
**Spécification géométrique des
produits (GPS) — Filtrage —**

Partie 32:

**Filtres de profil robustes: Filtres
splines**

Geometrical product specifications (GPS) — Filtration —

Part 32: Robust profile filters: Spline filters

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO/TR 16610-32:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/266b0d1a-f431-4d80-b14a-d43264f105dc/iso-tr-16610-32-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/266b0d1a-f431-4d80-b14a-d43264f105dc/iso-tr-16610-32-2023>



iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO/TR 16610-32:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/266b0d1a-f431-4d80-b14a-d43264f105dc/iso-tr-16610-32-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/266b0d1a-f431-4d80-b14a-d43264f105dc/iso-tr-16610-32-2023>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2023

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Filtre spline pour un échantillonnage uniforme et non uniforme	2
4.1 Généralités	2
4.2 Équation de filtre pour un filtre spline cubique	3
4.2.1 Généralités	3
4.2.2 Paramètre de régularisation	4
4.2.3 Paramètre de tension	4
4.2.4 Matrice V pour un filtre spline cubique linéaire	4
4.2.5 Matrice V pour un filtre spline cubique robuste	5
4.2.6 Terminaison de l'itération d'une estimation robuste	5
4.2.7 Matrices de différenciation P et Q	5
4.3 Caractéristiques de transmission	8
4.4 Autre filtre spline robuste	8
4.4.1 Généralités	8
4.4.2 Fonction objectif avec la norme L2 sans énergie de tension pour l'équation de filtre linéaire	9
4.4.3 Fonction objectif avec la norme L1 sans énergie de tension pour un filtrage robuste	9
5 Désignation de filtre	10
Annexe A (informative) Exemple de filtre spline appliqué à un profil structuré en plateau	11
Annexe B (informative) Relation avec le modèle de matrice de filtrage	13
Annexe C (informative) Relation avec le modèle de matrice GPS	14
Bibliographie	16

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'ISO attire l'attention sur la possibilité que la mise en œuvre du présent document puisse impliquer l'utilisation d'un (de) brevet(s). L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité ou à l'applicabilité de tous droits de brevet réclamés à ce titre. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu d'avis d'un (de) brevet(s) qui peu(ven)t être requis pour mettre en œuvre le présent document. Cependant, les responsables de la mise en œuvre sont avertis du fait que cela peut ne pas représenter les informations les plus récentes, qui peuvent être obtenues à partir de la base de données de brevets disponible à l'adresse www.iso.org/patents. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le Comité technique ISO/TC 213, *Spécifications et vérification dimensionnelles et géométriques des produits*.

Le présent document annule et remplace l'ISO/TS 16610-32:2009, qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- conversion en un Rapport Technique;
- inclusion d'un filtrage spline pour des points d'échantillonnage non uniformes;
- ajout d'une équation de filtre généralisée avec une révision de l'équation de filtre spline robuste harmonisant l'estimateur statistique avec celui de l'ISO 16610-31;
- inclusion d'un critère de terminaison des itérations pour le filtre robuste, et donc non linéaire;
- ajout de spécifications du paramètre de tension.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 16610 est disponible sur le site Internet de l'ISO.

Il convient que tout retour d'information ou question sur le présent document soit adressé à l'organisme national de normalisation de l'utilisateur. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/membres.html.

Introduction

Le présent document développe la terminologie et les concepts des filtres splines. Les filtres splines ont l'avantage d'être implémentables pour des positions d'échantillonnage non uniformes et pour des profils fermés. Un exemple d'application de filtres splines est donné dans l'[Annexe A](#).

Les filtres robustes sont tolérants aux valeurs aberrantes. Les filtres splines offrent une méthode pour la suppression de forme.

Pour des informations plus détaillées sur la relation du présent document avec la matrice de filtrage et les normes ISO GPS, voir [Annexe B](#) et [Annexe C](#).

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO/TR 16610-32:2023](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/266b0d1a-f431-4d80-b14a-d43264f105dc/iso-tr-16610-32-2023>

Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

Partie 32:

Filtres de profil robustes: Filtres splines

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des informations sur une version généralisée du filtre spline linéaire pour un échantillonnage uniforme et non uniforme et des filtres splines robustes pour des profils de surface. Il complète les ISO 16610-22, ISO 16610-30 et ISO 16610-31.

