

Electronic Image Stabilization Technology

电子稳像 技术

方明 任正玮 徐晶 陈纯毅 ◎ 著

随着视频摄像系统在各领域中的广泛应用，人们对视频图像的稳定性要求也在不断提高。视频图像的不稳定主要由摄像机载体的抖动导致，因此需要采取措施抑制这种抖动。电子稳像是新一代稳像方法，它利用数字信号处理等技术实现实时、高精度的动态图像稳定。



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子稳像技术

方 明 任正玮 徐 晶 陈纯毅 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子稳像技术/方明等著. —北京: 电子工业出版社, 2018.8
ISBN 978-7-121-34950-8

I. ①电… II. ①方… III. ①无线电电子学 IV. ①TN014

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第199062号

策划编辑: 刘小琳

责任编辑: 刘小琳 特约编辑: 白天明 李 丹

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 710×1 000 1/16 印张: 8.75 字数: 152 千字

版 次: 2018年8月第1版

印 次: 2018年8月第1次印刷

定 价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254538, liuxl@phei.com.cn。

■ 前 言

PREFACE

作者长期在电子稳像技术领域工作,本书是作者对这些年研究成果的总结,作者力求将电子稳像的产生、发展和应用过程完整地呈现给读者。

稳像的根本目的是保证在利用光学仪器拍摄目标时,尽管平台存在摇动或振动,但拍摄的图像质量不受损害,没有对人眼的观察或进一步的计算分析产生不良影响。从宏观上讲,稳像的过程分为两大类,即帧内稳像和帧间稳像。帧内稳像的应用大家都非常熟悉,典型的应用是在拍摄照片时,可确保照片不会因为手的抖动而模糊。帧内稳像已经在大多数消费级相机中集成应用,技术成熟,不是本书的关注重点。关于帧间稳像,大家可以试想一下,当使用肩扛摄像机拍摄某一场景时,仅通过图像的晃动程度即可轻易判断当时的情况是否紧急。帧间晃动和帧内晃动不同,帧间晃动是由于帧间出现特殊振动导致的,称为帧间稳像。帧间稳像是本书关注的重点,目前帧间稳像技术还不够成熟,很难在民用消费级相机中应用,关键技术仍然处于攻关阶段。

本书分为上、中、下三篇。上篇为电子稳像基本理论,从运动的产生开始,讨论稳像的目的、稳像技术的发展历程和应用领域,以及基本的稳像模型和构成。中篇讨论了基于 2D 模型的稳像方法,其中着重讨论全局运动估计及 2D 稳像模型。下篇讨论了基于 3D 模型的稳像方法,并提出了基于球面模型的稳像算法。3 个篇章,由浅入深,贯穿了整个电子稳像技术的发展历程。

本书在撰写过程中,得到研究生司书哲、田颖、郭莎莎、付飞鹏,以及机器视觉研究室多位同学的全力协助,他们认真整理了部分章节的研究成果,并做了全书的校对工作,感谢他们的努力及对本书所做的贡献。

本书注重内容的完备性、系统性和创新性,可作为高校计算机专业、

自动化专业师生研究相关内容的理论参考书，也可以作为该领域工程应用的参考用书。

尽管针对本书的撰写，我们投入了大量的人力和精力，但由于水平有限，书中一定存在各种不足，敬请谅解。

作 者

2018年5月于长春

■ 目 录

CONTEN

上篇 电子稳像基本理论

第 1 章 绪论	3
1.1 运动	4
1.2 抖动	5
第 2 章 电子稳像概述	7
2.1 电子稳像	8
2.1.1 帧内稳像	8
2.1.2 帧间稳像	9
2.2 发展历程	9
2.2.1 基于机械陀螺的稳像技术	9
2.2.2 基于光学的稳像技术	9
2.2.3 基于图像的稳像技术	10
2.2.4 基于位姿传感器的稳像技术	10
2.3 应用领域	10
2.3.1 民用领域应用	10
2.3.2 军事领域应用	11
第 3 章 电子稳像模型及构成	13
3.1 传统电子稳像模型	14
3.1.1 2D 稳像模型	14

