

嵌入式视频监控系统的快速运动估计算法

刘国繁¹, 曹少坤², 彭铁钢²

(1. 湖南工程学院电气信息学院, 湘潭 411104; 2. 湘潭大学信息工程学院, 湘潭 411105)

摘要: 耗时的运动估计运算给实时视频编码带来较大困难, 为提高监控视频编码的实时性, 提出一种用于嵌入式视频监控系统的快速运动估计算法。该算法根据监控背景相对固定的特点, 使用多层提前终止准则, 通过运动矢量时空相关性的特性来预测搜索起点, 采用改进型的十字搜索模板进行搜索。实验表明, 与自适应十字搜索算法相比, 该算法在平均峰值信噪比略有下降的情况下, 搜索速度得到提升, 符合嵌入式视频监控的实时性优先原则。

关键词: 运动估计; 块匹配; 十字搜索; 嵌入式监控; 视频编码

Rapid Motion Estimation Algorithm for Embedded Video Monitor System

LIU Guo-fan¹, CAO Shao-kun², PENG Tie-gang²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411104;

2. Information College, Xiangtan University, Xiangtan 411105)

【Abstract】 Motion estimation of time-consuming brings great difficulties to real-time video encoding. In order to improve monitoring of real-time video encoding, a rapid motion estimation algorithm for embedded video monitoring system is proposed. Based on the characteristics of a relatively fixed monitoring background, the algorithm uses multi-criteria of early stop, predicts search starting point through vector movement relatively characteristics of time and space, finally, uses improved rood search pattern starting search. Experiment shows that the algorithm has better search rate than adaptive rood search algorithm with slight PSNR decrease, matches the real-time priority principle in embedded video monitoring system.

【Key words】 motion estimation; block matching; rood search; embedded monitoring; video coding

1 概述

随着嵌入式监控技术步入一个全新的数字化网络阶段, 视频编码技术在视频监控中起着重要的作用。而运动估计又是视频编码的关键部分, 也是计算最耗时的部分。目前由一些国际标准组织推荐的常用运动估计方案是块匹配算法, 目的就是减少视频帧间的时间冗余, 其原理是把视频的每帧划分成一样大小的很多宏块, 对于当前帧的每个宏块, 在相邻帧的搜索范围内, 根据一定的匹配准则和搜索模式, 寻找到最佳匹配的宏块作为预测块^[1]。

为得到最佳匹配块, 出现了许多的运动估计搜索算法, 如全搜索(FS), 它要对搜索区域内的所有像素点进行搜索, 可以获得很好的图像质量, 但计算量大; 新三步法(TSS)^[2]、菱形搜索法(DS)^[3]、自适应十字搜索法(APRS)^[4]等算法与 FS 相比, 虽然性能有所下降, 但计算速度大大提升。其中, APRS 在编码性能与 TSS、DS 相当的情况下, 搜索像素点数只有 DS 的 1/2, TSS 的 1/3^[5]。因此, 在实时性要求较高的条件下, APRS 可以获得较好的效果。

嵌入式视频监控系统的硬件资源(如处理器、存储器等)有限, 用传统运动估计算法进行视频编码, 传输的实时性差。本文利用运动矢量的分布特性和监控背景相对固定的特点, 提出了一种用于嵌入式视频监控系统的快速运动估计算法。算法的基本思想是: 利用多层提前终止准则对监控背景不变的宏块不编码、对零运动矢量宏块不进行宏块的匹配搜索,

用改进型的十字搜索模式对剩余的运动宏块进行匹配搜索。在搜索精度与 ARPS 基本相同的情况下, 该算法提高了运动估计的计算速度, 可满足嵌入式视频监控实时性的要求。

