

实时图像分类在工程中的应用

刘 洵

摘要: 本文评述了采用数字图像处理方法进行图像分类的特点,指出了在动态、实时环境中实施此项技术的难点及解决这些难点的几种方法。最后介绍了作者参加的一项工程任务,其中应用了以 TMS320 器件为核心的视频处理器,对空中飞行目标进行实时分类,满足了光测设备进行实时跟踪与测量的需要。

一、前 言

在当今社会存在的多种信息中,图像信息是一种最直观,也最能充分利用人的视觉功能反映客观世界的信息表现形式,广泛地存在于各个领域,对它的处理,尤其是进行实时处理,更具有重要的实用价值。如在工业生产流水线上,通过对工件的模式识别,来构成自动装配系统;在军事上,通过对跟踪目标的实时处理,可构成各种跟踪、瞄准系统。可以说,实时图像处理是提高现代科技与生产智能化水平的一个关键环节。

实时图像分类是实时图像处理的一个分支。它的作用是将人们所感兴趣的目标从多级图像中分离出来,形成只含有目标与背景的二值图像。它是实现目标跟踪与控制的一个重要环节。从实时图像分类的处理方法上讲,可分为模拟与数字处理两种。两者相比,模拟处理速度快,但功能有限,可靠性差、调试困难。数字处理除了具有灵活性强、稳定可靠、精度高等特点外,更主要的是它适宜于计算机处理,可最有效的利用计算机及有关的各种先进技术。因此,数字处理方法已成为深受人们喜爱的处理手段。

然而,由于图像信息量大,再加上受图像传感器扫描体制的限制,进行实时处理是很困难的。以一幅 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 的图像为例,它含有25万多个像素,要在毫秒级的时间内对它进行实时分类,是一项十分苛刻的要求。它需要计算机必须有足够大的吞吐量及运算速度。长期以来,受计算机性能、体积、价格的限制,数字处理方法尚不能在许多实际中应用。

七十年代诞生,八十年代迅猛发展的微型计算机技术,使计算机在性能、灵活性、体积和价格上得到突破性进展。它与LSI、VLSI技术的日新月异地进步,使数字图像处理技术在实时、动态环境中的应用成为可能。

二、实时图像分类与所需的硬件

实时图像分类与通常的图像分类的区别在于它要求具有实时性。所谓实时性就是必须具有在限定的时间内对外界变化予以响应的能力。这一限定时间与对象的变化速率直接有关。对慢变化的对象,限定时间较长,反之则较短。

实时图像处理系统中的图像传感器通常为每秒25帧的电视摄像机。因而,要求实时图像

处理系统必须能在毫秒级的时间内,对图像变化予以响应。虽然,微型计算机的出现,其小巧的体积,优良的性能价格比为图像处理提供了重要的手段。但其沿用传统的冯·诺伊曼式计算机结构(单指令单数据流)所带来的严重瓶颈效应,大大地限制了它在实时处理中的应用。通常低层次的图像处理一般要求每秒 10^8 — 10^{10} 条指令的计算吞吐量,即100—1000MOPS(每秒百万条指令)。如此高的速率在通常的计算机上是无法实现的。例如,国外著名的Cray-1(国产银河巨型机参照机型之一)大型通用机,仅具有80MOPS。因此,为满足高速实时领域中的实际需求,必须寻求摆脱传统的冯·诺伊曼式结构束缚的新型计算机。近十年来,美国、西欧、日本等各大公司一直致力于这方面的研究。根据并行处理思想,相继开发了新型的计算机结构。如时间上并行的流水结构;空间上并行的阵列结构及多处理机结构等。

目前,在实时图像处理中,比较适宜的硬件大致有以下几种:

