

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012
Vol.17 No.

4

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年4月 第17卷 第4期(总第192期)

目次

综述

图像分割中的模糊聚类方法 李旭超, 刘海宽, 王飞, 白春艳(447)

图像处理和编码

GPU 辅助的希尔伯特变换轮廓术 周波, 赵小敏, 王东平(459)

引入连续性强度和置信度因子的快速图像修复 李开宇, 孙玉刚(465)

自适应的有效非局部图像滤波 许光宇, 檀结庆, 钟金琴(471)

改进的 PMD 距离图像超分辨率重建算法 张旭东, 沈玉亮, 胡良梅, 陈菁菁(480)

压缩感知在 Micro-CT 图像超分辨重建中的应用 王丽艳, 韦志辉, 罗守华, 顾宁(487)

对偶四元数单片空间后方交会算法 姬亭, 盛庆红, 王惠南, 刘微微(494)

利用运动强度判据的高效自适应运动估计算法 郭晓珉, 姚睿, 刘智跃, 王友仁(504)

图像分析和识别

核空间散度阈值法 吴成茂(512)

近邻自适应局部尺度的谱聚类算法 孔万增, 孙昌思核, 张建海, 胡三清, 杨灿(523)

LUV 色彩空间中多层次化结构 Nyström 方法的自适应谱聚类算法 刘雅蓉, 汪西莉(530)

结合图像增强的心血管内超声中-外膜边缘检测 邱璇, 黄靖, 杨丰, 邢栋, 涂圣贤(537)

融合图像特征的一致点匹配方法及其应用 张久楼, 李春丽, 冯前进, 陈武凡, 阳维(546)

图像理解和计算机视觉

多蚁群动态协作优化的道路图像分割算法 林丽莉, 周文晖(553)

篮球比赛视频中持球队员行为预测	王千,夏利民,谭论正(560)
利用 Principal Warps 评估颅面几何相似度	朱新懿,耿国华,温超(568)

计算机图形学

图形处理器空间插值并行算法的实现	赵艳伟,程振林,董慧,方金云(575)
------------------------	---------------------

虚拟现实与增强现实

面向 GPU 的批 LOD 地形实时绘制	张兵强,张立民,张建廷(582)
----------------------------	------------------

遥感图像处理

光学遥感舰船目标识别方法	杜春,孙即祥,李智勇,滕书华(589)
自适应超完备字典学习的 SAR 图像降噪	杨萌,张弓(596)

第 18 届中国遥感大会征文通知	封 2
第 33 届亚洲遥感会议征文通知	封 2

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 4 期

2012 年 4 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
 中国图象图形学学会
 北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
 北京 9718 信箱 邮编 100101
 电子信箱:jig@irsa.ac.cn
 电话:010-68407995 010-82614429
 网 址:www.cjig.cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
 (中国国际书店)
 (北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
 CAS China Society of Image and Graphics
 Institute of Applied Physics and Computational
 Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
 of Journal of Image and Graphics
 (P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
 E-mail: jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
 and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
 (P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

第 18 届中国遥感大会征文通知

“第 18 届中国遥感大会”将于 2012 年 10 月 19 日-23 日在武汉召开。本届会议由中国遥感委员会主办,中国测绘学会摄影测量与遥感专业委员会和武汉大学承办。会议将围绕“遥感—全方位的社会服务”这一宗旨,以遥感学界院士与知名专家的特邀报告,分会场专题技术交流与技术讲座,重点项目研讨汇报、技术展览,新技术与新产品发布,专业委员会理事会等多种形式开展,同时举行“第 7 届中国青年遥感辩论会”和“第 2 届全国高分辨率遥感数据处理与应用研讨会”。

会议将全方位地展示遥感(RS)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)等方面的最新成果,为专家、学者和政府主管部门搭建联系纽带,为研发和用户提供技术交流平台,共同促进遥感科技的发展、遥感产业化的推进和大遥感体系的建立。

本届会议围绕大会主题将就遥感新理论、技术、方法和应用进行征文,范围包含但不限于以下方面:

- 1) 国家遥感中长期发展战略、国际遥感前沿与进展;
- 2) 航天、航空、低空、地面遥感技术及系统;
- 3) 光学、红外、高光谱及激光遥感技术;
- 4) 主、被动微波及雷达遥感技术;

- 5) 数字摄影测量与制图;
- 6) 高分辨率遥感数据处理与应用;
- 7) 地理空间数据处理技术与方法;
- 8) 地理国情监测(土地、农业、林业、矿产、环境、地质及水资源等);
- 9) 海洋、气象与全球变化;
- 10) 遥感、地理信息系统与导航定位系统(3S)集成与应用;
- 11) 智慧城市与数字地球;
- 12) 深空探测与行星测绘;
- 13) 教育、培训与社会公共事业。

征文采用在线方式投稿;

投稿要求:论文内容不涉密,且未在国内外学术刊物或正式学术会议上发表过;被录用的全文将收入大会论文集(送 ISTP 检索),并精选 70~90 篇口头报告论文编辑出版英文 SPIE 会议文集;大会将评选青年优秀论文(参加口头报告),论文将直接进入英文 SPIE 会议文集。

