

完全搜索块匹配运动补偿算法光电混合系统

王康文 王汝笠[√] 严义坝

(中国科学院上海技术物理研究所, 青年光电工程中心, 上海, 200083)

A

摘要 基于声光相关器提出了种能实时实现视频图像压缩中完全搜索块匹配运动补偿算法的光电混合系统. 与全数字电路相比, 该系统具有足够的带宽, 能并行处理大量数据, 并且电路较简单, 可降低功耗、成本及结构复杂性. 还讨论了该系统的适用范围.

关键词 块匹配算法, 光电混合系统.

补偿算法

TN914

引言

在视频电话、电视会议及高分辨率电视等应用中, 数据压缩是为了保证接收图像质量的同时, 降低数据传输和存储的比特率. 由于连续帧间存在着很高的时间冗余度, 通过降低冗余度可有效地实现高的压缩比, 减少传输和存储的比特率. 运动补偿技术中的块匹配算法(BMA)^[1]是一种最有效的帧压缩编码方法.

块匹配算法要求把视频图像的每帧分割成像素为 $N \times N$ 的方块(一般 $4 \leq N \leq 16$). 对一当前帧 t 中的块 $S_t(k, l)$, 需要在前一帧 $t-1$ 中的参考块 $S_{t-1}(k, l)$ 周围的搜索区域内寻找最佳匹配的块(称为完全搜索块匹配算法(FS-BMA)), 从而求出当前块 $S_t(k, l)$ 的位移矢量(见图1). 搜索区域限于参考块最大位移为 P 的范围($P \sim N$). 把所有块的位移矢量传输给接收端, 在接收端运用块位移矢量由 $t-1$ 来预测 t , 达到图像重建. 归一化的交叉相关函数 $CCF(i, j)$ 是寻找最佳匹配块判据之一, 即

12

$$CCF(i, j) = \frac{\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} S_t(k+m, l+n) \cdot S_{t-1}(k+m+i, l+n+j)}{[\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} S_t^2(k+m, l+n)]^{1/2} [\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} S_{t-1}^2(k+m+i, l+n+j)]^{1/2}}, \quad (1)$$

其中 (k, l) 是块 $S_t(k, l)$ 左上角顶点的位置, (i, j) 代表块 $S_t(k, l)$ 的位移. 这一判据需计算块 $S_t(k, l)$ 及在前一帧所覆盖数据之间的相关值, 相关峰的位置即是所求的位移矢量, 但计算复杂, 硬件难以实现. 为简化算法, 人们提出用均方误差

$$MSE(i, j) = \{ \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |S_t(k+m, l+n) - S_{t-1}(k+m+i, l+n+j)|^2 \} / N^2 \quad (2)$$

或用帧间绝对差值的平均值

$$MAD(i, j) = \{ \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |S_t(k+m, l+n) - S_{t-1}(k+m+i, l+n+j)| \} / N^2 \quad (3)$$

来寻找最佳匹配块, 最小 $MSE(i, j)$ 或最小 $MAD(i, j)$ 中的 (i, j) 即为 $S_t(k, l)$ 的位移矢量. 尽管改进后算法简单, 但还是需要在 $t-1$ 中搜索 $(2P+1)^2$ 个块, 且对每一块需要 N^2 次减

• 本文1995年9月20日收到, 修改稿1995年11月1日收到

法运算、 N^2 次绝对值运算和 N^2 次求和运算。显然,数据计算量极大,在硬件上实时实现非常困难。

数字电路具有串行传输特性,虽然一些标准并行处理器件具有一定的并行处理的能力,但不能提供足够带宽来进行极大量数据运算,因此运用全数字技术完成这种高速运算将导致结构复杂、功耗过高以及成本昂贵^[2~4]。

由于光具有很大的带宽,能实时并行处理极大量数据,而数字电路具有灵活性和可编程特性,故研究用光电混合方法实时实现匹配算法很有意义。本文基于声光相关器提出了一种能实时视频图像中完全搜索匹配运动补偿算法的光电混合系统,此系统具有足够带宽,能并行处理大量的数据,电路较简单,可降低功耗、成本以及结构的复杂性等优点。最后本文还讨论了该系统的适用范围。