Le présent document fournit des informations sur la manière d'appliquer l'estimation robuste au filtre spline tel que spécifié dans l'ISO 16610-22, ainsi que sa forme généralisée pour un échantillonnage non uniforme. La fonction de pondération choisie pour l'estimateur M est la fonction d'influence à double pondération de Tukey telle que spécifiée dans l'ISO 16610-31.

2 Références normatives

Il n'y a pas de référence normative dans le présent document.

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1

filtre robuste

filtre qui est insensible à des phénomènes spécifiques s'appliquant aux données d'entrée

Note 1 à l'article: Un filtre robuste est un filtre qui délivre des données de sortie avec robustesse.

Note 2 à l'article: Les filtres robustes sont des filtres non linéaires.

[SOURCE: ISO 16610-31:2016, 3.1, modifié — Définition révisée et notes à l'article ajoutées.]

3.2

spline

combinaison linéaire de polynômes adaptés raccordés entre eux de manière lisse

[SOURCE: ISO 16610-22:2015, 3.1, modifié — Note 1 à l'article supprimée.]

3.3

filtre spline

filtre linéaire basé sur des *splines* (3.2)

Note 1 à l'article: Un exemple d'application de filtre spline est donné dans l'[Annexe A](#).

3.4

filtre spline robuste

filtre robuste (3.1) basé sur des *splines* (3.2)

3.5

échantillonnage uniforme

échantillonnage de points de données en des positions équidistantes, c'est-à-dire avec la largeur d'intervalles d'espacement entre des points de palpation voisins constante

3.6

échantillonnage non uniforme

échantillonnage de points de données avec des points d'espacement non équidistants

3.7

estimateur statistique robuste

règle qui indique comment calculer une estimation sur la base de données d'échantillon d'une population qui est insensible à des phénomènes spécifiques s'appliquant aux données d'entrée

Note 1 à l'article: Un exemple de phénomène spécifique est l'écart significatif de la distribution des données d'entrée (distribution d'amplitude dans le cas de profils de surface) par rapport à une distribution gaussienne principalement sous la forme de queues longues.

3.8

estimateur M

estimateur statistique robuste (3.7) qui utilise une fonction d'influence, c'est-à-dire une fonction qui est asymétrique et invariante d'échelle, pour pondérer des points selon leur distance signée par rapport à la ligne de référence

[SOURCE: ISO 16610-30:2015, 3.5, modifié — Définition révisée.]

3.9

fonction d'influence à double pondération de Tukey

fonction d'influence qui supprime les phénomènes spécifiques dans les données d'entrée x et est définie par:

$$\psi(x) = \begin{cases} x \left(1 - \left(\frac{x}{c} \right)^2 \right)^2 & \text{pour } |x| \leq c \\ 0 & \text{pour } |x| > c \end{cases}$$

où c est un paramètre d'échelle

4 Filtre spline pour un échantillonnage uniforme et non uniforme

4.1 Généralités

L'équation de filtre passe-bas suivante pour des filtres de profil par spline est basée sur des splines cubiques ayant un paramètre de régularisation dépendant de l'indice d'imbrication, qui est conforme avec la longueur d'onde de coupure dans le cas de filtres linéaires, pour le lissage du profil d'ondulation résultant (signal passe-bas) et un paramètre de tension influençant la pente de la fonction de transfert.

4.2 Équation de filtre pour un filtre spline cubique

4.2.1 Généralités

L'équation de filtre est donnée dans la [Formule \(1\)](#):

$$\mathbf{w} = \left(\mathbf{V} + \beta \alpha^2 \mathbf{P} + (1 - \beta) \alpha^4 \mathbf{Q} \right)^{-1} \mathbf{V} \mathbf{z} \quad (1)$$

où

- \mathbf{z} est le vecteur de colonne de dimension n des données d'entrée, par exemple le profil primaire de n points d'échantillonnage;
- \mathbf{w} est le vecteur de colonne des données de sortie, par exemple le profil d'ondulation ou le profil lissé;
- \mathbf{V} est la matrice unitaire dans le cas du filtre linéaire et la matrice de pondération dans le cas du filtre robuste;
- \mathbf{P} et \mathbf{Q} sont les matrices pour la différenciation discrétisée;
- β est le paramètre de tension (voir également [4.2.3](#));
- α est le paramètre (voir [4.2.2](#)) en fonction du lissage, de l'indice d'imbrication (longueur d'onde de coupure dans le cas de filtres linéaires) de la spline.