论文摘要截止日期为 2012 年 5 月 15 日,全文截稿日期为 2012 年 6 月 15 日。

会议相关信息,请查阅会议网址:<http://rsgis.whu.edu.cn/18ccrs/index.html>

“第 18 届中国遥感大会”组委会

第 33 届亚洲遥感会议征文通知

“第 33 届亚洲遥感会议”将由泰国地理信息和空间技术发展局(GISTDA)、科技部(MOST)和亚洲遥感协会(AARS)联合主办,于 2012 年 11 月 26-30 日,在泰国芭堤雅市宗滴恩酒店举行。这是亚洲遥感协会每年一届的系列学术会议。本届大会征文包括传感器与平台、算法和图像处理、GIS 与 Web GIS、全球导航卫星系统、灾害、自然资源、环境科学、教育和宣传、健康科学、制图、其他等方面。

会议重要日期:

- 论文摘要提交截止:2012 年 5 月 15 日;
 - 论文接收通知:2012 年 7 月 1 日;
 - 论文全文提交截止:2012 年 9 月 30 日;
 - 网上注册截止:2012 年 10 月 26 日;
 - 会议召开日期:2012 年 11 月 26-30 日。
- 会议还将组织学生专场和技术展览,其他信息请访问会议网站:<http://acrs2012.gistda.or.th>

与往年一样,中国遥感委员会仍将鼓励中国遥感科研人员和企事业单位参加会议,并组团参加学术交流和会议展览。

中国遥感委员会

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 4 April 2012

Contents

Review

The survey of fuzzy clustering method for image segmentation Li Xuchao, Liu Haikuan, Wang Fei, Bai Chunyan (447)

Image Processing and Coding

GPU assisted Hilbert transform profilometry Zhou Bo, Zhao Xiaomin, Wang Dongping (459)

Fast image inpainting algorithm introducing continuous strength and confidence factor Li Kaiyu, Sun Yugang (465)

Adaptive efficient non-local image filtering Xu Guangyu, Tan Jieqing, Zhong Jinqin (471)

Improved super-resolution reconstruction algorithm for PMD range image
..... Zhang Xudong, Shen Yuliang, Hu Liangmei, Chen Jingjing (480)

Image superreconstruction for Micro-CT based on compressed sensing Wang Liyan, Wei Zhihui, Luo Shouhua, Gu Ning (487)

Dual quaternion of space resection with single-image Ji Ting, Sheng Qinghong, Wang Huinan, Liu Weiwei (494)

Efficient adaptive motion estimation algorithm based on motion intensity Guo Xiaomin, Yao Rui, Liu Zhiyue, Wang Youren (504)

Image Analysis and Recognition

Divergence thresholding method in kernel space Wu Chengmao (512)

Spectral clustering based on neighboring adaptive local scale
..... Kong Wanzeng, Sun Changsihe, Zhang Jianhai, Hu Sanqing, Yang Can (523)

Adaptive spectral clustering algorithm based on Nyström method with multi-level structure in LUV color space
..... Liu Yarong, Wang Xili (530)

Image enhancement based media-adventitia border detection in intravascular ultrasound images
..... Qiu Xuan, Huang Jing, Yang Feng, Xing Dong, Tu Shengxian (537)

Coherent point drift registration combined with image feature and its application
..... Zhang Jiulou, Li Chunli, Feng Qianjin, Chen Wufan, Yang Wei (546)

Image Understanding and Computer Vision

Dynamic multi-colony ant cooperative optimization schemes for road image segmentation
..... Lin Lili, Zhou Wenhui (553)

Behavior prediction of ball carriers in basketball match videos Wang Qian, Xia Limin, Tan Lunzheng (560)

Estimate of craniofacial geometry shape similarity based on principal warps
..... Zhu Xinyi, Geng Guohua, Wen Chao (568)

Computer Graphics

Realization of GPU parallel spatial interpolation method
..... Zhao Yanwei, Cheng Zhenlin, Dong Hui, Fang Jinyun (575)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU-based real-time terrain rendering algorithm using batched LOD
..... Zhang Bingqiang, Zhang Limin, Zhang Jianting (582)

Remote Sensing Image Processing

Method for ship recognition using optical remote sensing data
..... Du Chun, Sun Jixiang, Li Zhiyong, Teng Shuhua (589)

SAR images de-speckling algorithm via an adaptive over-complete learning dictionary
..... Yang Meng, Zhang Gong (596)

中图法分类号: TP919.81 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)04-0504-08

论文引用格式: 郭晓珉, 姚睿, 刘智跃, 王友仁. 利用运动强度判据的高效自适应运动估计算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(4): 504-511

利用运动强度判据的高效自适应运动估计算法

郭晓珉¹, 姚睿¹, 刘智跃², 王友仁¹

1. 南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016; 2. 东华大学信息科学与技术学院, 上海 201620

摘要:为减少运动估计计算量,提高视频编码效率,提出了基于运动强度的自适应运动估计搜索算法。该算法通过定义运动强度概念来反映帧间图像运动的剧烈程度,依据当前帧的运动强度信息预测下一帧运动情况,并自适应选择算法进行运动搜索:当运动强度高于设定阈值时选用 UMHexagonS 算法,低于该阈值时选用改进的六边形算法。实验仿真结果表明,该算法能在保证图像质量和压缩效果的基础上,大幅提高编码效率,并可通过调节阈值大小满足不同编码要求。

