

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 23



多分量Chirp信号的时频表示 与参数估计的研究及其应用

- 作者：于凤芹
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：曹家麟



上海大学出版社
2005年上海大学博士学



多分量Chirp信号的时频表示 与参数估计的研究及其应用

- 作者：于凤芹
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：曹家麟



多分量 Chirp 信号的时频表示 与参数估计的研究及其应用

作 者：于凤芹
专 业：控制理论与控制工程
导 师：曹家麟

上海大学出版社

· 上海 ·

Shanghai University Doctoral
Dissertation (2005)

Research on Time-Frequency Analysis and Parameters Estimation for Multi-Component Chirp Signal and Its Applicatrions

Candidate: Yu Fengqin

Major: Control Theory and Control Engineering

Supervisor: Prof. Cao Jialin

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求.

答辩委员会名单:

主任:	宋文涛	教授,上海交通大学	200030
委员:	顾幸生	教授,华东理工大学	200273
	张浩	教授,上海电力学院	200090
	张兆扬	教授,上海大学通信工程系	200072
	杨慧中	教授,江南大学信控学院	214122
导师:	曹家麟	教授,上海大学	200072

评阅人名单:

王 祁	教授, 哈尔滨工业大学自动测试与控制系	150001
张兆杨	教授, 上海大学通信工程系	200072
张艳宁	教授, 西北工业大学计算机学院	710072

评议人名单:

马义德	教授, 兰州大学	730000
顾幸生	教授, 华东理工大学	200273
王万良	教授, 浙江工业大学	310014
燕庆明	教授, 江南大学	214036

答辩委员会对论文的评语

对多分量 Chirp 信号的检测、参数估计和时频分析及应用的研究不仅具有理论意义,而且具有潜在的应用价值.该论文的研究成果在以下几点上有所创新:

(1) 提出了基于时频重排-Hough 变换和抽取图像脊-Hough 变换,对多分量 Chirp 信号的检测与参数估计的改进方法,解决了交叉项抑制和时频聚集性下降的矛盾,有效地提高了检测准确性和参数估计的精度;

(2) 提出了基于分数阶傅立叶变换的旋转-径向移位算子,并通过将该算子作用于比例后的高斯基函数,首次提出了用比例、旋转、径向移位表示的三参数 Chirp 原子,使 Chirp 原子的参数由五个降为三个;

(3) 提出了基于预估计的匹配追逐算法(PEMP)以搜索最佳三参数 Chirp 原子,并将 PEMP 方法应用于合成信号、实际的声音信号和地震数据.研究表明,该方法能从整体上把握信号中固有的时频结构,避免原始 MP 算法因局部优化对信号的过分解,能提供信号的紧凑表示和 Chirp 原子的参数,得到的时频分布不含交叉项干扰,有较高的时频聚集性和可分辨性.

论文反映出作者已较全面地掌握了与本课题相关的国内外发展动态,且具有扎实的基础理论及系统深入的专门知识,显示了该生已具有很强的独立科研能力.论文结构清晰,层次分明,理论联系实际,论证严密.在答辩过程中,对论文内容的表述简练流畅,思路清晰,对提出的问题,能予以正确地回答.

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决,全票同意通过于凤芹同学的博士学位论文答辩,建议授予工学博士学位.

答辩委员会主席: **宋文涛**

2005 年 1 月 18 日

摘 要

Chirp 信号是一种典型的非平稳信号,广泛地应用于通信、雷达、声纳、生物医学和地震勘探等系统,许多自然现象也可以用 Chirp 信号作为信号模型.论文以多分量 Chirp 信号为研究对象,采用时频重排-Hough 变换、分数阶傅立叶变换、三参数 Chirp 原子分解等方法,对多分量 Chirp 信号的时频表示、检测与参数估计及应用进行了较为深入的研究.

从时频聚集性、交叉项抑制、分量间的可分辨性等方面,分析了模糊函数、WVD 及 Cohen 类双线性时频分布对多分量 Chirp 信号的时频表示性能.尽管模糊函数和 WVD 对单分量 Chirp 信号有最佳的时频表示,但它们对多分量 Chirp 信号的时频表示却存在交叉项干扰.Cohen 类时频分布使用核函数平滑来减少交叉项,但平滑也使时频聚集性下降,交叉项的存在和较低的时频聚集性又导致分量间的可分辨性变差,所以,对于多分量 Chirp 信号,现有的双线性时频分布不是最好的时频分析工具.