1 光电混合实时实现块匹配算法可行性

块匹配算法实际上运用二维相关函数来估算图像中块的位移,由于光系统具有实时并行处理大量数据的能力,A. Yoshida 和 J. H. Reif 等提出了运用光学相关器来追踪视频图像中块的位移^[7]。

光学相关器包括匹配滤波相关器^[8]和联合变换相关器^[9],前者需要预先设置一个空间匹配滤波器,显然不宜实时实现块匹配算法。后者不需要预先设置匹配滤波器,入射图像和参考图像各通过一个空间光调制器位于同一入射平面上,经过傅立叶透镜变换后,入射面的傅立叶变换结果记录在傅立叶平面的空间光调制器内,用另一平行光读出空间光调制记录的信息,再经过傅立叶逆变换就可以得到相关峰,即两图像的相关信息。如果空间光调制器的响应速度很快,那么联合变换相关器就可以实时地进行两图像的相关运算。目前,由于高速空间光调制器还未成熟,价格昂贵,同时很难并行处理一帧中所有的块^[7],所以用光学联合变换相关器实时实现块匹配算法的光电混合系统也有难度。

具有时间积分能力的声光相关器能用于合成孔径雷达进行目标识别和以视频速度跟踪目标^[9]。声光相关器技术比较成熟,如发光二极管阵列(LED's)、声光调制器件(AOD)及 CCD 已经商业化且价格便宜,更重要的是它们的响应速度很快,时间带宽积大,可并行处理大量数据。另外,相关平面上只有一个相关峰,用 CCD 可以较容易测出相关峰的位置。显然,用基于声光相关器的光电混合系统来实时实现块匹配算法是比较理想的。

2 基于声光相关器的光电混合系统

2.1 光电混合系统设计

设当前帧 t 中的块 $S_t(k, l)$ 为参考图像,用 $f(x, y)$ 表示,前一帧 $t-1$ 中相应搜索区域为输入图像,用 $g(x, y)$ 表示(见图 2)。设参考图像和输入图像的总行数分别为 M 和 N 。参考图像中所有的行信号同时读出,经过相应的 D/A 转换后,以信号 $f(t, m)$ 调制相应的发光二极管单元,即需要具有 M 个发光单元的发光二极管阵列,其中 $m=1, 2, \dots, M$; 而输入图像的行信号依次读出,也经过 D/A 转换后,以信号 $g(t, n)$ 调制 AOD, 其中 $n=1, 2, \dots, N$ 。

垂直方向上,LED 阵列通过柱面镜 L_1 、 L_3 成像在 AOD 孔径中(见图 3),LED 阵列发出的光在水平方向上经柱面镜 L_1 扩束后,再经柱面镜 L_2 准直以布喇格角入射到 AOD 孔径中

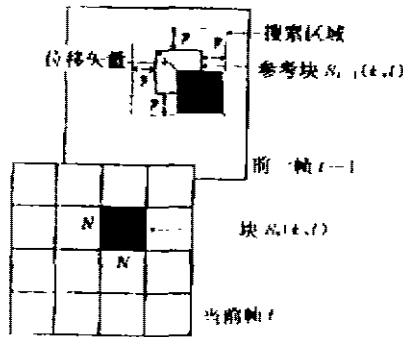


图 1 当前帧 t 和前一帧 $t-1$ 间的块匹配示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the block-matching algorithm

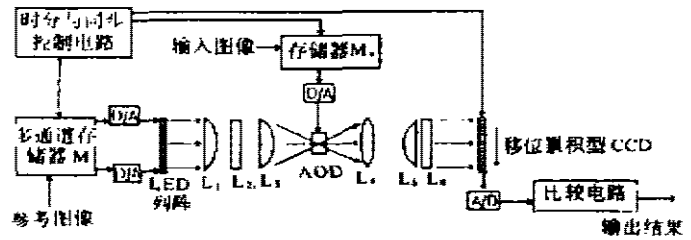


图 2 块匹配算法光电混合系统示意图
Fig. 2 Schematic diagram of optoelectronic hybrid system for the BMA