关键词:运动估计;运动强度;自适应;视频编码

Efficient adaptive motion estimation algorithm based on motion intensity

Guo Xiaomin¹, Yao Rui¹, Liu Zhiyue², Wang Youren¹

1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China

Abstract: In order to reduce the complexity of motion estimation and improve the efficiency of the video encoder, an adaptive motion estimation search algorithm based on motion intensity is proposed. Motion intensity reflects the intensity of motion between adjacent frames. By defining the concept of motion intensity, the movement of the next frame is predicted based on the measured intensity information of the current frame, and a different motion search algorithm is selected adaptively. If the motion intensity of the current frame is greater than the threshold, the UMHexagonS search algorithm is chosen, otherwise the improved hexagon search algorithm is chosen. Simulation results show that the coding efficiency is improved significantly, while the image quality and compression performance change little. In addition, the threshold of motion intensity in the algorithm is adjustable, thus the demands of different encoding can be met by changing the threshold.

Key words: motion estimation; motion intensity; adaptive; video encoder

0 引言

由于采用了多参考帧预测、可变尺寸块运动估计等更加精确的运动估计方法^[1],在重建图像质量相同的情况下,H.264的编码效率比H.263和MPEG-4提高了50%。但其运算复杂度较高,难以

满足实时编码的要求。在H.264中,运动估计所耗时间占整个编码过程的60%~80%,因此运动估计算法的优化在整个编码优化过程中占据十分重要的地位。运动估计算法中搜索精度最高的是全搜索算法,但其计算量较大,效率较低,因此各国学者提出了许多快速算法以减少运动估计的计算量,如三步法(TSS)^[2]、四步法(FSS)^[3]、六边形搜索(HS)^[4]、

收稿日期:2011-06-15;修回日期:2011-10-24

基金项目:国家自然科学基金项目(60871009);南京航空航天大学基本科研业务费专项科研项目(NS2010082)

第一作者简介:郭晓珉(1986—),男,南京航空航天大学测试计量技术及仪器专业硕士研究生,主要研究方向是视频编码技术优化及其嵌入式的实现。E-mail: warmheart_gxm@sina.com

菱形搜索^[5]、改进三步搜索法(MTSS)^[6]等,一些快速算法通过预测运动矢量来预测当前块的运动特性也取得了较好的编码效果^[7-8]。

然而多数快速算法不同程度上容易陷入局部最优,对小运动视频序列的搜索效果比较好;对大运动视频序列,则因搜索过程中不能找到全局最优点,造成编码图像质量的下降和码率的大幅上升,编码效果并不是很理想。为了解决快速算法针对大运动视频序列搜索易于陷入局部最优问题,H.264参考模型JM采用了非对称十字型多层次六边形格点搜索^[9](UMHexagonS)。UMHexagonS算法使用了多种搜索模式混合的运动搜索方法,针对大运动视频序列表现出了良好的编码效果。但针对某些小运动视频序列,使用UMHexagonS搜索,会增加不必要的计算量,大大增加编码时间。

综上所述,现有运动估计算法大多是仅针对某类图像序列有较好的编码效果,不能针对图像的运动特点进行调整。因此,本文定义运动强度概念,用以表征帧间图像运动的剧烈程度,提出了基于运动强度的自适应运动估计搜索算法(MEMI)。该算法依据当前帧所测得的运动强度信息预测下一帧的运动情况;设定运动强度阈值,根据本帧运动情况自适应选择不同的算法进行运动估计——针对高于设定阈值的高运动强度图像选择UMHexagonS算法,以保证较高的图像质量和较低的码率;低于设定阈值的低运动强度图像选择改进的六边形算法进行运动搜索,以减少不必要的计算量。

该算法能在码率增加很小并保证图像质量的情况下,节省运动估计时间,提高编码效率;并可通过调节阈值,满足不同场合的不同编码要求。

1 运动强度的定义及可行性分析

观察视频序列会发现,在场景不发生突变的情况下,其运动是一个缓慢变化的过程,且各种视频序列的运动有强有弱,变化程度不尽相同。因此可通过识别帧间图像的运动程度,依据运动相关性用当前帧的运动情况预测下一帧的运动情况。

在MPEG-7标准中,使用运动活力(Motion Activity)来描述视频镜头移动的剧烈程度^[10]。然而,其运动活力是按镜头提取的,由于实际视频中视频镜头非常短,故运动活力无法很好地描述视频中每帧图像运动的剧烈程度。因此,本文定义运动强

度(Motion Intensity)的概念,描述每帧图像的运动程度,并借鉴运动活力的计算方法^[11]进行定量分析。

1.1 运动强度定义及计算方法

定义1 视频帧间运动强度:提取视频中每帧编码P帧的运动矢量进行计算,将用于描述每一帧相对于上一帧运动的剧烈程度的量化数值称为运动强度。运动强度的计算方法如下:

1)提取视频中每帧编码P帧中每个 4×4 块的运动矢量,定义其幅度矩阵 C_{mv} 。 C_{mv} 是 $I \times J$ 阶矩阵, I, J 分别代表一个P帧中 x 和 y 方向上的 4×4 块的数目。矩阵元素 $C_{mv}(i, j)$ 描述了P帧 (i, j) 块处的运动幅度,其计算方法如下:

$$C_{mv}(i, j) = \sqrt{x_i^2 + y_j^2}, 0 \leq i \leq I, 0 \leq j \leq J \quad (1)$$

式中, x_i 和 y_j 分别表示 (i, j) 块在 x 和 y 方向上的运动矢量。

2)计算每一P帧中 4×4 块的平均运动幅度。

$$C_{mv}^{avg} = \frac{1}{IJ} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{mv}(i, j) \quad (2)$$

3)计算该P帧运动幅度的标准差 MI 。

$$MI = \sqrt{\frac{1}{IJ} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (C_{mv}^{avg} - C_{mv}(i, j))^2} \quad (3)$$

将 MI 值进行量化即可得到每帧的运动强度信息。这里将 MI 值量化为3级,以较好地反应高、中、低3种运动强度的图像。通过对标准测试序列中典型视频片段的分析,运动强度量化值可分别取40和80,小于40属于低运动强度,高于80属于高运动强度,40~80之间为中等运动强度。

1.2 运动强度对帧间运动情况的描述能力

通过图1所示的3个典型视频片段来分析运动强度对帧间图像运动剧烈程度的描述能力。图1中视频的运动强度变化不大,这是由于采样的是视频的连续帧,帧间图像的细节变化通过人眼很难察觉到,但是通过运动强度值可以反映出帧间图像的变化。

图1(a)中,4帧的运动强度值分别为37.4、37.5、32.7、29.8,各帧运动强度值均低于40,属于低运动强度;图1(b)中视频序列属于多个目标物体以不同速度运动,移动速度较缓,背景变化不大,测得各帧的运动强度分别为59.3、54.1、55.4、57.1,均在50~60之间,属于中等运动强度;图1(c)中视频序列移动速度较快,且背景也在变化,整个画面变化剧烈,测得各帧的运动强度分别为115.9、156.8、

152.7、128.6,均在 110 以上,属于高运动强度。



图 1 3 个测试视频序列片段
Fig.1 Video clips of three test sequences

另外,针对标准测试序列中的视频进行了测试,其中包括 akiyo、bus、mother and daughter、stefan、tennis 等,各个视频序列具有不同的运动特点,对多个目标以不同速度运动的情况,运动强度反映的是当前帧所有运动目标相对于上一帧运动的平均幅度。测试结果表明,本文方法计算出的运动强度信息均可较好地描述视频帧间图像的平均运动情况。

运动强度值越高,表明本帧图像相对前一帧图像的运动越剧烈。

1.3 视频运动强度可预测性分析

采用上述运动强度计算方法,取运动强度中等的 foreman 视频序列和运动剧烈的 football 视频序列的前 150 帧,计算出每帧的运动强度值如图 2。

由图 2(a)可见,foreman 视频序列的各帧运动强度有很强的相关性,相邻帧运动强度波动不是很大,所有图像运动强度值均在 60 以下。

由图 2(b)可见,football 视频序列大多数帧的运动强度在 80 以下,这些帧帧间运动强度值变化不大;仅有少部分图像运动强度值高于 80,且帧间运动强度值波动较大;第 80—82 帧运动强度剧烈变化,这是由于镜头突然迅速移动导致画面发生剧烈变化,这种情况在视频中较少出现。

综上所述,大多数中、低运动强度视频序列,图像的运动是缓慢变化的,相邻帧间图像的运动强度波动并不大,有很强的相关性,可以通过前一帧的运动强度预测下一帧的运动强度。包含高运动强度的视频帧的视频序列中,大部分视频帧仍处在中、低运动强度状态;且运动强度超过 80 的视频帧,虽然运动强度值波动较大,帧间运动强度的可预测性受到影响,但在整个视频序列中所占比例极少,对预测的准确性影响不大。

