

声信号处理新进展

Progress in Acoustic Signal Treatment

侯朝焕

(中国科学院声学研究所, 研究员 北京 100080)

随着超大规模集成电路(VLSI)技术的发展,各种单片数字信号处理(DSP)产品应运而生,并且朝着处理速度更高、并行处理能力更强、处理功能更加完善的方向发展。DSP 芯片大大推进了声信号处理的数字化进程。为了适应当前新一代的声信号处理技术的需求,发展新一代的超高速计算系统是必由之路。在发展超级并行流水的信号处理系统中,阵列处理是主流方向。世界各先进国家均已建立了适用于高速信号处理的阵列信号处理的原型机,完成了象自适应波束形成等类型的超级处理运算。随着微电子技术的发展,其必然的方向是努力将阵列信号处理机集成到芯片上去。近年来数字系统集成技术已取得长足的发展,例如,美国已将 64 个神经元集成到单个芯片上。声学所在国内首先开展了数字系统集成的工作,已完成的快速付里叶变换(FFT)运算专用芯片、数字波束形成芯片、自适应波束形成芯片等设计,均已达到单片运算速度 10 亿次/秒左右,约等于国内常用的 320C25 和 320C30 的几十片的功能。

一、先进声信号处理需要超高速计算

数字滤波和快速傅里叶变换的数字信号处理技术,在 70 年代有了飞速发展,80 年代已深入到各工程技术领域,它们为声信号处理的数字化奠定了坚实基础。当前为了获取到更深层的信息,理论和方法已经取得飞跃发展。今天的声信号处理技术,已经由现代信号处理发展到先进信号处理。先进信号处理可得到更好的性能指标,但以付出大量运算为代价。如果假定处理的数据为 N ,则经典的信号处理的乘加运算量是与 N 成正比的;现代信号处理的运算量是与 N^2 成正比的;而先进信号处理的运算量是与 N^3 成正比的。当 N 很大时,先进信号处理所需要的乘加运算量增加很快,目前的芯片技术和处理机的速度还远远不能满足先进信号处理的需求。因此,先进信号处理技术目前只能在一定局限

范围内使用,如声基阵的自适应波束形成,仅能对少数波束进行。

声信号处理的另一个特点是实时性的要求,即一边采集数据一边就完成计算。大到声纳的数字系统,需要跟上目标和载体的运动速度,数字超声医学成像系统需要跟上心脏搏动和血流速度;小到数字音响和卡拉 OK,以及数字无线通讯机、数字式录音机、声控打字机,需要跟上音乐和讲话的速度。这些都有实时处理的要求。当前一场“数字化革命”已经席卷声学学科各个领域。第五代声纳要求解决远程弱信号探测而采用十分复杂的信号处理算法;要求提高目标识别能力而采用宽带技术,从而大大提高数据采样率。在医学超声成像系统中,新一代的全数字化系统已经实现 128 通道、9 兆赫带宽的实时成像计算,即成像速度能达到心脏和血管血流变化的速度,其运算速度已超过我国一般声纳系统的运算速度。在新一代发展的语言识别、主动消声、噪声定位系统中,也都要求极高的实时运算速度。以上这些要求必须大大提高声信号处理机的运算速度。实时信号处理机是一种专用计算机,它有固定的算法和功能。它工作于现场,使用环境条件十分恶劣,因此对体积、重量、功耗、温度、振动等方面均有严格要求;再加上实时处理能力的特点,因而要求这种专用计算机具有非常高的吞吐率。今后的发展方向是通用计算机仅作系统控制和管理,声信号处理的计算是以专用的高速处理机来完成。

二、阵列处理是当前发展的主流

为了实现上述的超高速计算,当前主要的努力有两个方面。一是努力提高单个芯片的运算速度,走发展专用芯片的道路。从我们自己设计的几个专用芯片看,在相同加工工艺和芯片规模的条件下,专用芯片在算法和结构方面优化,其运算速度比通用芯片快十倍以上。另一方面是努力提高运算的并行度,即发展阵列信号处理的结构。在阵列处理机

中,采用了成千上万个完全相同的运算单元,由于并行度提高,而使运算速度大大增加。目前声学所设计的集成系统,已经具有数十个运算单元。

80年代后期,贡三元建立了阵列处理的系统理论,即首先建立信号处理算法,然后将该算法映射成为阵列结构,即用大量相同的运算单元组成阵列结构来实现信号处理算法。在时序控制方式上区分,当前的阵列结构可分为两大类。在阵列结构中的各运算单元均按统一的时钟驱动,各运算单元同步运行,称为脉动阵列。其结构特点是并行流水,就象人身体的血液循环系统一样。另一类阵列结构是异步方式工作,称为波前阵列,信息在阵列中流动的方式就好象是波阵面传播一样。阵列处理中的另一大问题是软件。由于运算单元非常多,单元之间又有频繁的通讯,这种大系统的软件设计和调试均非常复杂。