2 嵌入式视频监控系统的快速运动估计算法

2.1 搜索起点预测

目前, 多数的快速块匹配算法基于下述假设: 随着搜索位置接近全局最优点, 匹配误差将单调减少。然而, 这个假设并不总是成立的, 在实际的视频序列中, 由于搜索窗内细节特性的差异, 物体运动的剧烈程度和不规则性, 致使误差匹配曲面往往呈现出不规则的多峰面的特点, 因此基于误差匹配单峰曲面假设的算法往往会陷入局部最优点。但如果搜索过程的起始点距离最优匹配点足够近, 可以认为, 在最优匹配点周围的一个小范围内, 这个假设总是成立的^[6]。由于视频运动的连续性, 相邻的运动矢量及前后帧对应位置处的运动矢量必然具有时间和空间上的相关性, 因此利用这种相关性, 可以对搜索起点进行预测。

文献[1]阐述了各相邻块的预测效果, 表明当前块的运动矢量与其左边、上边、右上边以及参考帧相同位置块的运动

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(05C588)

作者简介: 刘国繁(1959—), 男, 教授, 主研方向: 视频信号传输, 计算机测控; 曹少坤、彭铁钢, 硕士研究生

收稿日期: 2009-03-10 **E-mail:** gfliu@hnie.edu.cn

矢量相关性较大, 而与其他块的相关性较小。因此, 本文选用这 4 个相邻块运动矢量的对应点和原点(即零运动矢量)作为起点预测的候选点^[7]。图 1 为候选点的分布。

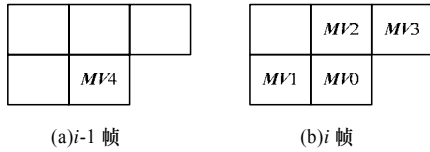


图 1 搜索起点预测

在图 1 对应的 5 个候选矢量中, 利用块匹配绝对误差 (Sum of Absolute Difference, SAD) 比较确定搜索起点, 具有最小 SAD 值的运动矢量所指位置, 就是当前块的搜索起始点。

2.2 提前终止准则

根据监控视频序列的特性可知, 监控视频跟普通视频序列相比较, 除了运动矢量分布特性和时空相关性外, 还具有监控背景比较固定的特点。因此, 本文使用了 2 层提前终止准则, 第 1 层提前终止了监控背景中无变化的宏块, 不必对这些宏块进行编码, 直接用相邻参考帧的相应宏块代替当前帧的宏块。第 2 层就是在最佳宏块的匹配过程中, 提前终止搜索, 直接进入后面的运动补偿。

在本算法中, 由于考虑的编码对象主要是监控场景, 这就意味着在这个环境下, 背景相对固定, 而运动的物体只占小部分, 也就说在监控图像中, 存在许多的无变化背景宏块。因此, 就可以利用第 1 层提前终止准则, 使无变化背景宏块提前终止。第 1 层提前终止准则使用的是块匹配绝对误差和比较法, 当 SAD 值小于某个合适阈值 TH_0 时, 就认为该宏块是背景固定的宏块, 标记为不编码宏块。第 1 层终止的关键就是阈值 TH_0 的确定, 为找到一个合适的阈值, 参考前人选取终止阈值长期积累的经验, 设定 TH_0 为 256^[7], 当 $TH_0=256$ 时, 运动补偿后所得图像的平均峰值信噪比 (PSRN) 与 $TH_0=0$ 时的 PSNR 值基本相同。

为证明第 1 层终止准则的必要性, 选取背景相对固定的标准序列 akiyo 和 grandma 进行测试, 图像宏块大小为 16×16 , 图像序列为 QCIF (176×144) 格式, 宏块总数 (MB) 有 99 个。测试结果如图 2 所示, 一帧图像所有宏块在 (0, 0) 位置的 SAD 值有相当一部分小于 TH_0 。因此, 可以使用第 1 层终止准则, 使得那些 SAD 值小于 TH_0 的宏块提前退出, 这样就极大提升了运动估计的效率。

