

数字地球中新的空间划分方法

杨海林^{1,2}, 王家庆¹, 郭爱芳³

(1. 清华大学计算机科学与技术系 北京 海淀区 100084; 2. 北京航空工程技术研究中心 北京 丰台区 100076;
3. 中国航空遥感服务公司 北京 丰台区 100076)

【摘要】在构建适于飞行仿真的三维数字地球仿真系统中,对比了当前常用的等间隔空间划分和等面积空间划分两种方法的优缺点,基于间隔空间划分方法思想,提出了经度跨度加倍机制进行空间的划分。该方法通过不断地检测划分后地块的纬度线方向距离,如果该条带划分的地块纬度跨度代表的距离达到了经度跨度代表距离的2倍或以上,则减半该条带的划分数。通过经度跨度加倍方法对全球空间进行划分,保留了等间隔划分算法的优点,同时大大减少了数据冗余,并且可以有效解决视点范围内地块的覆盖不足问题。

关键词 数字高程; 数字地球; 细节层次模型; 二叉树

中图分类号 TP391

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2012.04.015

New Method of Space Partition in Digital Earth

YANG Hai-lin^{1,2}, WANG Jia-xin¹, and GUO Ai-fang³

(1. Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University Haidian Beijing 100084;
2. Beijing Aeronautical Technology Research Center Fengtai Beijing 100076;
3. China Aerial Remote Sensing Serving INC Fengtai Beijing 100076)

Abstract This paper describes a new space partition method, which is used in the construction of three-dimensional digital earth simulation system for flight simulation. Through comparing the two space division methods, the same interval and the same area, the space partition method with double longitude span is proposed based on the method of the same interval space partition. The proposed method retains the advantages of the same interval space partition method while significantly reducing data redundancy, and can overcome the problem of the incomplete coverage in visual range.

Key words digital elevation model(DEM); digital earth; level-of-detail; quad-tree

计算机软硬件、因特网的迅猛发展和数字正射影像的方便获取,促使传统二维GIS的服务走向网络化和三维立体方向发展,这就对系统传输和处理海量数据的能力提出了挑战。数字地球系统越来越引起人们的关注,并日益成为三维GIS、虚拟现实技术发展的主流之一。

目前全球开发了多种数字地球系统,代表性的有Google公司的Google Earth, NASA的World Wind, Yahoo公司的Yahoo Maps,微软的MSN Virtual Earth,法国的Geoportail,日本的GlobeBase等。其中最著名的是谷歌地球(Google earth, GE),被“PC 世界杂志”评为2005年全球100种最佳新产品之一。国内也推出多个版本的数字地球系统,如北京大学和北京航空航天大学China Star,武汉大学的GeoGlobe,

中科院遥感所的DEPS CAS、GeoBeans3D等。数字地球的应用非常广泛,已经日益渗透到国防建设、国家安全、交通运输等领域,并在其中发挥着日益重要的作用。

针对建立三维数字地球的文献很多^[1-3],文献介绍的方法建立的三维数字地球服务目的也不完全一样。本文介绍了在构建适于飞行仿真的三维数字地球仿真系统中用到的一种空间划分方法。通过该方法可有效减少数据冗余,同时解决视点范围内地块的覆盖不足问题。

1 细节层次处理

全球地形数据量非常庞大,仅全球1:25万数字高程模型(DEM)数据的总量就已高达20 GB。若针对

收稿日期: 2010-10-10; 修回日期: 2011-04-26

基金项目: 部级基金

作者简介: 杨海林(1974-),男,博士生,高级工程师,主要从事飞行数据处理与计算机仿真方面的研究。

更高分辨率的DEM数据,再考虑更为庞大的影像数据,要在显示时直接使用这些数据,必须使用细节出层次(LOD)技术^[4]对数据进行预先处理。按照一定的计算规则,根据不同精度需求,对原始数据进行分级处理,使用时根据一定条件调用相应的模型。基于数据分块的静态LOD算法^[5-6]预先存储各层次细节模型,避免了大量的CPU计算,易于实现且效率高。但这种处理需要占用多得多的存储空间,通过牺牲空间节约大量时间,使得实时渲染成为可能。