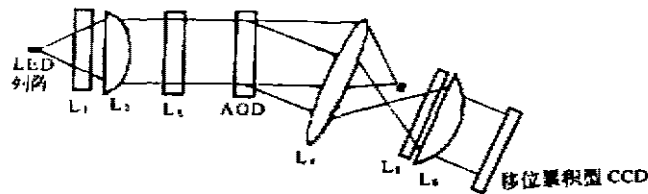


图 3 光路俯视图
Fig. 3 Top view of optics

(见图 4). AOD 孔径中 LED 阵列的像经一级衍射光通过球面镜 L_4 、柱面镜 L_5 和柱面镜 L_6 再成像于移位累积形 CCD 的接收面上, 零级光在球面 L_4 的后焦面上被挡住. 选取光具组使 LED 中每一发光单元所成的像位于 CCD 不同扫描线上, 即 LED 的发光单元与 CCD 的扫描线是一一对应的, 显然需要 $M \times N$ 个光敏元.

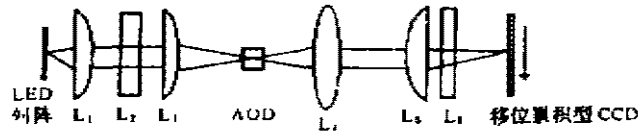


图 4 光路的旁视图
Fig. 4 Side view of optics

当输入图像的某一行信号全部输入 AOD 时, 参考图像的所有信号才开始并行读出, 并驱动相应的 LED 发光单元, 参考图像的行持续时间 T 不能大于输入图像的行消隐时间. 为保证所有行参考信号完全与输入到 AOD 中的一行输入信号相关, 声波持续时间应等于输入图像的行持续时间, 这样, 输入图像的一行信号在 AOD 中与参考图像的所有行信号才能完全相关. CCD 上不同的扫描线接收不同的相关值

$$c(\tau, m) = \int_T g(t - \tau) f(t, m) dt, \quad (4)$$

这里, $\tau = x/v$, x 为声波传播的距离, 即相关峰的水平位置, v 是声波的传播速度, $c(\tau, m)$ 是输入图像的一行与参考图像中第 m 行间的相关值. 在下一行信号输入前, CCD 中每一扫描线上的电荷向下移动一个像素就完成一次积分, 这种操作重复进行, 电荷在扫描线上累积的最后结果即为参考图像与输入图像的二维相关值, 可表示为

$$c(\tau, n) = \sum_{n'-n-M+1}^n \int_T g(t - \tau, n') f(t, n' + m - n) dt, \quad (5)$$

式中 n 为相关峰的垂直位置. 若参考图像在输入图像中的中心位置是 $\tau = \tau_0$ 和 $n = n_0$, 则输出的相关峰位于 x 处和 $n_0 + M$ 的行上(因为相关峰有 M 行延迟).

2.2 电路系统

本系统需要具有 M 个读取通道的存储缓冲器 M_1 来存储像素为 $M \times M$ 的参考图像, 参考图像的每一行信号各通过一个通道读取出来, 经过高速转换器 D/A 转换成模拟信号, 从而触发相应的 LED 发光单元. 具有 N 个像素的输入图像需存储在一只单通道的存储缓冲器 M_2 中, 行信号读出后经过一高速转换器 D/A 触发 AOD. 参考图像的行信号与输入图像的行信号相关运算结果由移位累积型 CCD 读出, 输出的信号通过高速转换器 A/D 转换成数字信号后, 可以由专门设计的比较器得到相关峰的位置. 工作时, 时分和同步控制电路协调缓冲器 M_1 、 M_2 以及 CCD 的频率匹配.

