for further discussion of the choice of Δt_1, Δt_2, Δt_{PRE}.

NOTE 4 The two intervals Δt_1 and Δt_2 are within different observation periods

NOTE 5 The mathematical definitions of the PDE and PRE indices are identical. The difference is in the use: PDE is used to quantify the drift in the performance error during a long observation, while PRE is used to quantify the accuracy to which it is possible to repeat an observation at a later time.

3.2.11 relative knowledge error (RKE)

difference between the instantaneous knowledge error at a given time, and its mean value over a time interval containing that time

NOTE 1 This is expressed by:

$$RKE(t, \Delta t) = e_K(t) - \overline{e_K}(\Delta t)$$
$$= e_K(t) - \frac{1}{\Delta t} \int_{\Delta t} e_K(t)\,dt \qquad t \in \Delta t$$

NOTE 2 As stated here the exact relationship between t and Δt is not well defined. Depending on the system it can be appropriate to specify it more precisely: e.g. t is randomly chosen within Δt, or t is at the end of Δt. See annex A.1.4 for discussion of how to specify the interval Δt, and annex A.1.3 for defining requirements on the knowledge error.

3.2.12 relative performance error (RPE)

difference between the instantaneous performance error at a given time, and its mean value over a time interval containing that time

NOTE 1 This is expressed by:

$$RPE(t, \Delta t) = e_P(t) - \overline{e_P}(\Delta t)$$
$$= e_P(t) - \frac{1}{\Delta t} \int_{\Delta t} e_P(t)\,dt \qquad t \in \Delta t$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 16603-60-10:2014-03