本文同样采用四叉树建立多层次DEM和影像数据模型,利用金字塔模型原理^[7],分层时规定下一层的分辨率为上一层的2倍,即高层中每一块都将被分成4块。本文中规定全球地理坐标经度范围为 $[-180^\circ, +180^\circ]$,纬度范围为 $[-90^\circ, +90^\circ]$,对每一层中的任一分块,使用层数、行号、列号3个参数进行标识。每一层经纬度与地块、影像数据依照固定公式唯一确定。

系统采用的分块原则是:在全球范围内统一分块,最顶层共有 4×2 块,所有分块再均分为4块作为下一层。按照这一原则分块后的全球数据组织结构基本情况如表1所示。

表1 LOD分层表

级别	总分块数	每块经、纬度差/(°)
1	4×2	90
2	8×4	45
3	16×8	22.5
4	32×16	11.25
5	64×32	5.625
6	128×64	2.8125
7	256×128	1.40625
8	512×256	0.703125
K	$2^{K+1} \times 2^K$	$180/2^K$

2 经度跨度加倍机制

金字塔模型的一个关键环节就是空间划分,即如何对金字塔进行纵向分层和横向分块。空间划分主要有等间隔空间划分和等面积空间划分两种。等间隔空间划分采用等经纬度间隔的面片对全球进行空间划分,同一层面片的经纬度间隔相等,相邻层面片的经纬度间隔倍率为 $2^{[8]}$ 。文献[9]在此基础上进一步完善,目前得到了广泛应用。等面积空间划分采用等面积的面片对全球进行空间划分,同一层面片的面积相等,相邻层面片的面积为2倍。文献[2]采用的就是等间隔划分法。文献[10]详细阐述了如何用椭球四叉树对全球空间数据进行组织管理,利用

三角函数运算求出每个面片的面积,通过递归和迭代计算出每个面片的宽度和边界坐标。文献[1]即是在OttoSon算法基础上改进索引算法进行空间划分的。

两种空间划分方法各有优势和不足。等间隔划分法的算法比较简单,索引速度快,地块接边问题处理方便。由于是按照等经纬度划分,使得两极和赤道上的面片数相等,带来大量数据冗余。等面积划分法中同一层中的面片具有相同的面积,在两极处的冗余面片较少。但也正是这些较少的冗余面片,导致了地块接边难度大于等间隔划分法,该方法计算量大,消耗时间多,不利于快速索引的实现。

本文采用等间隔划分法进行层次划分,但针对该分法带来的大量高程数据和影像数据存储冗余,并且引发的覆盖显示不足的问题,采用经度跨度加倍机制进行处理。第 n 层地块的划分方法,首先沿纬度线方向将地球平均划分为 2^n 个条带,再沿子午线方向将各条带划分为地块,紧邻赤道的两个条带分为 $2^{(n+1)}$ 个地块,由此向趋近两极的各条带划分时,须检测划分后地块的纬度线方向距离,如果该条带划分的地块纬度跨度(南北)代表的距离达到了经度跨度(东西)代表距离的2倍或以上,则减半该条带的划分数,下一条带划分数继承上一条带,如果检测再次发现上述情况则继续减半划分数。

具体算法如下:

1)首先计算达到进行经度跨度加倍的临界度数,由于经度线(子午线)周长始终为 $2\pi R$ (R 为地球半径),参与地块划分的为半个周长,即 πR 。纬度线周长与其所处纬度 β 有关,即 $2\pi R \cos(\beta)$ 。设第 n 层, k 代表个临界点的层级数,需满足:

$$2\pi R \cos(\beta) \times 2^k / 2^n = \pi R / 2^n \quad k=1,2,\dots \quad (1)$$

化简后,得到:

$$1/\cos(\beta) = 2^{k+1} \quad k=1,2,\dots \quad (2)$$

适当放宽条件,将 $1/\cos(\beta)$ 换为 $\tan(\beta)$,则临界纬度值为:

$$\beta = \arctan(2^{k+1}) \quad k=1,2,\dots \quad (3)$$

临界纬度具体计算结果如表2所示。

表2 临界点纬度值表

k	1	2	3	4	5	17
β	63.435	82.875	86.424	88.210	89.105	89.9998

2)计算按经度划分块数。同一级中,按纬度划

分的块数是一致的, 即都为 2^n , 按经度划分时需查询临界纬度值表, 设每个块的最低纬度值(不考虑正负)为 $D\beta_L$, 搜索 $D\beta_L$ 在哪个区间段, 每个纬度条带的划分块数 m 按以下公式确定:

$$D\beta_L = L \times 180 / 2^n - 90 \quad L = 0, 1, \dots, 2^n - 1$$

$$\text{if}(D\beta_L < 0) \quad D\beta_L = |D\beta_L + 180 / 2^n| \quad (3)$$

$$\beta_k \leq D\beta_L < \beta_{k+1} \quad , \quad \beta_0 = 0, \quad k = 0, 1, \dots,$$

$$m = 2^{n+1} / 2^k$$

经此处理, 各级 LOD 中经纬度方向分块数如表 3 所示, 其中括号内数字为各纬度线方向条带含有的按经度划分的块数。

表3 采用经度跨度加倍机制的LOD分层表

LOD	条带数	各条带的块划分数
1	2	4,4
2	4	8,8,8,8
3	8	8,16,16,16,16,16,8
4	16	8,16,32(12),16,8
5	32	8,16,32,32,64(24),32,32,16,8
17	2^{17}	8,16,32(3),64(5),128(10),256(20),512(41).....

由表 3 可见, 在 2 级以上的层次细节中, 最靠近南北两极的分块数并不会随级数增加, 始终保持为 8 块。通过该方法可对地形高程数据及影像数据进行简单处理即可实现, 节约了大量存储空间, 地块的载入及有关显示处理也较容易实现。

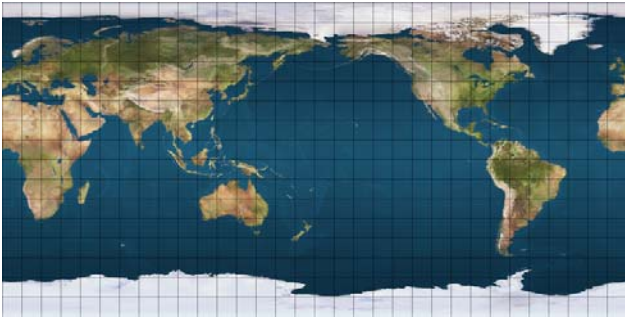


图1 4级等间隔划分法

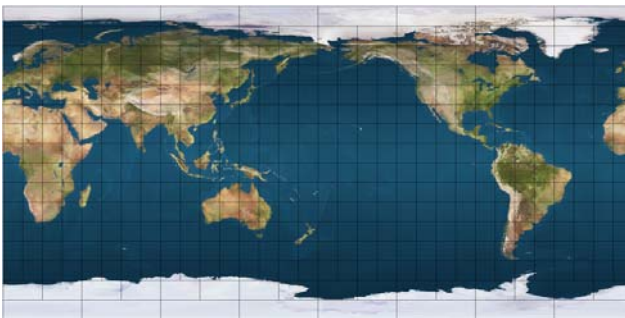


图2 4级经度跨度加倍划分法

表4为本文方法与等间隔空间划分法空间划分

地块总数对比情况, 总体来看本文方法数据节约率接近20%。

表4 空间划分地块数对比

LOD	等间隔划分 地块总数	本方法划分 地块总数	节约率 /(%)
1	8	8	0
2	32	32	0
3	128	112	12.5
4	512	432	15.6
5	2 048	1712	16.4
10	2^{21}	1 679 728	19.9
14	2^{29}	429 633 904	19.97

3 系统实现

由于采用经度跨度加倍方法, 不论是地形与影像数据的划分处理, 还是数据的更新处理方法皆需作较复杂处理, 但这些都是数据预处理阶段做的工作, 不影响系统实际运行。在系统运行阶段需考虑的是地块与影像的载入机制中需作特殊判断。如果各层次的每块高程及影像块都具有, 正常载入即可。当出现高程或影像地块数据缺一个或都缺少时, 就从低层次的父数据块中寻找, 如果父数据块也不存在则逐次降低级数寻找, 直到找到包含要显示的地块的先辈为止, 根据层次差及位置关系计算获得实际对应的数据, 对于 DEM 数据可通过双线性插值计算获得 $n \times n$ 点地形网格数据, 相对位置与级数差及各自代表经度方向的跨度有关。如设定需载入地块的经纬度序号分别为 X 和 Y , 一般情况下每降低一个层级搜索地块的经纬度序号值需整除 2, 但如果低一级的相应位置的纬度条带分块数等于当前级别纬度条带分块数则纬度序号不变。算法描述如下:

```

while true do begin
    if LoadData(n, Y, X) then break;//找到数据, 停止搜索
    if partsLatStrip[n-1,Y div 2]<>partsLatStrip[n, Y]
    then
        X:=X div 2; //不是经度跨度加倍触发位置
        Y:=Y div 2;
    end;