声学所已完成了59个运算结点的阵列信号处理机DSP-1。DSP-1阵列信号处理机采用VMEbus为系统主控总线,由定点处理和浮点处理两个子系统组成。定点系统选用16块DSPM-C25模板,为一维脉动式阵列结构;浮点系统选用10块DSPM-C30模板,为异步式通讯阵列结构。系统还可扩展到二维阵列结构。整机为分层式异构型多微机阵列结构,局部采用宏流水线结构和多通道总线结构,可使整机速度达到每秒13亿次定点运算和每秒3.3亿次浮点运算。

阵列机在结构上分为三个层次,即数据处理层、子系统处理层和系统管理层。数据处理层包括定点子系统的16块DSPM-C25处理模板,和浮点子系统的10块DSPM-C30处理模板。两个子系统的DSP模板各自级联,形成宏流水线结构,能够有效地以作业流水方式,达到实时信号处理的最佳状态。阵列机系统管理层,是人-机交互式会话的界面,实现对两个子系统的命令调用、任务划分、作业进程管理等一系列的系统操作。DSP-1阵列机配备了强有力的软件支持,能完成开发软件过程中的实时监控和动态调试,可在程序中设断点,可监控到每一个运算器的工作状况,这些对大数字系统的调试是必不可少的。

三、声信号处理技术的发展方向是在硅片上集成阵列处理结构

近年来微电子技术取得了长足进展,目前已经能够在单个芯片上集成数百万只晶体管。国外一些实验室采用硅圆片级集成技术,已经达到单片集成千万只晶体管的特大规模。当前微电子技术的发展速度,是大约每过一年半,芯片上集成的晶体管数量将增加一倍。因此有人预测,到2000年将实现

400兆钟频、单个芯片集成一亿只晶体管的超级芯片。由于微电子技术的发展,我们今天所使用的声信号处理系统必将发生深刻变化,单个芯片上将集成我们现在整块印刷电路板、一个机箱,甚至整个机柜的数字信号处理系统。这就是数字系统集成技术。

VLSI信号处理系统集成设计与一般的微电子工艺设计有很大不同。总的来说,它是在系统层次级上开展工作,其主要任务是完成特定信号处理功能的系统设计。信号处理算法和适合于VLSI集成实现结构间的结合,就成为数字系统集成的首要研究内容。进行这一内容的研究,需要有深入的信号处理理论和技术基础,同时也要了解VLSI电路工艺的一般规则和特点。数字系统集成是一个跨学科的研究过程,需要有声信号处理、计算机、电路设计和微电子工艺等多方面的通力合作才能完成。

数字系统集成的核心就是声信号处理理论和技术。过去的数字信号处理算法是基于通用数字计算机的。它是以通用数字计算机为背景完成的优化算法。显然,这些算法并不适用于硅片上的结构。将通用计算机上的信号处理算法,改造成为适合硅片结构特点的算法,就是VLSI信号处理的任务,它是最近几年迅速发展的信号处理领域的重要分支,也是数字系统集成的关键所在。只有在算法上充分优化,才能充分发挥出硅片上每一只晶体管的效益。

由于硅平面工艺和局部互连的要求,数字系统集成中往往采用二维阵列结构来实现并行处理。即在硅片上安排二维阵列的数十个运算结点,每个运算结点只能与相邻的运算结点通讯。各运算结点以同步方式或异步方式工作。

四、声信号处理机的系统集成

目前声学所进行的数字系统集成工作中,已经在单个芯片上集成有10多个乘法和加法运算器,它们以脉动阵的同步方式工作。并行和流水的结构使单个芯片的运算速度大为提高。由于在算法上的优化,单个芯片具有很强的信号处理功能。单芯片运算速度已能达到每秒10亿次乘加运算。利用现代成熟的微电子技术,在芯片上实现阵列结构的VLSI并行处理,是今后超高速芯片发展的重要方向。声学所已经完成的工作有:

1. 18×18位并行流水阵列乘法器

声信号处理系统中的最基本运算是乘法和加法运算,关键路径往往取决于乘法运算的速度。为了使乘法器既有较高的速度,又有较好的结构,我们采用了改型布什译码器和华莱士树结构,并将译码和加法分为两级流水实现。对于1.2微米CMOS工艺,实现了工作频率40兆的18位乘法器速度。

将该单元集成在系统中,可实现每秒 8 000 万次的乘加运算速度。该乘法器已加工完成。与芯片外部存储器构成流水运算时,实测的工作频率已达到 33 兆,即 6 600 万次/秒的乘加运算。