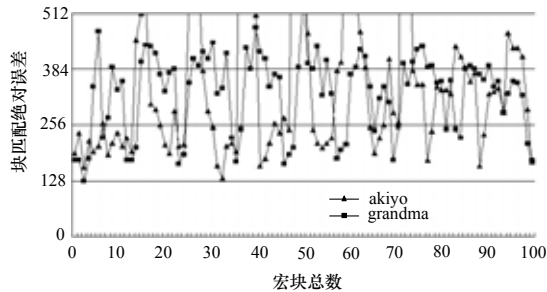


图 2 宏块的块匹配绝对误差

宏块的运动矢量具有较强的中心偏置分布特性, 经统计可知, 大部分运动矢量都在 (0, 0) 点和 ± 2 范围内, 这说明大部分宏块是静止或准静止的^[6]。因此, 在起始搜索点预测及后续搜索匹配中, 如果某点的 SAD 值小于 TH_1 , 可以认为搜索结果已具有相当的精度, 可提前终止搜索, 并以该点作为

最优匹配点。Nie 等研究发现, 一般静止宏块的平均 SAD 在 600~1 300 之间。因为高的阈值将产生大的预测错误, 所以本文选择具有一定普遍性的阈值 $TH_1=512$ ^[4]。

2.3 改进型的十字搜索模式

运动矢量除了具有中心偏置分布特性外, 其分布在水平和垂直方向的概率要比分布在相同半径下的其他方向大, 在进行运动搜索时可优先考虑水平和垂直方向^[6]。因此, 本文搜索模式的改进是基于十字搜索模式。经过搜索起点预测后, 在最佳匹配点周围的一个小范围内, 基于误差匹配单峰曲面假设可认为是成立的。这种假设的成立为改进型十字搜索模式提供了客观依据。有了客观依据之后, 就可以对十字搜索模式进行趋势搜索的改进, 图 3 为改进的 3 种十字搜索模式。

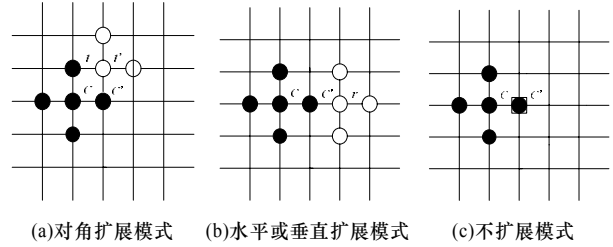


图 3 改进的十字搜索模式

3 种扩展模式的第 1 轮搜索中心点为 c 点, 改进型十字搜索模式的基本思想为: 一轮十字搜索后, 如果最优顶点为十字型中心点 c , 结束搜索, c 为最佳匹配点; 如果最优顶点为图 3(a) 中顶点 c' , 次优点为图 3(a) 中顶点 t , 那么比较 c' 点与 t' 点的 SAD 值, 当 $SAD_{t'}$ 小于 $SAD_{c'}$, 就把 t' 点作为下一轮十字搜索的中心, 且只需搜索 2 个点; 当 $SAD_{c'}$ 小于 $SAD_{t'}$, 则按图 3(b) 扩展模式比较 c' 点与 r 点的 SAD 值, 当 SAD_r 小于 $SAD_{c'}$, 就把 r 点作为下一轮十字搜索中心, 且只需搜索 3 个点; 否则, 当 $SAD_{c'}$ 小于 $SAD_{t'}$ 和 SAD_r , 则进入图 3(c) 不扩展模式, 结束搜索, c' 为最佳匹配点。

2.4 算法描述

算法描述如下:

(1) 设置提前终止准则阈值。根据 2.2 节分析可知, 2 层提前终止阈值分别为: $TH_0=256$, $TH_1=512$ 。

(2) 预测起始搜索点。根据 2.1 节分析可知, 当前宏块的运动矢量可以用左边 (MV_1), 上边 (MV_2), 右上 (MV_3), 参考帧相同位置 (MV_4) 的宏块运动矢量和零运动矢量 (MV_0) 来预测, 搜索起点 MV_S 为: $MV_S = \text{Arg}\{\min(SAD_{MV_0}, SAD_{MV_1}, SAD_{MV_2}, SAD_{MV_3}, SAD_{MV_4})\}$, 即可进一步提高运动估计的搜索精度。

