

高速三维地形显示系统的体系结构*

郝建新 蔡宣平 孙茂印

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

摘要 从自行设计的专用三维地形显示的硬件和软件系统的观点出发,讨论了高速三维地形显示系统的体系结构、关键技术及其实现方法。以新一代的高速处理器 INTEL i860 为核心,采用分配树技术,解决多路并行输出产生的竞争和瓶颈问题;实现 Z-缓冲硬件算法,提高系统的图形消隐速度;设计多帧存体结构,支持多通道、多画面信息的快速显示。

关键词 高速处理, 体系结构, 分配树, 瓶颈, 消隐

分类号 TP391

在现代军事指挥自动化领域中,利用计算机系统快速地处理数字化的二维地图和三维地形图及其态势信息,在显示器屏幕上,向指挥员提供直观的、内容丰富的综合信息画面是目前急需研究的课题。这一课题的主要内容包括:

- (1) 地图/地形图数据的数字化处理及输入技术;
- (2) 地图/地形图数据库和地理信息数据库的建库与管理技术;
- (3) 数字化地图/地形图与地理信息,态势信息、军标符号等综合画面的快速生成和显示技术。

这些内容在国内已有一些单位开始了研究工作,并取得了初步成果,正向着国产化的、实用的地图/地形图处理系统的方向发展。

我们从显示处理技术的角度最为关心的是:一旦建立了实用的数字地形数据库及地理信息库(地形数据库是指根据实测的地形数据,按照一定的格式:如格网、等高线、航测等而建立的数据库;地理信息库是指按照与地形数据相对应的地理信息如房屋、公路、铁路、河流、桥梁、森林等建立的数据库),如何快速地根据这些信息以及人机对话信息生成直观逼真的三维综合信息画面,驱动高分辨率的监视器和大屏幕,供指挥员使用。这将涉及到许多技术难题,如采用什么样的体系结构?选用何种高速处理器作为核心处理单元?需要研究哪些算法?其关键是怎样提高系统的处理速度和显示的逼真效果。因为二者是相互制约的,要想达到显示的逼真效果,必将增加系统处理的信息量,影响处理速度的提高。

* 1993年12月5日收稿

1 系统的研究途径

国外已经有一些实用的数字地图处理系统，但在国内目前尚未进入实用阶段，已经开展了一些二维地图/三维地形图处理技术的研究，其关键就是如何解决既要提高处理速度又要获得显示效果好这一难题。国内目前采用的研究途径大致有以下三种：

(1) 在通用微机系统上（如 386、486 微机）插入专用加速卡，开展算法研究，开发相应的软件；

(2) 在通用图形工作站上（如 SGI 图形工作站、APPOLO 工作站等），开发专用的数字地图和地形图的处理软件；

(3) 采用多个高速处理器，自行设计专用的硬件和软件系统。

前两种途径是在已有的通用系统的基础上开展工作，由于通用系统主要考虑其通用性，涉及面较宽，其处理速度受到限制，效率较低，生成一幅效果较好的三维画面是很费时的，很难适应军事指挥领域中的要求，但进行基础算法的研究还是很好的。本文讨论的是第三种途径，立足于建立专用的硬件系统及其相应的专用处理软件。针对二维地图/三维地形图的特点，设计专用的硬软件，可大大提高系统的处理速度及效率。这样的系统专用性强，投资也大，但随着科学技术的发展，使用数字地图/地形图的部门将越来越多，例如军事指挥、航空航天、地质、水利、交通、国土规划等部门，其应用前景是光明的，开展这方面的工作也日益显得重要。因此，我们在“七·五”和“八·五”期间都开展了相应的课题。

2 体系结构中的关键技术

建立体系结构是设计一个系统的关键。二维地图/三维地形图的高速处理的基本要求是，处理速度要尽可能的快而显示效果要真实美观，为满足这些要求将涉及到的关键技术如下：

1. 采用多个新一代高速处理器（如 TMS320 系列、INTEL i860 等），按照三维地形处理的特点，组成多路并行/流水的工作方式，提高各路处理器之间通信效率，力求实现可扩充的模块化技术，提高系统的处理速度。

2. 采用硬件多重分配树技术来实现无等待的多路并行输出，解决多路并行输出时的竞争和瓶颈问题。

3. 实现硬件深度缓存消隐技术，解决三维地形图生成过程中的消隐处理速度慢的难题。

4. 建立基于多帧存体的二维/三维双通道结构，支持二维地图和三维地形图的并行处理，提高显示画面的生成速度，并实现人机对话信息与二维地图/三维地形图画面的迭加。

3 体系结构图

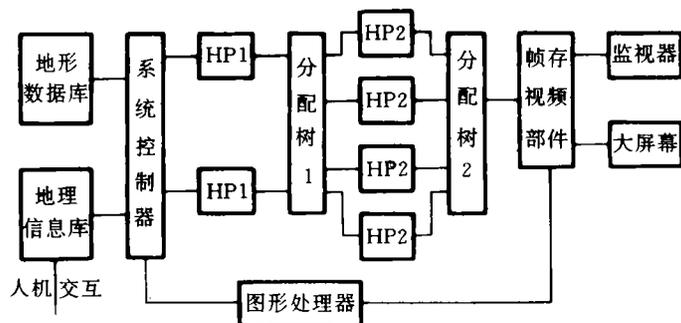


图 1

上图是一个高速三维地形处理与显示系统的体系结构图，它是一个专用系统。根据其处理任务可分割的特点，将整个处理任务分解成多个子任务进行并行/流水方式的处理。在保证任务分割合理的基础上，增加区域分割的处理手段，即采用任务分割和区域分割相结合的方法，提高系统的处理速度和效率。以下说明各部分的主要功能：