1. 位片式微处理器

位片式微处理器是一种积木式大规模集成电路。通常的微处理器一般都是单片结构,具有固定的指令系统。位片式微处理器完全是另外一种模式,它的结构可由用户自行组织,系统可大可小,指令系统也完全由用户确定,因而可裁掉不必要的指令,高效地实现特定的运算。另外,处理器的字长可变。根据需要可将若干个4位字长的独立芯片级联起来,使之具有16、32甚至更高位数据字长的处理能力。这种级联对运算速度几乎没有影响,这是通常计算机系统很难实现的。

美国先进微器件公司的AM2900系列,是这类处理器的典型产品。

2. 阵列处理器

阵列处理器实质上是一种并行流水结构,其处理器是由若干个处理单元(PE)组成的矩形阵列。它的处理过程是,数据同时送入处理器阵,处理任务分散给每一个处理单元,同时并行处理。因而,这是一种高效的处理器结构,它可提供很高的数据流通能力,并大大地减少了对存储器带宽的要求,是一种通过能力、速度、功能较强的数字信号处理设备。典型的 64×64 单位处理器阵列其性能可达每秒50G二进制运算次数^[1],这对许多复杂的实时图像处理问题已足够了。另一个典型例子是美国Good year公司推出的巨型并行处理器,它具有 128×128 个处理单元,其16位整数加法的速度达到3000MOPS以上,用于合成孔径雷达的图像处理^[2]。

3. 数字信号处理器(DSP)

随着VLSI技术的发展,集成电路水平已从最初的与非门、加法器、乘法器而发展到能在一块芯片上集成 10^6 以上个门的巨大规模的芯片。这样,把一些专用功能集中在一块芯片上的设想已成为现实。由此而产生了各种数字信号处理器:数据流图像处理器、几何与算术并行处理器、乃至功能更加专一的相关器、卷积器、滤波器等。实际上这些处理器,都是为了以尽可能快的速度执行大多数常用的数字信号处理算法所要求的加、减、乘和移位运算,而作了最佳化设计的缩减指令计算机。较新的数字信号处理器中的大多数芯片都能在大约100ns的单周期内完成乘/累加操作。这比大多数通用芯片快1—3个数量级,例如,目前较高级的通用CPU,时钟16MHz的80386,16位加法时间为125ns,16×16位乘法大约需要1250ns;而更通用的5MHz时钟的8088,执行同样的指令需要32000ns。

在这些数字信号处理器中,美国德克萨斯仪器公司的TMS320系列产品很引人注目。它采用改进型的哈佛结构,使取指令与执行指令能同时进行,具有很高的效率。它的片内乘法

器具有500万—1000万次/秒的乘法速度。特别是对于一些算法所要求的特殊寻址方式被列入指令集中,因此非常适用于图像处理、语音处理与识别、雷达和声纳信号处理等。TMS320系列中的高档产品还具有浮点处理能力。

现在,数字信号处理器芯片在结构的复杂性、完善化及性能方面将要胜过最早的阵列处理机。但其在价格、尺寸、重量、功耗方面却比阵列处理机低三个数量级。非常适合在现场、野外等环境中应用。

适用于数字图像处理的各种先进器件与手段的提供,使数字图像处理技术摆脱了依赖于大型计算机的状态,并使实时处理成为现实。目前在卫星通讯、跟踪制导等实时性要求很高的场合都有着广泛的应用。

三、实际应用

实时图像分类在实际中的应用很广。用于某中型激光电视电影经纬仪中的电视跟踪系统,就是实时图像分类技术在实际中应用的一个典型例子。它要求其中的视频图像处理器,必须在每秒40Hz的场频速率下,对摄像机送出的视频图像做 $256 \times 256 \times 6\text{bit}$ 的采样变换及处理,将跟踪目标从背景中分离出来。它必须实时响应每秒40Hz的图像变化,在下场图像变化之前,完成对本场图像信号的处理。