3.1.2	2.5D 稳像模型	16
3.1.3	3D 稳像模型	16
3.2	稳像模型基本模块构成	16
3.2.1	全局运动估计	16
3.2.2	运动平滑	17
3.2.3	运动补偿	17
第 4 章	稳像效果评价	19
4.1	主观评价	20
4.2	客观评价	20
4.2.1	MSE 评价方法	20
4.2.2	PSNR 评价方法	21
4.2.3	ITF 评价方法	21
4.2.4	差分图评价方法	21
4.2.5	DITF 评价方法	22
4.2.6	标准差算法	22
4.2.7	随机性检验方法	23
4.3	讨论	23
 中篇 2D 模型稳像方法 		
第 5 章	全局运动估计	27
5.1	块匹配算法	28
5.2	灰度投影法	29
5.3	光流法	31
5.4	特征法	33
5.4.1	特征点匹配	33
5.4.2	运动估计	40
5.5	运动估计过程优化	41

5.6 基于多传感器融合的运动估计方法讨论	48
5.6.1 时间同步	48
5.6.2 基于四元数的标定方法	52
5.6.3 基于神经网络的复合运动估计方法	54
第6章 运动平滑及补偿	61
6.1 均值滤波	62
6.2 高斯低通滤波	63
6.2.1 高斯滤波简介	63
6.2.2 高斯滤波性质	64
6.3 卡尔曼滤波	65
6.4 变分模态分解方法	66
6.5 运动补偿方法	69

下篇 3D 模型稳像方法

第7章 基于3D重构的稳像方法	73
7.1 稳像模型	74
7.2 相机标定	74
7.3 运动估计	82
7.4 运动平滑	86
7.4.1 基于迭代扩展卡尔曼的运动平滑	86
7.4.2 最小二乘估计优化算法	89
7.5 运动补偿	89
第8章 基于球面模型的稳像方法	93
8.1 球面稳像模型	94
8.1.1 球面模型基本原理	94
8.1.2 球面投影方法	95
8.1.3 球面展开方法	98

8.2 球面运动估计	99
8.3 球面运动轨迹平滑	106
8.4 球面运动补偿	109
第9章 球面模型在全景相机上的扩展	111
9.1 全景相机标定	112
9.2 多相机图像拼接	119
9.3 主运动估计及补偿	120
9.4 全景稳像并行化策略	121
参考文献	125

电子稳像基本理论

第 1 章 绪论

第 2 章 电子稳像概述

第 3 章 电子稳像模型及构成

第 4 章 稳像效果评价

第1章

绪论

1.1 运动

1.2 抖动

1.1 运动

哲学里有句知名的话：运动是绝对的，静止是相对的。宇宙中的任何物体都不可能绝对静止，一定有运动存在。我们常说的一个物体是在运动状态还是在静止状态，通常都是相对于某一参照物而言的，这就是所谓运动的相对性。如图 1.1 所示，观察者和物体 A 都搭载在运动的车上，并以车的运动速度 v_{car} 与车同步运动；同时，物体 B 以运动速度 v_{obj}^B 运动。显然，在观察者看来，物体 A 是静止的；物体 B 有时运动，有时静止。那么，物体 B 什么时候在运动呢？显然是车的运动速度和物体 B 的运动速度不同时。物体 B 什么时候是静止的呢？显然是车的运动速度和物体 B 的运动速度完全相同时。