(1) 系统控制器

采用通用的 16/32 位微机系统，其主要功能如下：系统初始化和多个处理器的管理；地形数据库、地理信息库的操作与管理；系统的人机交互管理。

(2) 高速处理单元 1 (HP1)

这是系统的核心处理部件之一。每个 HP1 单元由两个高速处理器（如 TMS320C 系列、INTEL i860 等）组成，配置相应的高速存储器等，构成模块。系统的主要数据处理工作由这些模块完成，例如坐标变换、法向量计算、顶点光强计算、背面消去等等。

(3) 分配树 1

该部分主要由缓冲部件、仲裁逻辑、区域划分及裁剪电路组成，将 HP1 单元输出的处理单位（三角形或四边形）的顶点信息，按照优先级和区域界限将之处理并分配到后级相应的 HP2 单元。

(4) 高速处理单元 2 (HP2)

系统的核心处理部件之一。它由一个高速处理器（INTEL i860）、高速存储器和深度缓存器及其判别逻辑组成模块，主要完成消隐处理、插值计算与铺填处理。

(5) 分配树 2

该部分主要由缓冲部件及分配逻辑组成，其功能是将多个 HP2 单元输出的象素信息进行缓冲并快速地分配到相应的帧存储器中，这是系统输出信息的瓶颈处。

(6) 图形处理器

可采用图形处理器 TMS34010 或图形控制器 HD63484，主要支持一个二维图形通道并控制系统的显示定时。具有二维图形命令处理功能，可加工二维地图和一般二维图形

及文字画面，支持人机交互信息的显示等。

(7) 帧存、视频部件

这一部分主要由快速视频存储器 VRAM 和高速视频部件构成。帧存储器采用多体结构，保存三维地形和二维地图综合画面的位图信息，支持多重画面信息的迭加及快速切换功能。视频部件具有高速查找表功能，可驱动监视器和大屏幕。

系统的主要技术指标：

- (1) 系统处理速度：不低于 150MIPS
- (2) 画面更新速度：每秒 5 帧
- (3) 显示分辨率：1024×1024×16
- (4) 彩色/灰度等级：64K 种

4 体系结构中关键技术的实现

系统的体系结构图中涉及到了三项主要的技术：高速处理器芯片的选取与开发应用、硬件分配树技术、二维/三维双通道技术。

(1) 高速处理器的选取与开发

体系结构图中的高速处理单元 HP1 和 HP2 均是以高速处理器为核心构成的。高速处理器的速度及功能直接关系到系统的处理速度及功能，选取哪一种高速处理器是至关重要的。对目前市场上已有开发系统的高速处理器 INTEL i860、TMS320C30、T9000 等的主要性能进行比较，选定 INTEL i860 更为合适。i860 是 64 位微处理器，主时钟频率为 40MHZ/50MHZ，RISC 结构，在片 8KB 数据 CACHE 和 4KB 指令 CACHE，在片浮点处理单元，处理速度为 40MIPS 和 80MFLOPS，另有专用的三维图形处理单元，其功能极强，尤其适合于高速三维图形处理系统。

三维地形的处理方法与图形处理方法基本相同。在三维图形的处理过程中，消隐处理是特别费时的，方法有多种，各种算法均有其特点，但处理速度总是一大难题。其中深度缓冲算法是比较简单的一种，若用软件实现，其速度是极慢的。由于这一算法具有与处理次序无关、对描述对象的约束少、对数据库结构约束少三大优点，且易于硬件实现。基于这一算法的系统对于繁杂描述对象（如三维地形）的处理具有最优的性能价格比，因此，近年来已在通用的三维图形工作站中得到广泛的应用。INTELi860 处理器的在片图形单元已经实现了这一技术，只需在片外设置相应的深度缓冲器即可，这是选定 i860 的原因之一。

在三维图形的处理过程中，被处理对象的浓淡（或称明暗）处理也是极费时间的。通常一个三维形体可用若干个多边形来表示，而每个多边形又由一组顶点来表示。假定这些顶点的顶点值及浓淡值已知，采用插值算法可计算出这些顶点之间的其余各点的深度值和浓淡值，产生平滑逼真的效果。INTEL i860 的图形单元实现了 PHONG/GOURAND 浓淡处理算法，这是选定 i860 的又一主要原因。