(3) 选择提前终止准则。首先搜索 (0, 0) 位置, 计算 (0, 0) 点的匹配误差 SAD_0 , 如果 $SAD_0 < TH_0$, 标记为不编码宏块, 直接用相邻参考帧的相应宏块代替当前帧的宏块, 进入步骤 (5); 如果 $SAD_0 < TH_1$, 当前宏块运动矢量 $V_{CUR}=(0, 0)$, 搜索结束, 进入步骤 (5); 否则, 对步骤 (2) 中的预测起点 MV_S 进行搜索, 计算 MV_S 对应点的 SAD_{VS} , 如果 $SAD_{VS} < TH_1$, 当前宏块运动矢量 $V_{CUR}=V_S$, 搜索结束, 进入步骤 (5)。

(4) 改进型十字搜索模式。以步骤 (3) 中所得起始搜索点为中心, 使用改进型十字搜索模式进行搜索, 搜索过程中, 每搜索完一个点, 判断该点对应的 SAD 值是否满足 $SAD < TH_1$, 若满足, 则 V_{CUR} 为该点的位置, 搜索结束, 进入步骤 (5), 否则, 继续搜索, 直至找到最佳匹配点。

(5) 算法结束。

3 实验结果

文献[8-9]指出,在实时性要求较高的环境中,APRS 与其他几种经典的快速运动估计算法相比,搜索速度上有很大的提升,因此,为了验证本文算法的优越性,在相同条件下,选择 ARPS 与本文算法进行性能上的对比测试,这里主要采用 3 个指标进行衡量:平均每帧的编码宏块数,平均每宏块的搜索点数,平均峰值信噪比。实验选用了 3 幅背景相对固定的标准 QCIF/CIF 图像序列(前 50 帧)akiyo(176×144),news(352×288)。运动估计的宏块大小为 16×16,在每帧图像中,akiyo 和 news 具有的宏块数分别为 99 和 396,搜索范围为 15×15,匹配准则为 SAD。本文算法与 APRS 相比的实验结果见图 4 和图 5。

