

以流水线实现图像实时滤波

戚飞虎 吴海山

(上海交通大学, 图像处理与模式识别研究所, 上海, 200030)

摘要: 提出一种以流水线 (PIPELINE) 实现数字图像的近实时滤波处理方法。被处理图像可以来自 VDI (摄像输入)、FB (帧存图像) 或 VPI (流水线输出) 图像。滤波器的频率特性以数字化仪人机交互实时输入, 同时估计滤波器的若干空间域系数, 再以流水线实现此空间域滤波。

关键词: 图像处理, 实时滤波, 流水线。

引言

图像的数字滤波是常用的图像处理技术, 例如边缘检测滤波^[1]、图像恢复反卷积^[2]及其它处理方法^[3]。随着技术的发展, 要处理的信息量越来越大, 人们对处理速度的要求也越来越高。并行处理、流水线处理的应用使得以前较难以实现的图像处理得以迅速完成, 甚至能实时或近实时地实现。对于 ITEX150/151 图像处理流水线来说, 如果卷积核的尺寸大小为 $3 \times 3 = 9$, 则处理这样一个核与 512×512 的数字图像的卷积大约需要 9 个电视帧扫描时间, 也就是 $9/30 \approx 1/3$ s。

图像处理最终质量的好坏往往由观察者的主观评价来判定, 这就使得滤波器和设计没有一个确切的定量的标准。一般是由观察者比较滤波结果, 以评价两个滤波器的优劣。所以, 往往希望极快速地做大量的试验。为此, 我们提出了一种灵活方便的近实时的数字化仪输入式图像流水线滤波。

本文描述了实时图像处理系统的硬件设备环境, 介绍图像处理流水线, 着重介绍了滤波器的近似实现方法, 并较完整地叙述了滤波器函数的输入和时域卷积核的近似计算, 以及时域核元素输入流水线常数寄存器前的各种预处理等。

1 实时图像处理系统

图像的实时滤波方法必须由实时图像处理系统硬件支持, 硬件系统是由中央处理机与图像处理器再配上必要的外围设备构成, 如图 1 所示。硬件系统中的关键设备是图像处理器^[4], 它应具有模拟/数字输入输出转换器 (ADI)、帧存贮器 (FB)、流水线处理器 (ALU)

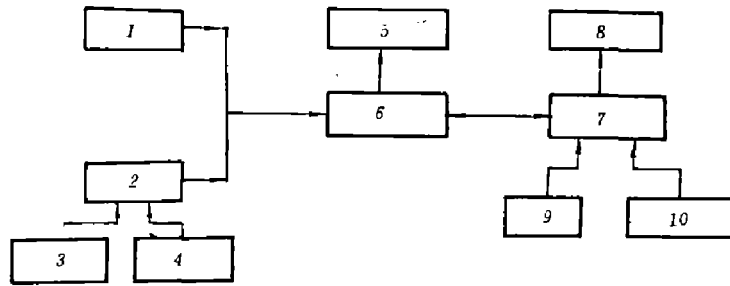


图 1 硬件系统

- 1: 摄像机, 2: 转换接口, 3: 红外热像仪, 4: 行扫描仪, 5: 图像显示器,
6: 图像处理器, 7: 中央处理器, 8: 字符显示器, 9: 键盘, 10: 数字化仪

Fig. 1 Hardware system

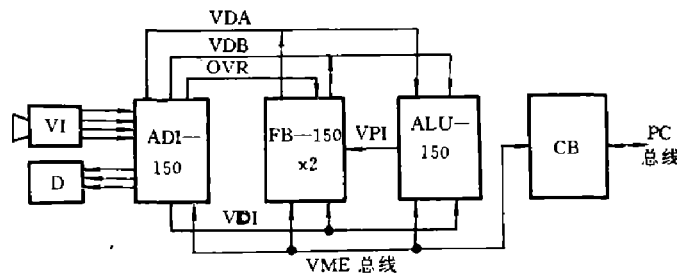


图 2 图像处理基本配置框图

- VI: 视频输入, D: 显示器, ADI: 模拟/数字输入输出转换器, FB: 帧存贮器,
ALU: 流水线处理器 (算术逻辑单元), CB: VME 总线/PC 总线转换板,
VDA: 来自 A 存储器的视频数据, VDB: 来自 B 存储器的视频数据,
OVR: 图形重迭总线, VDI: 视频数据输入总线, VPI: 视频流水线数据