La [Formule \(1\)](#) est obtenue par minimisation de la fonction objectif (coût) J telle qu'indiquée dans la [Formule \(2\)](#):

$$\min_{\mathbf{w}} J \quad (2)$$

avec la fonction objectif définie dans la [Formule \(3\)](#):

$$J = (\mathbf{z} - \mathbf{w})^T \mathbf{V} (\mathbf{z} - \mathbf{w}) + \beta \alpha^2 \mathbf{w}^T \mathbf{P} \mathbf{w} + (1 - \beta) \alpha^4 \mathbf{w}^T \mathbf{Q} \mathbf{w} \quad (3)$$

où $\mathbf{Q} = \mathbf{P}^T \mathbf{P}$.

Une condition suffisante d'un minimum est $\nabla_{\mathbf{w}} J = 0$, qui conduit à l'équation de filtre de la [Formule \(1\)](#).

NOTE 1 Après extension des matrices de la [Formule \(1\)](#) aux tenseurs, le filtre s'applique également aux données surfaciques^[11].

NOTE 2 Habituellement, la fonction objectif de splines de lissage est définie avec un paramètre de régularisation μ également ajusté pendant le processus d'optimisation avec une condition supplémentaire pour le lissage mesuré selon les écarts $z_i - s(x_i)$. Les fonctions objectif du type le plus courant de splines de lissage

n'incluent pas de tension non nulle $J = \sum_{i=1}^n (z_i - s(x_i))^2 + \mu \int_{x_1}^{x_n} \left(\frac{\partial}{\partial x} s(x) \right)^2 dx$, $s(x)$ étant les polynômes de

spline et le paramètre de régularisation μ déterminant le degré de lissage et par conséquent suivant les points de données plutôt que les approchant.

4.2.2 Paramètre de régularisation

Le paramètre μ spécifie la régularisation, c'est-à-dire le degré de lissage. Dans le cas d'une tension minimale, il s'écrit $\mu = \alpha^4$ et est par conséquent lié à l'indice d'imbrication n_i , qui est dans le cas d'un filtrage linéaire égal à la longueur d'onde de coupure λ_c telle que donnée dans la [Formule \(4\)](#):

$$\alpha = \frac{1}{2 \sin\left(\frac{\pi \Delta}{n_i}\right)} \quad (4)$$

où Δ est l'intervalle d'échantillonnage pour des données uniformément échantillonnées et l'intervalle d'échantillonnage moyen tel que donné dans la [Formule \(5\)](#):

$$\Delta = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) \quad (5)$$

pour des données non uniformément échantillonnées aux positions x_i avec $i = 1, \dots, n-1$.

NOTE 1 La [Formule \(4\)](#) est dérivée de la Référence [12].

NOTE 2 Pour des intervalles d'échantillonnage $\Delta \ll n_i$, le paramètre de régularisation tend vers l'infini $\alpha^4 \rightarrow \infty$.

NOTE 3 Pour une tension non minimale, le facteur μ du terme dérivé de second ordre dépend également du paramètre de tension β : $\mu = (1 - \beta)\alpha^4$.

4.2.3 Paramètre de tension

Le produit $\beta\alpha^2$ est le facteur de tension ayant un paramètre β compris entre 0 et 1. Le paramètre β contrôle le degré de courbures topographiques ultérieures, où courbure désigne une propriété locale d'une courbe ou d'une surface, qui est définie à chaque point quantifiant des écarts de second ordre d'une courbe par rapport à une ligne droite ou à une surface par rapport à un plan.

Des courbures se suivant étroitement indiquent une conservation de forme optimale du résultat passe-bas, les données de sortie w .

Pour $\beta = 0$, les caractéristiques de la fonction de transfert sont conformes à la Formule (1) de l'ISO 16610-22, une tension minimale qui est équivalente à la pente la plus forte de la fonction de transfert et par conséquent une meilleure conservation de forme que pour $\beta > 0$.

Pour $\beta = 0,625\ 242$, les caractéristiques de la fonction de transfert sont similaires à celles du filtre gaussien^[14] tel que spécifié dans l'ISO 16610-21 et l'ISO 16610-61.

NOTE La conservation de forme par le filtre spline pour $\beta = 0$ est globale, tandis que la conservation de forme par la régression gaussienne avec une régression parabolique ($p = 2$) est locale.

4.2.4 Matrice V pour un filtre spline cubique linéaire

La matrice V pour des filtres linéaires est la matrice unitaire de dimensions $n \times n$ telle que donnée dans la [Formule \(6\)](#):

$$V = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$