由于多分量 Chirp 信号在时频平面淹没在交叉项和噪声中,直接从其时频分布很难辨别信号的存在.为此提出了将该信号的双线性时频分布作为图像,由于 Chirp 信号在时频平面呈直线,利用 Hough 变换检测图像中直线的原理,将噪声中多分量 Chirp 信号的检测与参数估计转换为在参数空间寻找局部极大值及其相应坐标的问题,使检测和参数估计一并完成.针

对 WVD 中的交叉项经 Hough 变换后可能会形成伪尖峰;抑制此伪尖峰而平滑交叉项又造成时频聚集性下降这一矛盾,提出了基于时频重排-Hough 变换和抽取图像脊-Hough 变换的两种改进方法,从而既解决了交叉项抑制与时频聚集性下降的矛盾,又缩短了 Hough 变换的时间,提高了检测和参数估计的准确性,也改善了抗噪声性能,并将时频重排-Hough 变换方法应用于对噪声中多运动目标雷达回波信号的检测,仿真实验结果证明了该方法的有效性.

深入系统地研究了分数阶傅立叶变换(FRFT: Fractional Fourier Transform)的基本理论,包括傅立叶变换算子的分数阶化过程、FRFT 的定义与性质、典型信号的 FRFT、分数阶傅立叶域的概念和运算、FRFT 与其他的时频表示的关系,以及离散 FRFT 的计算等.我们的目的是从多个角度揭示和分析多分量 Chirp 信号在适当的分数阶傅立叶变换域呈现冲激信号特征的机理.利用这个特征,提出了对直接序列扩频通信系统中多个 Chirp 宽带干扰的识别和剔除方法,仿真实验结果说明了这种方法的可行性.

研究了 Chirplet 变换的定义和物理意义,它适合于对多分量 Chirp 信号的线性时频表示,但其高维参数空间的定义无法使它实际应用.在介绍了匹配追逐算法原理和分析了寻找最佳时频原子计算复杂性的基础上,提出了具有三参数 Chirp 原子的预估计的匹配追逐(PEMP: Prior Estimate Matching Pursuit)方法,对多分量 Chirp 信号进行时频表示与参数估计.首先,提出了基于分数阶傅立叶变换的旋转-径向移位算子,证明了该算子对 WVD 的旋转协变性和径向移不变性;其次,通过

将该算子作用于比例后的高斯基函数,得到用比例、旋转、径向移位三个参数表示的 Chirp 原子,使 Chirp 原子由五个参数降为三个参数表示;然后提出了预估计的匹配追逐算法以搜索最佳三参数 Chirp 原子;最后将 PEMP 方法应用于合成信号、实际的声音信号和地震数据. 研究表明,基于 PEMP 的三参数 Chirp 原子分解方法能从整体上把握多分量 Chirp 信号中固有的时频结构,避免原始 MP 算法因局部优化的贪婪性对信号的过于分解,可以得到信号的紧凑表示,并能提供每个 Chirp 分量的参数. 基于 PEMP 的三参数 Chirp 原子分解的时频分布是恒正的,不含交叉项干扰,没有窗效应,且有较高的时频聚集性和可分辨性.

关键词 多分量 Chirp 信号, 时频表示, 检测与参数估计, Chirp 原子分解, 分数阶傅立叶变换, 预估计的匹配追逐算法

Abstract

Chirp signal is a typical non-stationary signal, which widely appears in systems such as communication, radar, sonar, biomedicine and earthquake exploring system and also be used as signal model for a lot of natural phenomena. The detection, the parameters estimation and the time-frequency representation for the multi-component Chirps were researched in this dissertation, using the reassignment time-frequency distribution-Hough transform (RTFD-HT), fractional Fourier transform (FRFT), and tree-parameter Chirp atom decomposition methods.

The time-frequency distribution performance of ambiguity function, WVD, and Cohen class time-frequency distributions for the multi-component Chirps were described from the time-frequency concentration, the cross terms reduction, and the discriminability. Though WVD and ambiguity function is a better time-frequency representation for mono-component Chirp, the interferences of cross terms of the bilinear time-frequency distributions occurred for the multi-component Chirps. Using kernel function smooth can restrain the cross terms, but it results in a deterioration of the time-frequency concentration and the discriminability. Therefore, the Cohen class bilinear time-frequency

distributions are not the best as a time-frequency analysis tool for the multi-component Chirps.

Because the presence of the multi-component Chirps is barely identified directly from time-frequency distribution due to the existence of the cross terms and noise, the method of the detection and the parameters estimation for the multi-component Chirps was proposed, based on time-frequency distribution-Hough transform, which regards the bilinear time-frequency distribution of the signal as an image, applies the principle of the detecting line of Hough transform and finds the local maximal and relevant coordinate in order to detect the line and estimate its parameter. Confronting with the contradiction between restraining the cross terms and increasing the time-frequency concentration, we brought forward the improved methods of the reassignment time-frequency-HT and the image ridges extraction-HT. The simulation results have shown that the proposed method can not only eliminate false detection resulted from pretense peak value of the cross-term and shorten the time of Hough transform, but also increase the accuracy of the detection and parameters estimation and reduce noisy interference. Also the proposed method has been applied to detect a multi-target radar signal in noise and has, through simulation experiments, been proved to be effective.