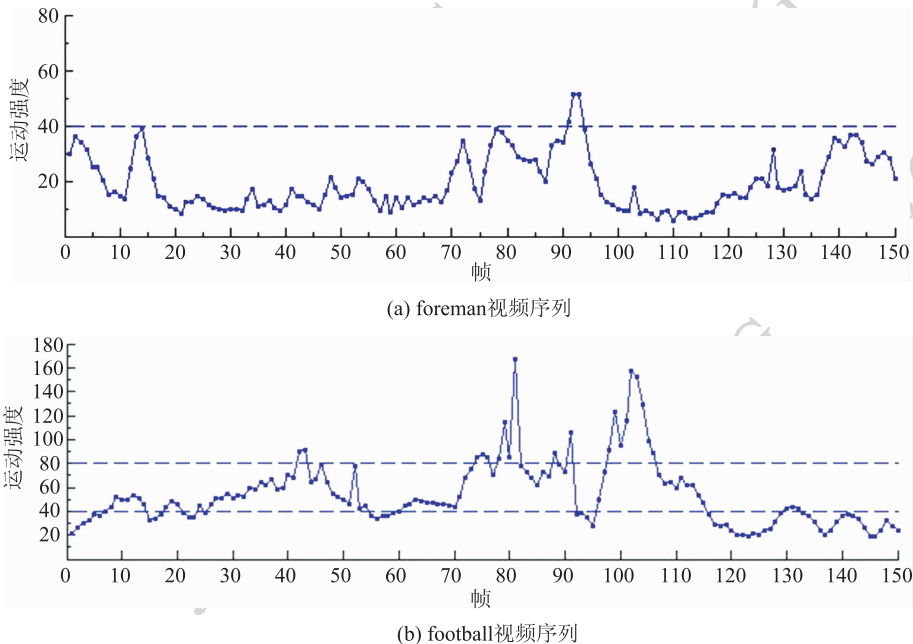


图 2 两视频序列前 150 帧运动强度值

Fig.2 Motion intensity of the frontal 150 frames of two video sequences

因此,依据相邻帧间运动的相关性,大多数视频可以进行运动强度预测,通过当前帧的运动强度信息预测下一帧的运动强度信息。

2 基于运动强度的自适应运动估计算法

2.1 算法的基本思想

由于通过运动强度可以描述视频帧间的运动情况,并且帧间的运动强度有很大的相关性,可以通过当前编码帧的运动强度值对下一帧的运动强度值进行预测。

通过对运动强度值的量化,中等运动图像的运动强度值在 40 ~ 80 之间,在此范围内选取运动强度阈值,用于区分低运动强度图像与中、高运动强度图像;计算当前帧的运动强度并与阈值进行比较以预测下一帧图像的运动强度。

本算法的自适应性体现在以下方面,依据当前帧的运动强度同所设定阈值的比较结果,自适应地选择算法进行运动搜索。若当前帧运动强度低于阈值,则预测下一帧为低运动强度图像,自动选用快速算法对下一帧进行运动搜索;若高于阈值,则预测下一帧为中高运动强度图像,自动选用复杂算法进行运动搜索。

在针对低运动强度图像进行算法选择时,首先要求快速算法能够在较小范围内较快搜索到最优点,以提高编码效率;其次,若当前帧运动强度值低于阈值,而下一帧图像运动十分剧烈,要求通过快速算法搜索计算出来的运动强度值能正确反映下一帧运动的剧烈程度,否则会影响编码视频质量。

低运动强度图像的运动搜索可采用三步法、四步法、菱形算法、六边形算法等快速算法。其中六边形算法在保证图像质量的情况下,针对小运动视频序列有较好的搜索效率,并且对于图像剧烈变化的情况能够较好地通过运动强度值进行反映。因此本文选用该算法,并对其进行改进,引入最优起始点预测搜索,以提高其搜索效率。

针对高运动强度图像进行算法选择时,因为 UMHexagonS 算法能够较好地识别并且找到全局最优点,同全搜索算法相比,其搜索效率大大提高,所以采用 UMHexagonS 算法针对高运动强度图像进行运动搜索。

2.2 改进的六边形搜索算法

优秀的起始搜索点预测算法可以减少计算量,使算法能够较快搜索到最优点。本算法针对六边形算法,引入最优点预测搜索,即预测离最优点最近的搜索起始点并由此点开始搜索。算法中引入原点预测、中值预测、上层预测和多参考帧预测四种起始点预测方案^[9],并且加入小菱形搜索以更快地搜索到最优的预测起始点。

2.2.1 预测运动矢量选取

4种预测方案中预测运动矢量的选取方法如下:

原点预测:取(0,0)作为预测运动矢量;

中值预测:取当前块上方、左边、右上方的3个块运动矢量的中值作为预测运动矢量;

多参考帧预测:取前一参考帧当前块运动搜索得到的运动矢量作为预测运动矢量;

上层预测:针对非 16 × 16 块,取比当前块体积大的上层块的运动矢量,作为预测运动矢量。

2.2.2 最优点选择准则

选择最优点时,采用绝对误差和(SAD)作为准则,如式(4)所示。

$$\text{SAD}(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |f_k(m, n) - f_{k-1}(m+i, n+j)| \quad (4)$$

式中, (i, j) 为运动矢量; f_k 和 f_{k-1} 分别为当前帧和上一帧的灰度值; $M \times N$ 为宏块的大小。若在某一个点 (i_0, j_0) 处 $\text{SAD}(i_0, j_0)$ 达到最小,则该点为要找的最优匹配点。

2.2.3 预测流程

预测流程如下:

1) 将中值预测得到的预测点作为搜索点,计算 SAD 值,保存为当前最优点。

2) 以中值预测作为中心点进行小菱形搜索(搜索上下左右4个预测点),比较 SAD 值,将 SAD 值最小点更新为最优点。

3) 对原点预测点计算 SAD 值,比较 SAD 值,将 SAD 值最小点更新为最优点。

4) 若最优点为原点,则进行小菱形搜索,计算比较 SAD 值并更新最优点,跳至步骤5);若最优点不为原点,最优点为中值预测点或其周围4个点,直接跳至步骤5)。

5) 进行上层预测,计算 SAD 值,更新最优点。

6) 进行多参考帧预测,计算 SAD 值,更新最优点。

7) 对上述搜索点中的最优点进行小菱形搜索,

计算 SAD 值,更新最优点。

8)将最优点作为预测起始点进行六边形搜索。

2.3 算法描述

首先设定运动强度阈值 T ,默认 T 取 50,若没有设定阈值,则程序按照默认阈值 50 自动执行,编码格式为 IPPP。首帧 I 帧进行帧内编码,其余编码帧采用 P 帧编码,由于第一帧 P 帧不能进行运动强度预测,所以采用 UMHexagonS 算法进行运动搜索,其余帧通过前一帧的运动强度值进行预测,高于阈值 T 的帧采用 UMHexagonS 算法进行运动搜索,低于此阈值的帧采用改进的六边形算法进行运动搜索。MEMI 算法流程如图 3 所示。