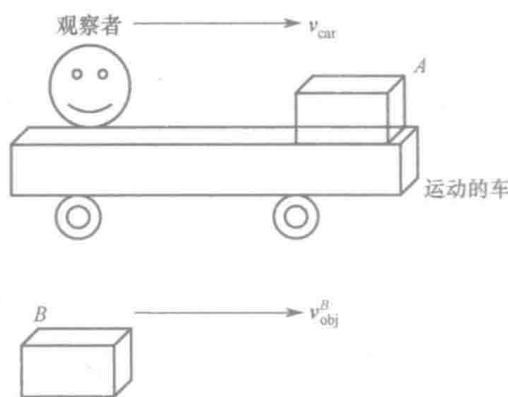


图 1.1 相对运动产生示意

如果将观察者想象成相机，那么不难理解，从相机的视角来看，外界的物体是在运动还是在静止，完全是相对于相机自身而言的，即相对速度的差异情况。当然也可以理解为单位时间内相机和目标物体所处的相对位置的变化情况。这种变化，从相机的成像上来看，就是捕捉到一种运动。显然，运动信息是通过相互之间有时间间隔的多帧图像来表达的。也就是说，在多帧图像中，目标

物体的位置在图像中发生像素位置的相对变化。正是通过这种变化,我们才能理解世界上的运动。当然,这种变化由于涉及相机模型和从3D空间到2D空间的投影问题,以及由此带来的开口问题,有时这会使通过从图像上观测到的运动,分析实际3D空间的真实运动变得非常困难。

1.2 抖动

广义上讲,抖动是指在某一特定时刻,信号在短暂时间间隔内与理想位置的偏离。偏离程度越大,抖动越严重;反之,抖动不明显。图像抖动可以定义为:由于拍摄载体的运动等情况导致的视频图像中的待观察目标在短期内和理想位置产生较高频率的偏离。尽管这种现象,在单位时间内观测,是一种运动,但不是我们期望的,称之为抖动。

显然,按照上述定义,在相机拍摄物体的时间段内将有两种运动发生,一种是相机为了追踪目标拍摄而主动给予的扫描运动,另一种是由于载体的振动等产生的相对的、高频的晃动。这两种运动没有明显的界线,可通过相机成像后无痕地叠加在一起。如图1.2所示,将这两种运动抽象成独立的信号进行分析。为方便描述,将图1.2(a)代表的相机扫描路径,抽象成一个时变信号;图1.2(b)是抖动信号;图1.2(c)是以上两种信号的合成。前两种信号是未知的、不可观测的,第3种信号可以通过分析图像的光流反演出相机的运动,是可观测的。但是,第3种信号是前两种未知信号的叠加结果。正是这种叠加给我们带来了极大的困扰。这相当于在信号源输入未知信号的情况下,一直努力分离这两种信号;或者说在保持一种信号的前提下,抑制另一种信号。

当然,如果从工程技术角度来看,可以不考虑信号的种类,直接通过卡尔曼滤波等算法对曲线进行平滑处理,进而达到抑制抖动的目的。但是,从科学角度来看,我们不得不考虑,这个现象实际上是多种信号的叠加,并且信号可能还不止两种。在这种条件下,我们是否可以仍然利用信号的盲源分解等算法