Fig. 2 Skeleton diagram of image processor's basic configuration

等处理模块。图 2 为图像处理器的工作流程图。

ADI 的基本功能是连接摄像机和显示器并产生时序信号及模块的中断, 图像量化成 256 级灰度。FB 中至少有一个 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 的帧存 (称为 B 帧存) 和一个量化级大于 256 的 A 帧存, A 帧存用来作为累加器, 根据滤波器精度的要求以及美国 Imaging 公司的系列产品, A 帧存取为 $512 \times 512 \times 16\text{bit}$ 。ALU 是流水线算术逻辑运算器, 它能以流水线方式完成极快速的图像 (8bit) 乘图像 (8bit)、图像 (8bit) 乘常数 (8bit)、图像的加、减、OR、AND 等算术逻辑运算以及图像灰度的线性及循环移位等功能。为便于说明, 我们在图 3 中简化了 ALU 流程图。

参看图 3, 有 6 路图像输入可供选择, 即 VDB (B 帧存)、VDI (ADI 摄像输入)、VDA (15:8) A 帧存高 8 位、VDA (7: 0) A 帧存低 8 位以及 VDI (15: 0) 的高、低 8 位, 还有 4 个常数输入端 K_1 、 K_2 、 K_3 和 K_4 , 均是 8bit 常数, 可以设置为 SIGNED 或 UNSIGNED。6 路图像输入和 4 路常数输入均是由 INCON 寄存器控制作用, 切换至 I_1 、 I_2 、 I_3 和 I_4 线上, 再由 VBCON 寄存器将 I 线切换至 W-BUS, X-BUS, Y-BUS 及