对于像素为 240×256 、帧速为 15Hz 的视频电话图像(每一帧被分成 16×16 个块, 每一块有 16×16 个像素), 要实时实现完全搜索块匹配算法(搜索区为 32×32 个像素), 需要具有 16 个发光单元的 LED 阵列(功率 $P \approx \mu\text{W}$)、入射孔径 $A \geq 3\text{mm}$ 的 AOD 和具有 16×32 个光敏元的移位累积型 CCD 及电路系统, 各器件的主要参数见表 1.

表 1 像素为 240×256 、帧速为 15Hz 的视频电话图像, 实时实现完全搜索块匹配算法的光电混合系统的主要参数
Table 1 Main specifications of the real-time optoelectronic hybrid system for the FS-BMA for videophone with pixels 240×256 and rates 15Hz

	频率	行信号延迟时间	行信号的消隐时间
LED	115 KHz	2 μs	6.68 μs
AOD	115 KHz	6.68 μs	2 μs
M_1	1.84 MHz	2 μs	6.68 μs
M_2	3.68 MHz	6.68 μs	2 μs

2.3 系统的适用范围

对于像素为 240×256 、帧速为 15Hz 的视频电话图像, 基于声光相关器的光电混合系统实时实现完全搜索块匹配算法的优点是显而易见的, 但由于受到声光器件 AOD 入射孔径限制^[10], 此系统只能处理像素不太多的图像, 如视频电话图像、电视会议图像等, 而对于像素很大的高分辨率电视图像(HDTV), 由于需要的 AOD 的入射孔很小(几十微米量级), 参考图像和输入图像间的积分时间太短, 此系统是不适用的.

3 结论

本文基于声光相关器提出了一种能实时实现视频图像压缩完全搜索块匹配运动补偿算法的光电混合系统, 此系统与全数字电路相比具有以下优点: (1) 系统的组成器件发光二极

管(LED)、声光调制器件(AOD)和接收器件 CCD 的速度很快,使该系统具有并行处理数据的能力;(2) LED、AOD 和 CCD 在技术上已相当成熟,且价格便宜,所需的电路不复杂、可降低结构的复杂性、功耗和成本.但对于像素很大的高分辨率电视图像(HDTV),此系统不适用.

参考文献

- 1 Musmann H G, Pirsch P, Grallert H J. *Proc. IEEE*, 1985, 73: 523~548
- 2 Vos L D, Stegherr M. *IEEE Trans. Circ and Syst.*, 1989, 36(1): 1309~1316
- 3 Komarek T, Pirsch P. *IEEE Trans. Circ and Syst.*, 1989, 36(10): 1301~1308
- 4 Yand K M, Sun M T, Wu L. *IEEE Trans. Circ and Syst.*, 1989, 36(10): 1317~1325
- 5 Hsieh C H, Lin T P. *IEEE Trans. Circ and Syst. for Video Tech.*, 1990, 2(2): 169~175
- 6 Jong H M, Chen L G, Chiueh T D. *IEEE Trans. Circ and Syst for Video Tech.*, 1994, 4(4): 407~416
- 7 Yoshisa A, Reif J H. *Proc. IEEE* 1994, 82(6): 848~954
- 8 Casasent D. *Proc. IEEE* 1979, 67(5): 813~825
- 9 Molley P A, Kast B A. *Opt. Eng.*, 1992, 31(5): 956~970
- 10 徐介平. 声光器件的原理、设计和应用, 北京: 科学出版社, 1982

OPTOELECTRONIC HYBRID SYSTEM FOR THE FULL-SEARCH BLOCK-MATCHING ALGORITHM

Wang Kangwen Wang Ruli Yan Yixun

(*Optoelectronic Engineering Research Center, Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China*)

Abstract An optoelectronic hybrid system based on acoustic-optical correlator is presented, which can implement the full-search block-matching motion compensation algorithm (FS-BMA) in real time. Compared with full digital circuits, it has the following advantages: (1) it has enough bandwidth to perform highly parallel operations; (2) circuits which the system requires are not complicated. So the required power, cost and complexity of the system are reduced. The limitations of the system are also discussed.

Key words block-matching algorithm, optoelectronic hybrid system.