2. FFT 运算专用芯片

在单个芯片上集成了 11 个加法器和 3 个乘法器。与现场可编程门阵列(FPGA)形成的地址产生器共同工作,可实现块浮点的多种点数的 FFT 运算。单个 FFT 运算芯片完成 1 024 点复数 FFT 的运算时间为 125 微秒。该芯片可级联工作。如 5 片级联使用,完成 1 024 点复数 FFT 的运算时间为 25 微秒。由于在 VLSI 算法上进行了优化,采用并行流水结构,该数字集成系统达到了较高的实时运算速度,相当于 50 片 320C25 或 25 片 320C30 的运算功能,单片等效运算速度达到 10 亿次/秒。该芯片已完成设计与仿真,现已完成加工,并通过测试。

3. 数字滤波和波束形成芯片

在单个芯片上集成了 8 个乘法器和 7 个加法器。权系数可以事先存入芯片内部,一边运算的同时,一边送入新的 8 个权系数,然后新旧权系数进行切换。该数字集成系统芯片中包含有 15 个运算结点,每个结点的运算时间为 18 纳秒,因此该芯片的总运算速度达到 8 亿次/秒。由于算法上和结构

上的优化,该数字集成系统达到了很高的实时运算速度,相当于 40 片 320C25 或 24 片 320C30 的速度。该芯片已完成加工。

4. 递推滤波最小二乘芯片

该芯片采用坐标旋转(CORDIC)算法来实现最小二乘运算。在单个芯片上布置了 12 个运算结点。可用多个芯片组成阵列,实现自适应波束形成中的权系数计算。由于在算法上的优化,该芯片可实现 5 兆赫信号的实时处理速度,等效的乘法、加法运算速度亦达到 10 亿次/秒。该芯片与数字波束形成芯片一起工作,能实现声纳系统中多个波束的自适应波束计算。

五、结 语

声信号处理需要超高速计算。而当代微电子技术突飞猛进的发展,为数字系统集成提供了坚实的基础。数字系统集成的专用芯片,较通用 DSP 芯片的运算速度将提高数十倍。数字系统集成的进展,可为声系统提供超高速、低成本、高可靠性、体积小、重量轻的超级运算模块,为实现新一代的声信号处理系统奠定坚实的物质基础。它具有广阔的应用前景。

(责任编辑 肖庆山)

科技动态

利用海藻和 CO₂ 生产石油

各种燃料燃烧的废气大部分是二氧化碳,经过科学家的不断探索,现在二氧化碳不仅可以用来提炼金刚石,还可以成为生产石油的原料之一。

科学家们认为,世界上几乎没有无用的东西,二氧化碳虽然可以产生温室效应等公害,但也一定能把它变成有用的宝贝。因为,植物生长就是利用水和二氧化碳在阳光照射下制造有机物的结果。那么为何不可以用它来促进植物生长呢?

在寻找新能源的探索中,美国戈尔登科罗拉多太阳能研究所在 1988 年发现,一些藻类植物含有丰富的石油成分,这给他们极大启发。于是用一个 20 米直径的池塘培植海藻,一年之中收获的海藻达 4 吨,从中提炼出了 3000 多升燃油。

1989 年,日本一家公司(出光兴产公司)在美国的成果的启示下,提出了利用绿藻将二氧化碳转变为石油的设想。原来,他们在探索新能源中发现,有一种单细胞藻类植物,能吸收大量二氧化碳生成石油。绿藻是一种葡萄状球菌,在日本冲绳一带生长茂盛。因为这里的气候

条件特别适合这种绿藻生长。于是,从 1989 年 10 月开始,出光兴产公司开始了利用藻类的光合作用将二氧化碳生长成石油的实验研究,即将燃烧后排放的二氧化碳收集后泵送到养殖这种单细胞藻类的水池中。促使藻类迅速生长。他们预计,日本石油产品每年排放的二氧化碳量大约有 5 亿吨,如果让葡萄状球菌全部吸收这些二氧化碳,就能生成大约 2000 亿升石油,几乎相当于日本全年的原油进口量。

进入 90 年代后,利用海藻和二氧化碳生产石油的研究又有了新的进展。在英国布里斯托尔的英格兰西部大学的科学家保尔·詹金斯及其同事开始研究一种新的海藻燃料,他们把注意力放在一种普通的绿藻(Chlorella),即小球藻上,他们采用一种特制的装置放在池塘中,让小球藻加速生长。有趣的是,把这种小球藻打捞过滤后,用不着进行提炼,就可在发动机中直接燃烧发电。从发动机中排出的二氧化碳废气被泵回到小球藻养殖池内,促使小球藻生长。实验证明,如果在池塘中吹进二氧化碳气泡,可使池塘中的藻类数量一天内增加 4 倍,这样的生长速度是赤道热带雨林的好几倍。

可以预料,经过科学家们的不断努力,二氧化碳这种产生公害的气体将变废为宝,为人类的文明作出贡献。

(本刊记者 刘先曙)