```

其中函数 $partsLatStrip[n,y]$ 表示第 n 级第 y 序号纬度条带的划分块数, 由系统初始化时自动计算产生。函数 $LoadData(n, Y, X)$ 表示载入第 n 级经纬度序号为 X 和 Y 的影像或地形数据, 如果数据找到返回 True。本文开发的系统运行截图如图3所示, 从图中白线可以清楚看出北极地区地块划分情形。

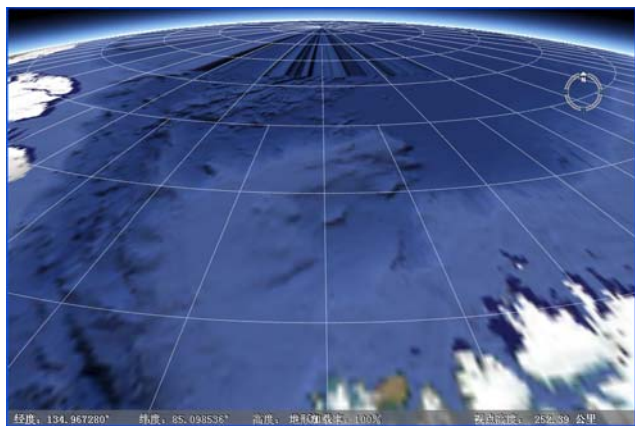


图3 系统运行图

5 结束语

通过经度跨度加倍方法对全球空间进行划分,保留了等间隔划分算法的优点,同时大大减少了数据冗余,还可有效控制地形渲染的三角形数量,并且解决了视点范围内地块覆盖不足的问题。本文利用该方法建立了数字地球仿真系统,可以进行基于真实地形的飞行仿真应用。该数字地球仿真系统建立在文件系统存储结构之上,地形和影像数据的更新、删除、提取方便灵活,适合单机运行。由于单机存储空间有限,这种存储结构可快速建立指定需要区域的数字地球仿真系统,数据更新灵活。地形绘制 CPU 占有率低,使得 CPU 可以有大量时间用于复杂的飞行模拟仿真等工作。

参 考 文 献

- [1] 张立强. 构建三维数字地球的关键技术研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2004.
ZHANG Li-qiang. Key technologies for 3D digital earth development[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2004.

- [2] 杜莹. 全球多分辨率虚拟地形环境关键技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学测绘学院, 2005.
DU Ying. A research on key technologies for global multi-resolution virtual terrain environment[D]. Zhengzhou: Institute of Surveying and Mapping, The PLA Information Engineering University, 2005.
- [3] 杜剑侠, 李凤霞, 战守义. 面向数字地球的海量地形技术研究[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2007, 28(2): 121-124.
DU Jian-xia, LI Feng-xia, ZHAN Shou-yi. Research on massive terrain in oriented to digital-earth[J]. Journal of North University of China: Natural Science Edition, 2007, 28(2): 121-124.
- [4] JAMES C. Hierarchical geometric models for visible surface algorithms[J]. Communications of the ACM, 1976, 19(10): 547-554.
- [5] FERGUSON R L, ECONOMY R, KELLY WA, et al. Continuous terrain level of detail for visual simulation[C]//Proceedings of the 1990 IMAGE conference. Tempe, Arizona: [s.n.], 1990.
- [6] COHEN-OR D, LEVANOYI Y. Temporal continuity of levels of detail in Delaunay triangulated terrain[C]//7th IEEE Visualization Conference. California: IEEE, 1996.
- [7] TANIMOTO S. Image transmission with gross information first[C]//Compute Graph Image Processing. California: IEEE, 1979(9): 72-76.
- [8] KLINGER A, DYER C R. Experiments on picture representation using regular decomposition[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1976, 5(1): 68-105.
- [9] SAMET H. Region representation: quadtrees from binary arrays[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 13(1): 88-93.
- [10] OTTOSON P, HAUSKA H. Ellipsoidal quadtrees for indexing of global geographical data[J]. Geographical Information Science, 2002, 16(3): 213-226.

编辑 税红