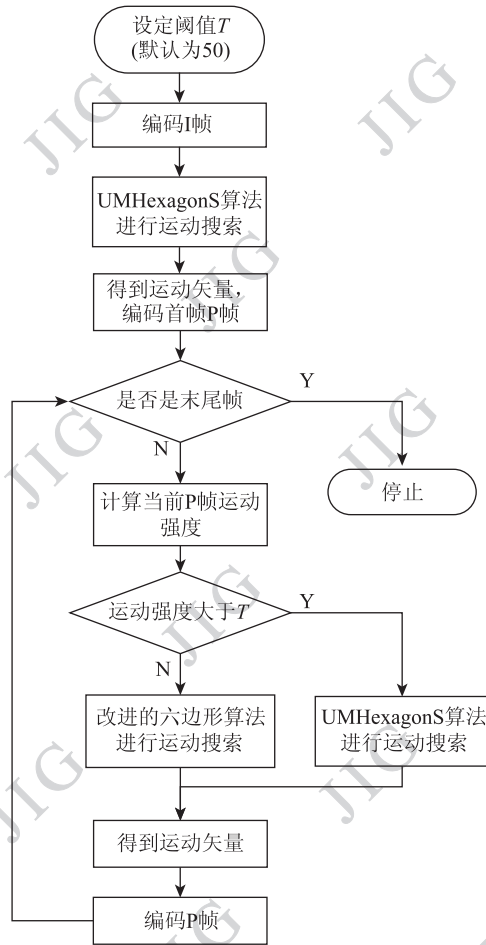


图 3 MEMI 算法流程图

Fig. 3 Flow chart of the MEMI algorithm

3 仿真结果分析

3.1 仿真环境

在 VS2008 的平台上将改进算法用 C 语言实现,并将其集成到 H. 264 标准测试软件 JM10.1 中。

实验所用 PC 机的硬件配置如下: Intel (R) Pentium (R) D CPU 3. 00 GHz, 2 G 内存。操作系统为 WindowsXP2002 + SP3。

测试序列集为 CIF (352 × 288) 或 SIF (352 × 240) 格式,所有序列均为 YUV 4: 2: 0。编码器配置选用 JM10.1 的基本类(编码配置文件为: encoder_baseline. cfg)。实验中主要编码参数如下: 编码帧数 = 100, 帧率 = 30. 0, 搜索范围 = 16, 参考帧数 = 5, 其他参数为缺省设置, 编码序列格式为 IPPP。

为充分测试本文算法对各种视频序列的优化效果,选用了 8 组标准测试序列进行测试,各测试序列运动程度依次加强。其中, silent 和 mother and daughter 为小运动序列; foreman 为中等运动序列; stefan 和 soccer 较 foreman 运动程度稍有增加; football 序列运动最剧烈; 为高强度运动序列; mobile 则包含了较多的细节与镜头的平移, 为全局运动序列; flower 也是全局运动图像序列, 较 mobile 序列运动剧烈程度稍有增加。

3.2 实验结果与分析

3.2.1 改进六边形算法与原六边形算法的结果比较

选取四组测试序列, 分别为 silent、foreman、football 和 mobile, 分别采用改进的六边形算法和原六边形算法进行编码, 结果如表 1 所示。其中 Hexagon (old) 和 Hexagon (new) 分别表示原六边形算法和改进的六边形算法。

表 1 中,改进六边形算法同原算法相比,运动估计时间平均节省了 11. 33%, 码率平均降低了 11. 68%。PSNR 也有不同程度的提高,最多提升了 0. 173 dB,平均提高了 0. 141 dB。

表 1 改进六边形算法与原算法的结果比较

Table 1 Comparison of improved Hexagon to original Hexagon

测试序列	算法	PSNR/dB	码率/ (kbit/s)	运动估计 时间/s
silent	Hexagon (old)	35. 877	263. 263	179. 922
	Hexagon (new)	35. 893	257. 650	163. 766
foreman	Hexagon (old)	37. 169	592. 488	227. 416
	Hexagon (new)	37. 342	463. 680	197. 648
football	Hexagon (old)	36. 185	1 304. 587	244. 214
	Hexagon (new)	36. 347	1 091. 004	226. 903
mobile	Hexagon (old)	33. 764	1 699. 519	212. 189
	Hexagon (new)	33. 878	1 589. 585	177. 922

但针对 silent 视频序列 PSNR 仅提高了 0.016 dB。这是由于 silent 视频序列运动幅度非常小,基本上都是在原点附近很小的范围内运动,所以采用多种起始搜索点预测技术,并没有显著提高预测精度,与原算法相比,图像质量变化不大。而对于