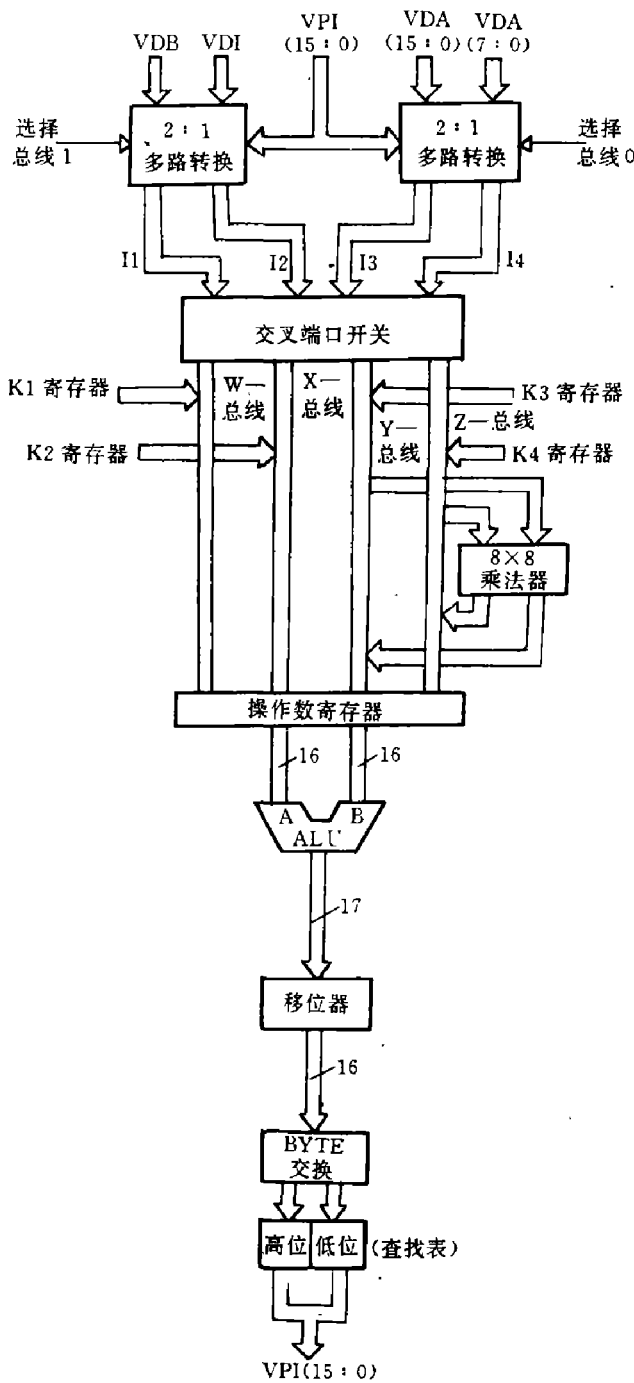


图3 ALU的简化流程图(除注明外, 所有数据通道均是8位)

Fig. 3 The simplified flow chart of ALU

Z-BUS上, 在Y-BUS和Z-BUS之间还设有一个 8×8 位的乘法器, 乘法器可以由寄契器置为ENABLE或UNENABLE状态. ALU可以执行16种算术逻辑运算, 每次由ALUCON寄存器选择其中的一种运算执行. 在做卷积累加处理时, 则运算方式置为A-PLUS-B状态, 下面BARREL SHIFTER执行图像灰度值的左右线性或循环移位, 左移 S 位等于乘以 2^S , 反之右移 S 位则等于除以 2^S , 其中 S 是小于16的正整数. 当卷积核的增益(定义为所有核元素之代数和的绝对值)大于1时, 为了使结果图像灰度仍然可以以8bit表示, 以在图像显示器上显示, 即显示成观察者容易理解的结果, 必须要用到移位功能.

以上简单地描述了一下图像处理系统和基本构成, 对关键设备图像处理器中的ADI、FB及ALU分别作了介绍, 有兴趣的读者可以参考Imaging公司150系列处理器产品资料^[4].

2 滤波

滤波器的特性通常是在频域中给出的, 如文献[1]中给出的边缘检测滤波器就是根据指标要求在频域中给出滤波器频率特性, 再与待处理图像的傅氏变换相乘, 最后再求傅氏逆变换量化等, 得出滤波器的输出. 显然, 这种方法很费时, 特别是图像尺寸较大(如 512×512)时, 不但对时间、而且对内存也有更大的要求, 即使考虑了频谱的对称性, 仅频域数据就需占1兆字内存, 一般微机的内存和速度都很难胜任. 为解决这两个问题, 我们提出一种极快速的滤波实现方法:

首先由用户给出滤波器的指标参数, 得出滤波器的频域特性函数, 或者由数字化仪输入滤波函数, 这种输入方法快速、方便、灵活, 特别适用于工程应用.

流水线处理是在时域中进行的, 处理耗时是与时域卷积核的大小成比例, 与卷积核中的元素个数 N (值为零的元素除外)成正比, 大约为 N 个电视帧扫描时间, 即 $N/30s$,

因此要提高处理速度, 必须使 N 尽量的小. 好在对图像滤波器来说, 均可以认为是时限的, 即时延大时幅值会变小, 因此, 以少量的低时延元素作为滤波器时域函数的近似是可以接受的, 误差并不太大.

