

THESE

Pour le

TITRE DE DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

Spécialité : Electronique

Par

M. Yahia LAKSARI

Sur le thème

**Analyse en ondelettes de la réponse impulsionnelle
d'objets fractals pour la résolution de problèmes inverses**

Soutenance le : 09 Juillet 2003 à Toulouse devant le jury composé de :

M. Jean CHANDEZON	Professeur	Université Blaise Pascale Clermont-Ferrand II	Rapporteur
M. M'hamed DRISSI	Professeur	IETR Rennes	Rapporteur
M. Hervé AUBERT	Professeur	ENSEEIH Toulouse	Directeur de thèse
M. Henri BAUDRAND	Professeur	ENSEEIH Toulouse	Examinateur
M. Dwight.L JAGGARD	Professeur	Université de Pennsylvanie, USA	Examinateur
Mlle. Christine LETROU	Maître de conférences	INT Evry Paris	Examinatrice
M. Jean-Yves TOURNERET	Professeur	ENSEEIH Toulouse	Examinateur

Résumé

Notre travail s'inscrit dans le cadre de l'exploration à distance des propriétés d'échelles des objets fractals interrogés par une impulsion électromagnétique ou optique.

Dans un premier temps nous calculons le champ électromagnétique réfléchi par un objet fractal (résolution du problème direct). Nous utilisons une méthode récursive calquée sur le processus itératif à l'origine de l'élaboration du fractal étudié.

Dans un deuxième temps nous procédons à la résolution du problème inverse à partir de l'analyse en ondelettes de la réponse impulsionnelle des structures fractales multi-couches (ou "treillis") à une et à deux dimensions. La méthode est basée sur l'identification dans le domaine temps-échelle d'un squelette hiérarchique. Ce dernier est utilisé dans le calcul d'une fonction de partition qui nous permet d'explorer à distance les propriétés d'échelles de l'objet fractal interrogé par l'impulsion.

Mots Clés :

.....

Fractals

Electromagnétisme

Ondelettes

Problème inverse

Multi-échelles

Abstract

This research work is placed in the framework of the time-domain analysis of waves reflected by fractal objects and the remote description of their fractal characteristics.

We calculate the impulse response of a fractal object. The reflection coefficient is computed on the basis of an efficient recursive computational technique which takes advantage of the iterative process governing the construction rule of the fractal object. This approach is called the *self-similarity method of computation*.

Due to multiple reflections this impulse response exhibits typically a wildly irregular structure. The continuous wavelet transform (CWT) is then applied to this signal in order to explore the temporal distribution of singularities.

We focus on the wavelet analysis of the impulse response of one and two dimensional fractal object. In the time scale-domain the skeleton of the wavelet-transform modulus-maxima is computed. When a hierarchical structure emerges at large scales, we show that such structure provides enough information on the scaling properties of interrogated fractal object to characterize the original set. Moreover the hierarchical structure allows to make apparent the iterative process underlying the construction rule of the fractal.

An efficient wavelet-based partition function is introduced to estimate the similarity dimension of fractal object from reflection data. This function is computed from the wavelet-transform modulus-maxima of the impulse response that are located on a hierarchical structure in time-scale domain.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Fractales et Ondelettes

I	Introduction.....	3
II	Les objets fractals.....	4
1	Définition.....	4
2	Les propriétés des fractals.....	4
3	Dimension fractale d'un ensemble.....	4
3.1	Dimension de Hausdorff.....	5
3.2	Calcul de la dimension euclidienne.....	5
3.3	Calcul de la dimension fractale.....	7
4	Illustration.....	7
4.1	Le triadique de Cantor	7
4.2	La courbe de Von Koch.....	8
4.3	Le Triangle de Sierpinski (appelé aussi tamis de Sierpinski).....	10
4.4	L'éponge de Menger.....	11
III	La Transformée en Ondelettes.....	12
1	Introduction.....	12
1.1	Rappel sur l'analyse de Fourier.....	12
1.2	Définition de la transformée en ondelettes.....	12
2	Propriétés.....	14
3	L'analyse des singularités.....	16
3.1	L'exposant de Holder.....	16
3.2	Exemples.....	17
4	La méthode des maxima du module de la transformée en ondelettes (MMOT) et la fonction de partition.....	21
5	Application de la méthode MMTO sur des signaux auto- similaires.....	22
5.1	Le triadique de Cantor.....	22

5.2 Le polyadique de Cantor.....	29
5.3 L'escalier du diable.....	32
IV Conclusion.....	37

Chapitre II :

Analyse en ondelettes de la réponse impulsionnelle des objets fractals à une dimension

I Introduction.....	39
II Réponse impulsionnelle des structures multi-couches de Cantor.....	40
1 Définition d'une structure multicouche de Cantor.....	40
2 La réponse impulsionnelle.....	41
3 Calcul du coefficient de réflexion.....	42
III L'analyse en ondelettes.....	50
1 Problème inverse.....	50
2 Extraction à distance de la règle de construction de la structure interrogée.....	51
3 Extraction à distance de la dimension de similarité de la structure interrogée.....	54
4 Extraction à distance de la lacunarité de la structure interrogée.....	59
5 Le rôle du rayon de l'impulsion incidente dans l'estimation de l'étape de croissance.....	63
IV Application de la fonction de partition dans l'analyse à distance des structures multi-couches de Cantor.....	65
V Analyse en ondelettes de la réponse impulsionnelle bruitée de structures multi-couches Fractales.....	73
1 Réponse impulsionnelle bruitée.....	73
2 Analyse en ondelettes.....	74
2.1 Choix de l'ondelette mère.....	75
VI Analyse en ondelettes de la réponse impulsionnelle de structures multi-couches fractales en cascade.....	82
VII Conclusion.....	86

Chapitre III :**Analyse en ondelettes de la réponse impulsionnelle des objets fractals à deux dimensions**

I	Introduction.....	86
II	La diffraction d'une onde plane par un cylindre simple.....	86
1	Le cas d'un cylindre métallique.....	87
2	Le cas d'un cylindre diélectrique.....	92
III	La diffraction d'une onde plane par un cylindre multi-couches.....	95
1	Calcul du coefficient de réflexion.....	95
1.1	Cas d'un cylindre simple.....	95
1.2	Cas d'un cylindre avec deux couches de diélectriques.....	99
1.3	Cas d'un cylindre avec plusieurs couches de diélectriques.....	100
2	La réponse impulsionnelle.....	101
3	L'analyse en Ondelettes.....	105
IV	Etude d'un guide circulaire multi-couches diélectrique.....	108
1	Introduction.....	108
2	Calcul des modes.....	108
2.1	Etape de croissance $S = 0$	108
2.2	Etape de croissance $S = 1$	113
2.3	Etape de croissance $S > 1$	117
2.4	Résultats.....	118
V	Conclusion.....	121
	Conclusion générale.....	122