运动程度相对剧烈的其他几个视频序列,多种起始搜索点预测技术能够明显提高编码图像质量。

所以改进的六边形算法与原六边形算法相比,在图像质量得到提高,码率大幅下降的前提下,运动估计时间也大幅减少,提高了编码效率。

表2 MEMI 算法与 UMHexagonS 算法优化结果对比
Table 2 Comparison of MEMI to UMHexagonS algorithm

测试序列	算法	PSNR 平均 变化值/dB	码率平均 增加率/%	编码时间平均 节省率/%	运动估计时间平均 节省率/%
mother and daughter/silent	UMHS	0	0	0	0
	MEMI(40)	↓0.002	0.90	7.91	14.13
	MEMI(50)	↑0.005	0.94	8.02	14.37
	MEMI(60)	↑0.005	0.94	8.02	14.37
foreman/stefan	UMHS	0	0	0	0
	MEMI(40)	↓0.002	0.65	9.19	15.64
	MEMI(50)	↓0.007	1.14	10.12	17.63
	MEMI(60)	↓0.006	1.18	12.01	21.03
soccer/football	UMHS	0	0	0	0
	MEMI(40)	↑0.001	0.67	8.56	12.81
	MEMI(50)	↓0.007	1.17	11.65	18.52
	MEMI(60)	↓0.003	1.48	16.35	25.02
mobile/flower	UMHS	0	0	0	0
	MEMI(40)	↓0.002	0.14	14.05	27.35
	MEMI(50)	↓0.002	0.14	14.05	27.35
	MEMI(60)	↓0.002	0.14	14.05	27.35

3.2.2 与 UMHexagonS 算法的结果比较

选取 40~80(中等运动强度)之间的 3 组阈值 40、50、60,将本文算法与 UMHexagonS 算法分别对 8 组测试序列进行编码,并针对相同运动特点的视频序列所测得的数据进行整理,求其平均值,编码结果如表 2 所示。表 2 中,UMHS 表示 UMHexagonS 算法;MEMI(40)、MEMI(50)、MEMI(60) 分别表示本文算法的阈值 T 取 40、50、60 的情况;↓表示 PSNR 下降;↑表示 PSNR 提高。

表 2 中,PSNR 最多下降 0.007 dB,最高提升 0.005 dB,表明在 3 组阈值下该算法对图像质量的影响均可忽略不计,保持了原有图像的质量。对于小运动视频序列 mother and daughter 和 silent,运动强度值都低于 50,所以当设定阈值为 60 时,编码测得数据结果同阈值设定为 50 时相同。而对于全局运动序列 mobile 和 flower,虽然每帧图像整体都有较明显的运动,但是并没有很剧烈的帧间图像运动,所以编码图像的运动强度值也都低于 40,故 3 组阈

值得到相同的实验结果。

由表 2 可见,随着设定阈值的增大,编码时间减少比例也随之增加,这是由于低运动强度算法的阈值降低,采用改进六边形算法的帧增多,所以编码效率显著提高。但是随着阈值的增大,码率也随之增加,原因是针对高运动强度图像,改进六边形算法不能很好地找到全局最优点,从而造成码率的小幅增加,但均低于 1.5%。所以相对于编码时间的减少,码率的增加量在可以接受的范围内。另外,针对全局运动视频序列 mobile 及 flower,编码速度明显优于其他运动序列。

综上所述,通过本文算法所设定的 3 组阈值进行编码,对图像质量的影响几乎可以忽略不计,仅影响码率及编码效率。但设定任何阈值都不能达到既保证码率又满足编码效率的要求。阈值偏高,编码效率得到了提高但是码率和图像质量会有一定程度的下降;阈值偏低,编码效率不高,但是能够保证较好的图像质量和较低的码率。

在实际视频编码时,可根据编码要求在40~60之间设定不同的阈值。设定 T 为40可以保证较低的码率,设定为60可以在一定程度上提高编码效率,若没有特殊的编码需求,自动取默认阈值50。

另外,对运动强度模块所耗时间的统计表明,此运动强度计算模块耗时仅在15~80 ms之间,仅占运动估计耗时的0.007%~0.035%,占整个编码时间的0.004%~0.026%,占用的编码时间可以忽略不计。

3.2.3 与其他算法的结果比较

将MEMI算法阈值设定为50,与H.264标准中提供的全搜索法(FS)和改进预测区域搜索法(EPZS)的测试结果进行比较,如表3所示。

表3 MEMI与FS、EPZS算法的结果比较

Table 3 Comparison of MEMI to FS and EPZS

测试序列	算法	PSNR/dB	码率 /(kbit/s)	运动估计 时间/s
mother and daughter	FS	38.807	173.482	531.861
	MEMI(50)	38.786	175.020	118.474
silent	EPZS	38.809	173.678	163.012
	FS	35.908	254.230	527.006
foreman	MEMI(50)	35.898	257.671	118.613
	EPZS	35.904	255.396	173.242
stefan	FS	37.372	453.019	545.368
	MEMI(50)	37.334	460.949	162.185
soccer	EPZS	37.364	452.498	197.164
	FS	35.157	1 188.353	442.359
football	MEMI(50)	35.132	1 142.851	135.048
	EPZS	35.142	1 132.925	155.551
flower	FS	36.446	725.071	558.136
	MEMI(50)	36.408	733.003	214.103
mobile	EPZS	36.416	719.400	219.742
	FS	36.374	1 059.574	560.020
flower	MEMI(50)	36.344	1 068.744	209.252
	EPZS	36.362	1 054.279	231.180
mobile	FS	33.889	1 592.412	517.896
	MEMI(50)	33.877	1 588.183	131.240
flower	EPZS	33.895	1 590.612	183.785
	FS	34.632	1 576.968	524.512
flower	MEMI(50)	34.616	1 585.426	129.034
	EPZS	34.621	1 578.989	167.098