(2) 分析树技术

体系结构图中设置了两种分配树部件，其主要功能为提高系统各级之间的通信效率，从而提高系统的处理速度。

根据三维图形/地形处理的特点,整个处理过程可以分成几个子过程来完成。如体系结构图所示,两个高速处理单元HP1处在同一级的位置上,所运行的程序基本相同,实现按区域分割或任务分割的并行处理。HP1从系统控制器接收地形数据、地理信息、人机对话信息等,经过处理后产生有一定规则的处理单位(如三角形),输出至下一级的高速处理单元HP2,四个HP2的运行程序完全相同,实现并行处理。这一级的各个HP2接收分配树1送来的处理单位的顶点信息,进行消隐处理和插值计算,处理成单个像素信息送分配树2,经分配后送对应的帧存体。HP1之间形成世界坐标空间的区域分割的并行处理,HP2之间可以是屏坐标空间的区域分割的并行处理,而HP2与HP1之间则是任务分割的流水并行处理。在上述的处理流程中,信息的流向基本上是单向的,很少有信息需要逆方向传递。信息通道中有三个关口:一是系统控制器向两个HP1传送原始数据,通常不发生竞争,由系统控制器将原始数据合理地分送两个HP1即可;二是两个HP1向四个HP2传送中间处理单位(三角形)的顶点信息,此处易发生竞争,因此设置了分配树1;三是四个HP1向帧存体传送像素信息,这是系统的信息流通的瓶颈处,因而设置了分配树2。

分配树1主要由缓冲部件、仲裁逻辑、区域划分及裁剪电路等组成。先由缓冲部件将两个HP1输出的信息缓冲,然后根据区域划分的边界和四个HP2的忙闲状态,进行边界裁剪后,分配到处于闲状态的HP2中去,整个过程由硬件自动完成。

分配树2主要由缓冲部件和分配逻辑组成。先由缓冲部件将四个HP2输出的像素信息缓存,然后根据帧存体的分体约定,快速地将之分配到相应的帧存体,启动写入时序。该过程由硬件完成。

设置分配树1和分配树2的目的是用硬件的代价获得无等待输出的效果,提高系统的传输效率和处理速度。

(3) 二维/三维双通道设置

在三维地形处理系统中,考虑到三维地形与二维地图的密切关系,往往在已经详细了解某特定区域的外貌及地理信息后,也希望知道该区域在较大的地域内的位置及周围情况,这就需要生成二维地图的功能,以便获得更多的信息。由于二维和三维画面加工速度的要求不同,且二维处理简单,三维处理复杂,为了提高系统的处理速度和效率,有必要设置二维/三维双通道。三维通道即三维地形/图形高速处理通道已在前面叙述。二维通道主要由图形处理器、帧存体、视频部件构成,其中视频部件是与三维通道共用的。

二维通道的图形处理器有两项主要功能:一是实现二维图形的处理;二是产生系统的显示定时。图形处理器直接由系统控制器管理,可与三维通道并行工作,生成二维图形画面与三维地形画面迭加显示,亦可分别显示。二维图形画面上还支持人机对话信息的显示。

设置二维/三维双通道结构的基础是要设置多帧存体,设置多帧存体的另一个因素是三维地形画面快速切换的要求。设置三个帧存体基本可满足要求,一个帧存体用于存储二维信息,两个帧存体用于存储三维地形综合画面信息。

支持三维通道的两个帧存体交替用于画面的加工与显示,使得画面加工的过程不可见,提高了画面的加工速度和显示质量。画面的加工速度往往还受到存储器芯片访问速

度的限制。考虑到这一因素以及四个 HP2 的结果需要经分配树 2 快速地传至帧存体,有必要将帧存体分解成若干个分体,按照象素的分配规律,均匀地分配到各个分体中去。

三个帧存体的显示控制均由图形控制器管理。

三维地形高速处理系统的体系结构是多种多样的,这里仅提出了一种速度快、效率高的结构。随着科学技术的发展,用更高速的微处理器构成的系统将大大提高整机系统的处理速度。

参 考 文 献

- 1 余理富,孙茂印,陈楚材. 计算机图形显示原理(硬件). 国防科技大学出版社,1989
- 2 陈振初,蔡宣平. 计算机图形显示原理(软件). 国防科技大学出版社,1990
- 3 A Multiprocessor Z-Buffer Architedture For High-Speed, High-Complexity Computer Image Generation
- 4 布鲁斯J. 沙特尔. 计算机仿真. 海洋模拟器联合公司译

Hierarchy of High Speed 3D Terrain Display

Hao Jianxin Cai Xuanping Sun Maoyin

(Department of Electronic Technology)

Abstract

From viewpoint that the hardware and the software of special 3D terrain system must be designed by ourselves, we discuss the architecture, key techniques and their realization of a typical high speed 3D terrain system in this paper. First of all we select high speed processor INTEL i860 as kernel of the system. Then we design a special unit called 'allocating tree' to solve the contention and bottleneck problem caused by mutil-tunnel outputs. Thirdly, we realize the hardware Z-buffer algorithm, by which visible surface determination can be sped. Lastly, we use mutil-frame buffer technique to support high refresh of mutil tunnels and mutil drawing bodies.

Key word high speed processing, architecture, allocating tree, bottleneck, hidden surface removing