这一要求在八十年代初提出,当时实施起来是很困难的。受当时的元器件水平及供货渠道等因素的限制,没有现成的高速微机可供利用,专用数字处理芯片更谈不上。因此我们最先曾用位片式微处理器组装了第一台样机。该位片式微处理器,以4片4位字长的运算芯片74S481构成十六位运算器,再配之以AM2910微程序控制器、微程序存储器,外加各种专用存储器、寄存器等组成。系统的设计完全是根据实际需要确定的。为突出该处理器的高速性与灵活性,硬件上采用可编程序控制和一级流水线结构。软件上选用执行速度快的水平式微指令设计原则,微指令字长55位,微指令周期200ns。通过软、硬件设计上的相互协调,强化了专用功能,其处理速度已达到了实时分类要求。通过外场实验表明,位片式微处理器结构规整、简单、性能可靠。这一实际原型样机的研制成功,为下一阶段的系统功能改进与完善,奠定了基础。

数字信号处理器的问世,又提供了新的处理手段,它的灵活性与高速性及开发调试设备的齐全,大大方便了使用。于是,又研制了以TMS32010数字信号处理器为核心的视频图像处理器。

处理器的结构如图1所示。其工作原理可简述如下,首先由高速A/D变换器,将经过预处理后的视频图像信号变换成 $256 \times 256 \times 6\text{bit}$ 的数字化图像信息。然后送入具有灰级统计功能,并能以40Hz场频速率逐场更新的直方图存储器。数字信号处理器依据图像灰级统计分类法,对直方图进行分析,判断出哪些像素属于目标,哪些属于背景。判别准则存放在分类表存储器中,作为下一场图像信息实时分类的依据。分类表存储器根据直方图的变化逐场更新,以实时跟随图像和背景的变化,确保图像分类的正确。

由于数字信号处理器高度的集成性及处理速度,减少了外围电路的复杂程度。几个主要单元有:

- (1) 数字信号处理器TMS32010。它是图像处理器的核心部件,主要特点:
 - 200ns 指令周期

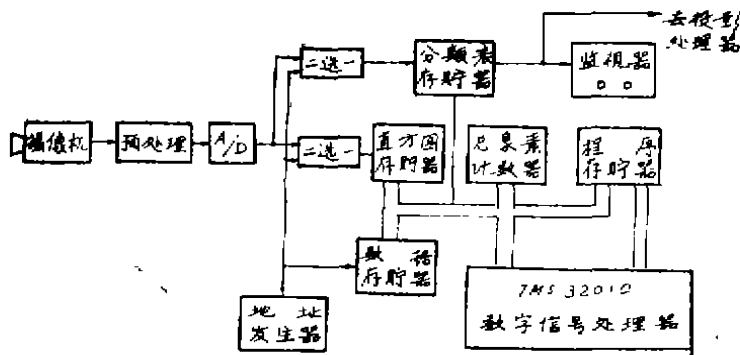


图1 视频处理器框图

- 288字节的片上数据RAM
- 16位指令/数据字
- 32位ALU/累加器
- 16位硬件乘法器，执行时间 200ns
- 12根地址线
- 8个输入/输出通道

它根据图像灰级统计分类算法，对直方图中的灰级统计信息进行处理，得出自适应分类门限，并将其存入分类表存储器。

(2) 程序存储器容量为 $4k \times 16\text{bit}$ ，采用 27c64EPROM，其内容为已经固化的程序指令码。它由数字信号处理器的12根地址线寻址，读出的指令可直接进入数字信号处理器的指令/数据端。

(3) 数据存储器作为数字信号处理器片上数据RAM的扩展空间，用于存储运算常数及处理结果等。

(4) 直方图存储器与总像素计数器，是基于图像统计分类算法要求而设置的专用硬件。由硬件来完成图像信息的灰级统计，可减轻数字信号处理器的负担，提高处理速度。

(5) 分类表存储器容量为 $64 \times 1\text{bit}$ ，里面存放处理后得出的灰级判别准则。将经A/D变换后的像素灰级作为地址查表，可实时得出一幅背景与目标分离的二值图。这幅二值图一路送监视器显示，另一路送投影处理器计算出目标的位置信息，馈送给伺服系统，从而实现对目标的自动跟踪。