由表3可见,本文算法针对不同的运动序列都能保持优异的编码性能,同FS和EPZS算法相比MEMI算法具有以下优点:

1) 视频的重建质量基本保持了原有图像质量。与FS相比,PSNR性能平均损失了0.023 8 dB,最大损失不超过0.038 dB。与EPZS算法相比,亮度信号的PSNR性能平均损失了0.014 8 dB,最大损失不超过0.03 dB。

2) 编码的压缩效果基本不变。与FS相比,比特率的增加很少,平均值为0.30%;与EPZS相比,平均值为0.99%。

3) 运动估计和编码的耗时明显下降。与FS相比,运动估计速度约为FS的3.45倍。与EPZS相比,运动估计时间平均下降了19.15%。MEMI与FS和EPZS相比,在重建图像质量和码率接近的情况下,编码效率有了明显的提高。

3.2.4 主观评价

图4给出了football测试序列第66帧的主观质量比较图,其中图4(a)是原始帧,图4(b)(c)分别是UMHexagonS算法和本文算法得到的解码帧。



(a) 原始帧



(b) UMHexagonS算法解码帧



(c) MEMI算法解码帧

图4 实验结果主观评价

Fig. 4 Subjective evaluation of the experimental results

图4中,MEMI算法阈值采用默认值50,解码后得到图像的PSNR为36.034 dB;UMHexagonS算法解码后得到的PSNR为35.955 dB。两者相差不大,MEMI算法解码后的PSNR略高于UMHexagonS算法0.079 dB。通过对本文算法(MEMI)得到的解码帧与UMHexagonS算法得到的解码帧进行主观比较,两帧图像几乎没有差别,两帧图像同原始图像的差别也很小,所以本文算法在提高了编码速度的同时,可以较好地保持解码图像的质量。

4 结论

本文定义了运动强度的概念,用以描述视频帧间图像的运动剧烈程度,并通过视频序列当前帧的运动强度对下一帧的运动强度进行预测。针对高运动强度图像,采用UMHexagonS算法进行运动搜索,针对低运动强度图像采用改进的六边形算法进行运动搜索。

实验仿真结果表明,该算法适用面广,针对不同的运动序列都有很好的优化效果。该算法能在保证编码图像质量和较低码率的基础上,不同程度地减少编码时间和运动估计时间,提高编码效率;并且该算法所设定的运动强度阈值可调,可针对不同场合通过调节阈值,以牺牲少量码率为代价满足更高的编码要求。针对视频序列中图像的多种运动强度,文中仅选用了两种算法进行自适应选择,不能完全适应视频序列的多种运动特点。下一步将针对中高运动视频的特点进行深入研究,设计更多算法进行自适应选择,以达到更好的编码效果,并进一步研究运动估计算法的硬件实现。

参考文献(References)

[1] Wiegand T, Sullivan G, Bjontegaard G, et al. Overview of the

- H.264/AVC video coding standard [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 2003, 13(7): 560-576.
- [2] Li R X, Zeng B, Liou M L. A new three-step search algorithm for block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 1994, 4(4): 438-442.
- [3] Po L. M., Ma W. C. A novel four-step search algorithm for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 313-317.
- [4] Zhu C, Lin X, Chau L P. Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(5): 349-355.
- [5] Zhu S, Ma K K. A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(2): 287-290.
- [6] Wang M J, Wang J X, Shang D. An improved three step search algorithm fit for VBMSE hardware implementation [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(11): 1596-1602. [王明江,王进祥,商迪.一种适合可变块运动估计硬件实现的改进三步搜索算法 [J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(11): 1596-1602.]
- [7] Ding X, Fan H J. A mix-pattern motion estimation search algorithm based on direction adaptation [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(1): 14-20. [丁鑫,樊慧津.基于方向自适应的运动估计混合模板搜索算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1): 14-20.]
- [8] Shen Y L, Wang W D, Guo B. A new adaptive motion estimation algorithm based on correlation of motion vectors [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(9): 1659-1693. [沈渝力,王维东,郭斌.基于矢量相关性的自适应运动估计搜索算法 [J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(9): 1659-1693.]
- [9] Chen Z, Xu J, He Y, et al. Fast integer-pel and fractional-pel motion estimation for H.264/AVC [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2006, 17(2): 264-290.
- [10] MPEG Requirement Group. ISO/IEC JTC1/ SC29/WG11/N6828, MPEG-7 Overview [S]. Palma de Mallorca: ISO/IEC, 2004.
- [11] MPEG Requirement Group. ISO/IEC JTC1/ SC29/WG11/M6808, MPEG-7 Visual part of eXperimentation Model Version 8.1 [S]. Pisa: ISO/IEC, 2001.