The theory of fractional Fourier transform was also researched systematically, including the fractionalized process of Fourier transform operators, the definition and the

properties of FRFT, the FRFT of the typical signals, the conception and the operation of fractional Fourier domain, the reasons for diversity of FRFT and the calculation of discrete FRFT. Our motivation is to discover and explain a mechanism in which an impulse characteristic of the multi-component Chirps presents in a proper FRFT domain. With this characteristic, the identification and excision for multi-Chirps jamming in direct sequence spread spectrum (DSSS) communications was proposed and the simulation results have shown that this method can availably identify and remove the multi-Chirps jamming in DSSS.

After introducing the definition and physical meaning of Chirplet transform, which is adapted to time-frequency representation for multi-component Chirps, but it is impracticable because of its high-dimension structure, and analyzing the calculation complexity of the matching pursuit algorithm, the time-frequency representation and the parameters estimation for the multi-component Chirps with three-parameter Chirp atom decomposition was also proposed. Firstly, a rotated-radial shift operator based on FRFT was put forward, which is a generalized form of the time shift, the frequency shift and the fractional shift operator. Secondly, after proving the covariant and invariant of WVD of this operator, three-parameter Chirp atom with the scale, the rotation and the radial shift were derived by applying the operator to scaled gauss function. And then, a prior estimate matching pursuit (PEMP) was presented to

search the best three-parameter Chirp atoms. Finally, the PEMP was applied in the synthesized signal, the voice signal and the seism data. The simulation experiment results shown that the methods can capture the inherent time-frequency structure of the signal of multi-component Chirp and avoid over-decomposition owing to the greediness caused by the local optimization in original MP and provide the parameters of each component. The time-frequency distribution based on the three-parameter Chirp atom decomposition is always positive, cross terms free, no window effect and of higher time-frequency concentration and the discriminability.

Key words multi-component Chirp signal, time-frequency representation, detection and parameters estimation, Chirp atoms decomposition, fractional Fourier transform, prior estimate matching pursuit

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究对象	1
1.2 现有的研究方法综述	3
1.3 研究内容与研究意义	8
1.4 论文的构成和主要创新点	10
第二章 多分量 Chirp 信号的 Cohen 类时频分布的性能	13
2.1 多分量 Chirp 信号的模糊函数表示	13
2.2 多分量 Chirp 信号的 WVD 表示	19
2.3 多分量 Chirp 信号的 Cohen 类时频分布性能	26
2.4 本章小结	45
第三章 基于时频重排- Hough 变换的检测与参数估计	46
3.1 RWT 检测多分量 Chirp 信号原理与存在的问题	46
3.2 QTFD- Hough 变换的检测与参数估计原理	53
3.3 基于时频重排- Hough 变换的改进方法	61
3.4 与 Chirp-傅立叶变换的方法比较	68
3.5 多运动目标雷达回波信号的检测	74
3.6 本章小结	77
第四章 基于分数阶傅立叶变换的检测方法	79
4.1 分数阶傅立叶变换的定义与物理意义	80
4.2 分数阶傅立叶变换的性质	89
4.3 典型信号的分数阶傅立叶变换	90

4.4	分数阶傅立叶域及其几种算子	93
4.5	FRFT 定义多样性的原因与离散计算	96
4.6	基于分数阶傅立叶变换的多分量 Chirp 信号的检测	99
4.7	直接序列扩频通信中多个宽带 Chirp 干扰的识别	105
4.8	本章小结	115
第五章 基于三参数 Chirp 原子分解的时频表示与参数估计		116
5.1	仿射时频变换算子及其对 WVD 的影响	117
5.2	Chirplet 变换的定义与物理意义	121
5.3	匹配追逐算法原理	125
5.4	旋转-径向移位复合算子	129
5.5	比例、旋转、径向移位表示的三参数 Chirp 原子	132
5.6	预估计的匹配追逐(PEMP)算法原理	139
5.7	三参数 Chirp 原子分解的时频分布与参数估计	141
5.8	仿真实验与结果分析	144
5.9	对声音信号和地震数据的分解	148
5.10	本章小结	152
第六章 总结与展望		154
6.1	本文的主要贡献	154
6.2	进一步研究的问题	156
参考文献		158
附录 A1: 分数阶傅立叶变换核的连续可加性质推导		172
附录 A2: 信号的 WVD 与其 FRFT 的 WVD 的旋转关系证明		175
附录 B: 文中所用符号和缩写说明		179
致 谢		182