视频处理器的处理流程，在电视场扫描的回扫期间（2.62ms）执行，整个处理时间不超过2ms。该程序流程图见图2。

采用该视频处理器的电视跟踪系统与经纬仪已联调完毕。于1989年底在长春大房身机场进行了外场跟踪试验，对各种姿态及光照条件下的飞机进行了实时跟踪测量，取得了满意的效果。实验表明：视频处理器工作稳定、性能可靠、灵活性强。这充分显示出数字图像处理技术在实时、动态环境中应用不仅可行，而且大有潜力。

四、结论与讨论

由于各种数字信号处理器的问世，数字图像处理技术已显示出愈来愈多的优越性。它在

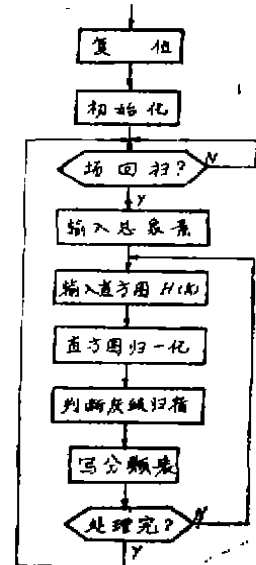


图2 程序流程图

实时图像处理方面得到了普遍重视与应用, 我们已成功地应用 TMS32010 构成了视频处理器, 满足了光测仪器电视自动跟踪的需要。

随着 VLSI 和计算技术的进一步发展, 在实时图像预处理如去噪声、边缘锐化等方面, 采用数字处理手段也成为可能。例如英国 INMOS 公司推出的 IMSA100 就是一种高速、高精度的可级联32位横向滤波器。它能以视频速率进行离散傅立叶变换、卷积、相关等运算, 它的应用将大大提高图像预处理电路的可编程性及稳定性, 使整个图像处理系统向简洁、规范、灵活、高精度方向发展。

此外, 随着科学技术的迅猛发展, 人类对于自然界所需求愈来愈深入的了解与探索, 对计算机的速度要求仍在不断增长。通过在芯片上增加集成度的方法, 已不可能满足无休止的要求, 必须在计算机结构上有所突破。目前, 人们正在瞩目一种称之为 Transputer (传输型计算机) 的新型结构计算机的发展。Transputer 芯片上除了有定点运算 (T800 还有浮点运算部件) 和片上 2kB—4kB 存储器外, 对于海量并行处理来说, 最有吸引力的是另外两个原因: (1) 它有四条输入/输出双向通道。这四条通道很容易和邻近的 Transputer 实现点对点的通讯, 级联的数量不受限制, 因而可以轻易地组成并行处理系统及巨型机。

(2) 开发了 OCCAM 语言, 用以支持由 Transputer 构成的并行多机系统。这种语言很适宜编写过程与过程之间通讯的程序。对长期以来高速并行处理在软件上所产生的瓶颈, 是一个很大的突破。

迄今为止, 英国的 INMOS 公司已生产了 IMST212 (16位)、IMST414 (32位)、IMST425 (32位) 和 IMST800 (32位加64位浮点运算) 等几种处理器。国内对 Transputer 的研究与开发也正在进行中。可以预料, 九十年代 Transputer 或同样类型的并行处理系统必将成熟地应用于实时图形处理等海量、高速运用领域。

本工作是在于前洋研究员指导下完成的。在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] R. J. 奥芬主编, 《图像的并行处理技术》, 科学出版社 1989
- [2] Paul. A. Gilmore, SPIE, 431. 1983
- [3] 李三立, 小型微型计算机系统 1990年, 4期

Real-time Image Classification and Applications in Optical Engineering

Liu Xun

Abstract

This paper describes the features of the image classification by the digital image processing method, the difficult points in adopting this technique in dynamic and real-time environments, and measures of overcoming these difficulties. Finally a practical experience which the outhor was nvolved in is introduced, in which TMS320 device was used as the key element of a video processor to classify the image of the flying target in real time satisfactorily.