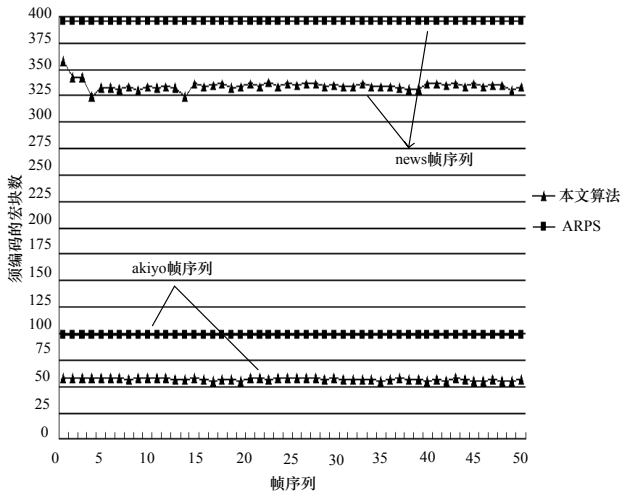


图 4 须编码的宏块数比较

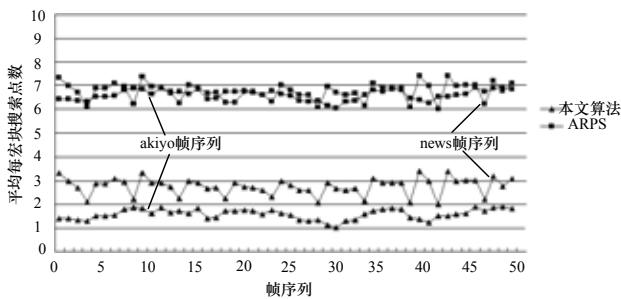


图 5 平均每宏块搜索点数比较

综合 2 个性能衡量指标来看,虽然 ARPS 也非常适合在实时性要求较高的环境中使用,但是本文算法与它相比,具有明显的优势。表 1 是实验的具体数据。

表 1 实验具体数据

图像序列	APRS			本文算法		
	平均编码宏块/frame	平均搜索点数/MB	PSNR/dB	平均编码宏块/frame	平均搜索点数/MB	PSNR/dB
akiyo	99	6.55	41.94	57.24	1.61	41.90
news	396	6.76	36.99	334.24	2.77	36.91

可见,对于背景相对固定,运动变化小的测试序列 akiyo,ARPS 的每帧图像的宏块需要全部编码,即 99 个,每个宏块

平均需要搜索 6.55 个点。本文算法由于第一层终止阈值 TH_0 的设定,每帧图像平均只有 57.24 个宏块需要编码,须编码的宏块减少了 42% 剩余无须编码的宏块直接用参考帧相对应的宏块替代,每个宏块平均需要搜索的点数为 1.61,仅为 ARPS 的 1/4。对于背景相对固定,运动稍微大些的测试序列 news,本文算法每帧图像平均有 334.24 个宏块需要编码,需要编码的宏块也减少了 16%,仅需要搜索 2.77 个点,只有 ARPS 的 2/5。在搜索精度方面,本算法的平均 PSNR 值比 ARPS 稍微低点,2 个测试序列分别低 0.04 dB 和 0.08 dB。在实时性优先的监控领域中,PSNR 略有降低是可以接受的。

4 结束语

本文根据运动矢量的时空相关性,采用搜索起点预测、多层提前终止准则等技术,在分析了误差匹配单峰曲面假设成立所依据的客观条件后,设计一种改进型十字搜索模式,使算法的性能得到进一步提高。实验结果证明,与 ARPS 算法相比,本文算法算法的搜索速度有极大提高,特别是在背景相对固定、运动平缓的情况下,该算法的计算速度尤为突出,而所得图像的平均 PSNR 只略低于 ARPS 算法。该算法计算量小,实时性强,适合在嵌入式监控系统使用。

参考文献

- [1] 林兆花, 谢存禧, 邹焱彪. 基于起点预测的单位十字快速运动估计算法[J]. 华南理工大学学报, 2007, 35(8): 49-53.
- [2] Li Renxiang, Zeng Bing, 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] Zhu Shan, Ma Kaikuang. A New Diamond Search Algorithm for Fast Block-matching Motion Estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(2): 287-290.
- [4] Nie Yao, Ma Kaikuang. Adaptive Rood Pattern Search for Fast Block-matching Motion Estimation[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2002, 11(12): 1442-1448.
- [5] 王晓燕, 郑建宏. 用于快速块匹配运动估计的自适应十字模式搜索[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(1): 104-107.
- [6] 梁 燕, 刘文耀, 朱 昊. 基于起点预测的自适应快速搜索算法[J]. 计算机工程, 2005, 31(19): 1-3.
- [7] Shih Y H, Yeuan K L, Ming C. A New Computation-aware Scheme Based on Stopping Threshold Adaptation for Predictive Block Motion Estimations[C]//Proc. of the 2nd International Conference on Innovative Computing, Information and Control. Kumamoto, Japan: IEEE Computer Society Press, 2007.
- [8] Chung H Y, Yung N H, Cheung P Y. Fast Motion Estimation with Search Center Prediction[J]. Optical Engineering, 2001, 40(6): 952-963.
- [9] Zhang Ying, Siu W C, Shen Tingzhi. Yet a Faster Motion Estimation Algorithm with Directional Search Strategies[D]. Beijing, China: Beijing Institute of Technology, 2007.

编辑 金胡考