解决，将是我们要长期探讨的一个有趣而富有挑战的课题。

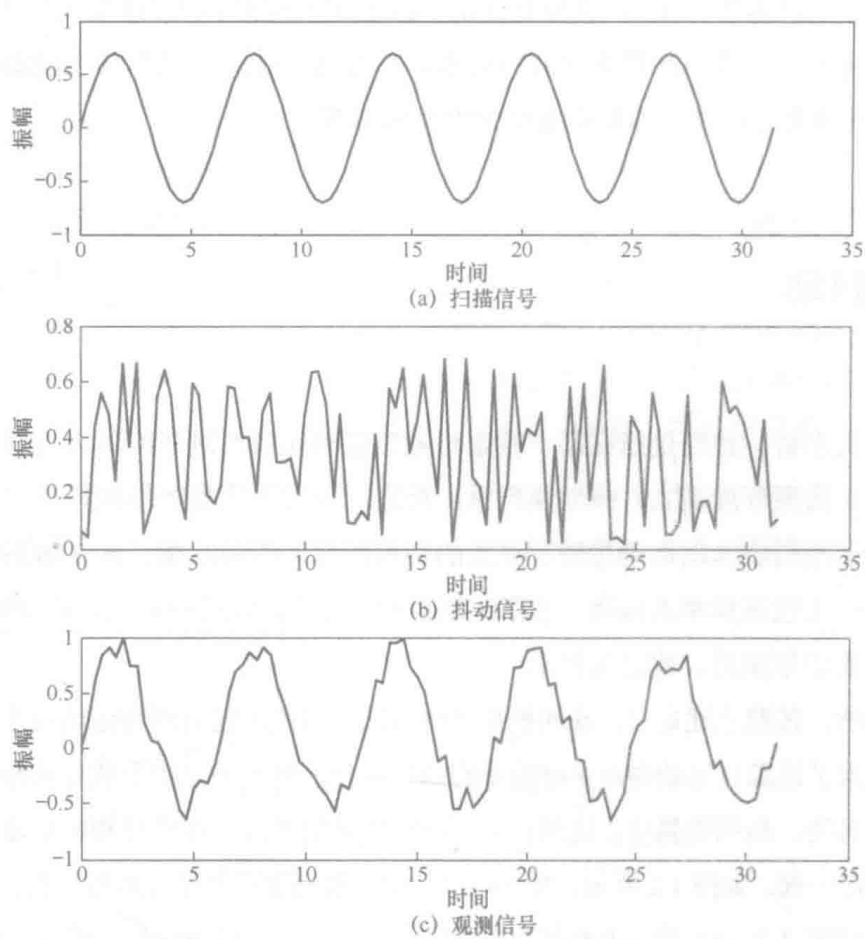


图 1.2 信号的叠加效应

电子稳像概述

2.1 电子稳像

2.2 发展历程

2.3 应用领域

2.1 电子稳像

2.1.1 帧内稳像

在介绍帧内稳像之前，我们首先了解一下帧内模糊。图 2.1 描述了摄像机在拍摄目标过程中，是如何产生帧内模糊现象的。为了便于说明，摄像机的成像平面用 CCD 表示，每个方格代表一个像素。在观察目标时，假定 t 时刻目标点 P 在 CCD 平面上的成像为 p' 。此时我们考虑目标点 P 与 CCD 平面之间的相对运动和 CCD 曝光时间之间的关系。如果在 CCD 曝光时间内，二者之间没有发生相对运动，或发生的相对运动较小，如由 P 点移动到较近的 P_1 点， P 点和 P_1 点在 CCD 上的成像 p' 和 p'_1 仍然在同一个像素格子内。观察发现，图像是清晰的。反之，当在 CCD 曝光时间内， P 点的运动速度较快，移动到了 P_2 点，此时 P 点和 P_2 点的成像 p' 和 p'_2 将分布在两个格子中，从图像上看，点的形状被拉长了，这就产生了成像模糊，称为帧内模糊。

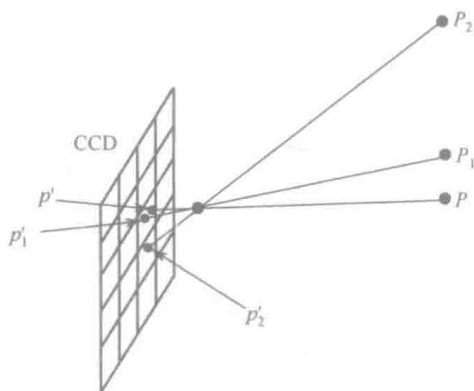


图 2.1 帧内模糊的产生过程

帧内模糊是最常见的成像不良现象，常表现在拍摄照片时图像局部或整体出现某一个方向的模糊。当场景内有高速运动的物体时，图像中运动物体的区域间