对于图像滤波来说, 滤波器通常具有某种对称性, 如圆对称、轴对称等, 这时我们可以很方便地以数字化仪一维滤波函数来合成二维图像滤波函数. 为了简化滤波器的运算, 我们先求出一维滤波函数的时域函数近似, 如果采用均方差最小准则, 则此近似函数即是滤波频域函数逆变换的前 τ 个元素, 其中 τ 是个比较小的大于 0 的整数. 由于不要求整个的逆变换函数, 所以不需要做 FFT. 另外, 考虑到滤波频域函数的平滑性, 而且近似以后的时域函数的频谱是相当平滑的, 我们可以以很少的运算得到近似的时域滤波函数, 因为两者均是较平滑的. 所以在以匹配方法求时域的 τ 个系数时, 可以大大减少运算点. 如长度为 512 的频域函数应有 256 个点需计算, 因为平滑性, 我们可抽取少量的点 (64、32 或 16 个点) 进行运算, 而不致于引起较大的误差.

当一维空间域的 τ 个系数求出后, 按照对称性求出二维图像卷积核各元素, 求出的核中可能有实元素, 这时尚不能直接用于流水线处理, 因为流水线的常数寄存器只接受 0~255 的整数. 所以, 首先须将核中各元素转化为正数且各元素均不超出 0~255 的范围. 对于多数图像的滤波处理 (边缘检测滤波除外), 都希望处理后的图像平均亮度保持不变, 也就是说卷积核中所有元素的代数和为 1. 因此, 我们应先将核中各元素遍乘一个数 (不妨以 D 表示) 后再取整, 量化为整数, 其中 D 应该取为 2^S , S 为整数. 通常在处理完毕以后再将结果除以 2^S 便会得出正确的结果, 但有时会出现一些错误, 必须给予注意. 一是流水线的常数寄存器是 8 位, 因此, 各元素乘以 2^S 再取整后的绝对值不应大于 255. 如果大于 255, 则应该分作多步做, 将此数拆成两个或多个绝对值小于 255 的数; 二是 FB 的 A 帧存最多能使用到 16 位, 而 A 帧存是作为累加器使用的, 在做滤波处理时, 二维核数组 (共 P 个元素) 首先被编排成一个一维序列 $\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_p\}$. 因为被处理的图像常常是以 8bit 表示的, 所以前 q 个系数的代数和的绝对值应小于 256, 即
$$\left| \sum_{i=1}^q f_i \right| < 256,$$
 其中 q 为 $1 \sim p$ 中的任意整数, 如果不满足则可以调整 $\{f_i\}$ 的排列顺序或采用上一点所说的拆开再调整排列等措施; 三是若原始核的元素的代数和为 1, 但各元素分别乘以 2^S 再量化为整数后的各元素代数和可能不正好等于 2^S , 这时处理后的平均亮度会有少量的改变.

以上方法已编成实用程序在 ITEX150/151 系统上运行, 速度极快, 做一个 5×5 的卷积滤波大约需 1s, 做 3×3 或 2×2 的卷积滤波更快. 在以数字化仪人机交互输入时, 也仅需加上交互时间, 因为人机交互的速度相对计算机来说是较慢的. 在交互移动时, 计算机在接收输入时仍有时间进行参数计算, 等输入完毕以后, 参数计算也已接近完成.

3 结论

本文提出了利用 ITEX150/151 图像流水线处理器进行近实时图像滤波的实用的方法, 完整地描述了从滤波器数字化仪的手动输入到流水线上实现的全过程.

参考文献

- 1 顾福年, 吴海山. 通信学报, 1986,7(6):85~91
- 2 Wu Haishan (吴海山). *IEEE Electron. Device Lett.*, 1990,26(5):1183~1184
- 3 Pratt W K. *Digital Image Processing*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987
- 4 *SERIES ITEX 150/151 MANUAL*, The Imaging Technology Incorporated, 1986

REAL-TIME IMAGE FILTERING USING THE ALU PIPELINE

Qi Feihu, Wu Haishan

*(Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University,
Shanghai 200030, China)*

Abstract: A pipeline filtering algorithm for digital images is presented. The procedure is nearly real-time. The VDI (from camera), FB (frame buffer) and a VPI (output of pipeline) can be selected as the input of the filter. The filter function is changed by using the tablet and the spacial coefficients are estimated. Thereafter, the filtering is completed by the ALU pipeline processing.

Key words: image processing, real-time filtering, pipeline.