

一种小量流血形成的弯曲血槽模型*

徐 凯¹ 熊岳山¹, 谭 柯¹ 郭光友²

(1. 国防科技大学计算机学院, 湖南 长沙 410073; 2. 中国人民解放军总医院技术教育中心, 北京 100853)

摘 要 特殊效果模拟是虚拟手术系统中的一个重要组成部分,快速准确的特效能够增强手术过程的真实感。流血效果是虚拟手术系统必不可少的特效之一。针对小量流血形成的弯曲血槽的模拟,提出了一个比较简单的模型,采用元球造型的方法绘制血槽。只考虑血流前端动态效果的模拟,血槽部分采用静态绘制。这种动态与静态结合的模拟方法有效地减少了计算开销,真实感明显,具有很好的实时性。

关键词 血槽;虚拟手术;实时性

中图分类号:TP391.9 文献标识码:A

A Model of Bended Bloodstream with Small Amount Bleeding

XU Kai¹, XIONG Yue-shan¹, TAN Ke¹, GUO Guang-you²

(1. College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Center for Technique Education, PLA General Hospital, Beijing 100853, China)

Abstract Computer simulation of special effect is an important part of the visual surgery simulation system. Rapid and accurate simulation of special effect can make the visual surgery more realistic. Simulation of bleeding is essential to surgery simulation system. This paper focuses on small amount bleeding appearing in a small injury. It forms a bended bloodstream on the organ surface. A simple model is established. The bloodstream is rendered by the metaballs method. During the simulation, only the dynamic simulation of the leading end of the bloodstream is considered while the rest of the bloodstream is rendered statically. This combination of dynamic simulation and static rendering can reduce the expense of computation and make the model more real and more computationally efficient for real-time animation.

Key words bloodstream; visual surgery; real-time

虚拟手术中流血效果的实时模拟^[1-3]是虚拟现实的热点问题之一。有效的模拟模型大致有两种,一种是基于 Navier-Stokes 方程建立液体动态模型^[4-6],这种方法能精确地模拟出液体的许多动态效果,但实现起来计算开销很大,实时性差。另一种模型是运用粒子系统(Particle System)结合等值面(Iso-surface)技术^[7],但模拟逼真的血液流动常常需要一个庞大的粒子系统。限于实时性的要求,上述模型很难直接用于虚拟手术中的流血模拟。

根据虚拟手术的实际要求,流血模拟对于多种流血形态既要求一定的准确性,又要求较好的实时性。因此,必须对不同的流血情况分别处理,同时要尽可能采用计算开销较小的模型。

本文针对组织表面小量流血形成的弯曲血槽,考虑流动的速度、方向以及血槽前端液滴的形态变化,采用一种元球组合绘制血槽的方法,模拟出了小量流血的效果。该方法计算开销很小。

1 模型概述

观察柱状流血的形态及特性可以发现,血流的前端通常有一个较大的液滴(为方便叙述,下面称作前端液滴)沿着表面不断向前流动,液滴后面的血流一般会沿着液滴流过的路径(即血槽)流动。看起来像是前端液滴“带动”血流的前进,液滴运动轨迹决定了血槽的弯曲形态。因此从表面上来看,这类流血

* 收稿日期:2004-07-15
基金项目:国家自然科学基金资助项目(60171028,60371036)
作者简介:徐凯(1982—),男,硕士生。

的动态部分似乎只有前端液滴,而出血点以及血槽部分的动态效果不是十分明显。

根据以上特性,我们认为没有必要采用复杂的流体动力学的方法来精确模拟这类流血。我们采用了简单的基于元球组合的绘制方法。该方法的基本思想是模拟分动态和静态两部分:动态部分模拟血流的前端从出血点出发,在器官表面上向较低处流动;同时,记录前端液滴的流动轨迹,并在这条轨迹上静态地绘制出柱状的血流。两部分的绘制都采用元球绘制方法。

采用该模型,模拟工作主要包括:前端液滴运动方向的确定,运动速度的控制以及形态的实时调整;前端液滴和血槽的绘制。

1.1 前端液滴流动方向的确定

由于流血总是贴在器官的表面进行,所以前端液滴的流动方向主要与器官表面的几何特性有关。由于器官的几何模型不论用何种方法生成,其表面通常都是由三角面片组成的网格,因此,确定前端液滴的流动方向,就是确定它在三角网格上的运动方向。在三角网格上运动方向的确定,包括三角面片的探测(确定液滴流动到哪个三角面片上)以及液滴在面片上流动方向的计算,两者交替进行,直到流动停止(如已经流动到可到达的最低点)。

对于三角面片上流向的确定,给出方法如图1所示,图中 $\triangle ABC$ 是前端液滴当前所在的三角面片, M 是 $\triangle ABC$ 所在的平面, S 是运动的起始点(位于 $\triangle ABC$ 内)。直线 l 在 M 上通过 S 点,且垂直于 M 与水平面的交线。 E 是直线 l 与 $\triangle ABC$ 的 BC 边的交点。容易证明, \overrightarrow{SE} 就是液滴在三角面片 $\triangle ABC$ 上的运动方向, E 是液滴在当前面片上运动的终点。三角面片的探测也考虑液滴在器官表面受到重力的影响,即使液滴向较低(Z 坐标值较小)处运动。

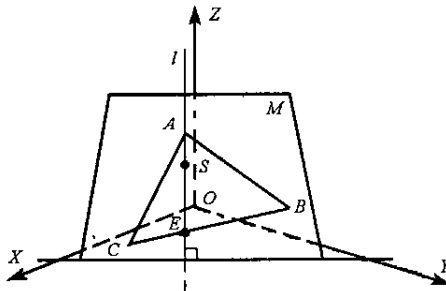


图1 三角面片上运动方向的确定

Fig.1 Specifying of moving direction on triangle mesh

当前端液滴位于三角面片的顶点上时,新的到达面片必须同时满足以下几个条件:

(1) 该三角面片的另外两个顶点中,必须至少有一个顶点的高度比当前点低,即 Z 坐标值要小于当前点;

(2) 按照上述确定面片上流向的方法确定流动方向,在当前点周围的每个面片上可以确定一个理想的流动轨迹,该面片必须满足流动轨迹位于三角面片的内部(见图2、3)。

(3) 该方向是所有满足上述两个条件的方向中与方向夹角最小的一个。

当前端液滴位于三角面片的某一边上,液滴在该面片上流动时,终点就在该面片的某一条边上。于是这种情况的探测结果无非有三种结果:

① 与当前点所在边邻接的另一个三角面片的对角顶点低于(Z 坐标值小于)当前点,则这个三角面片就是下一个到达的面片;

② 与当前点所在边邻接的另一个三角面片的对角顶点高于(Z 坐标值大于)当前点,则当前点所在边的两端点中较低的一个为流动的终点,流动方向沿当前点指向该点;

③ 若当前点所在边的两端点的高度值相同(Z 坐标值相等)则流动停止。

1.2 流动速率的确定

考虑前端液滴所受重力,由牛顿第二定律得出液滴在面片上的流动速率:

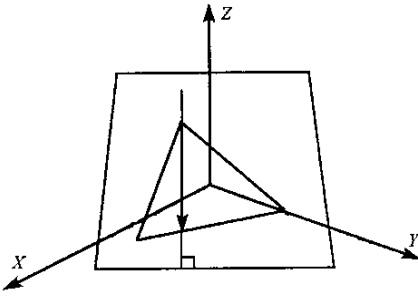


图2 流动轨迹在三角面片内
Fig.2 Flow track within triangle mesh

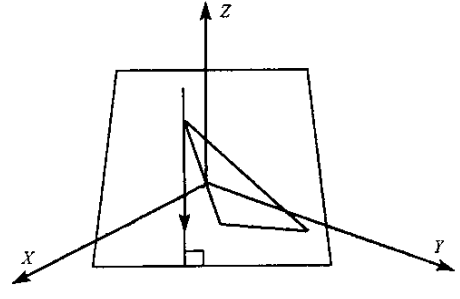


图3 流动轨迹不在三角面片内
Fig.3 Flow track out of triangle mesh

$$\begin{cases} F_{\text{slide}} - f_{\text{damp}} = m \cdot a \\ v = v_0 + a \cdot t \end{cases}$$

其中, m 代表液滴的质量, a 为液滴运动的加速度, v 是液滴的运动速度, v_0 是进入当前面片时的初始速度。 F_{slide} 为液滴在面片上的下滑力, f_{drag} 为组织表面的粘滞阻力。

为进一步减少计算量, 可以采用数学模型来近似体现上述公式。首先, 考虑到上述公式控制下的液滴在每个面片上的流动速率最终将达到一个最大值, 即收尾速率 v_{last} , 并且由公式可知, 粘滞力系数 k_{drag} 越大, 速率达到 v_{last} 所用的时间越短。其次, 液滴在面片上的流动收尾速率 v_{last} 受面片倾角 φ 影响, 倾角 φ 越大, v_{last} 越大, 并且随着 φ 的增大, v_{last} 的增加也越来越缓慢, 最终也将达到一个上限。

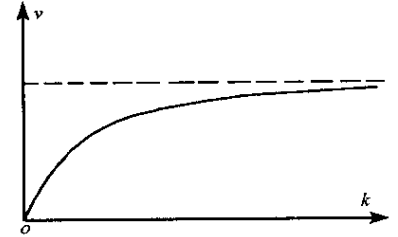


图4 运动速度随面片倾角正切值变化的曲线

Fig.4 Curve of velocity changing with tangent of dip angle

运动速度随面片倾角正切值变化的曲线如图4所示。

给出在每个面片上的流速计算公式:

$$v = c_1 e^{-\frac{c_2}{k+1}}$$

式中, v 为流动速率, k 是面片倾角的正切值, c_1, c_2 为常数。

1.3 血流的绘制

血流的绘制采用元球(Metaball)造型^[8]的方法。

元球造型是一种重要的几何造型技术。元球造型技术通常使用许多球体(元球)组合构造出物体的表面, 并通过元球的添加、减少、变换、参数调整等操作来完成对物体的造型。由于元球具有光滑、自动融合等优点, 它一般用来构造人体、动物等有机体, 而这对于传统几何造型技术而言是十分困难的。

采用元球造型的简单实现来构造血流。在血流轨迹上适当地放置元球, 通过对元球间距、半径、位置等的调整, 可以分别实现对前端液滴和血槽部分的造型。这种方法可以很好地构造出血流的弯曲形态。

2 模型的评价

2.1 模型的实现效果

利用本文提出的方法, 我们模拟了器官表面的小量柱状流血。在PC机(CPU为1.2GHz, 内存为256MB, 配置了图形加速卡)上模拟时帧频可达到每秒75帧。模拟效果如图5所示。

图5(a)、5(b)为采用本模型实现的柱状流血的模拟效果。从图5(a)、5(b)可以看到, 前端液滴及血槽的绘制效果。从模拟效果看, 本方法能够比较逼真地实现小量柱状流血的模拟, 而且时空开销都十分小, 能够满足实时模拟的要求。因此对于此类流血现象的模拟, 这种简单快速的方法可以很好地替代基于流体力学的模型。

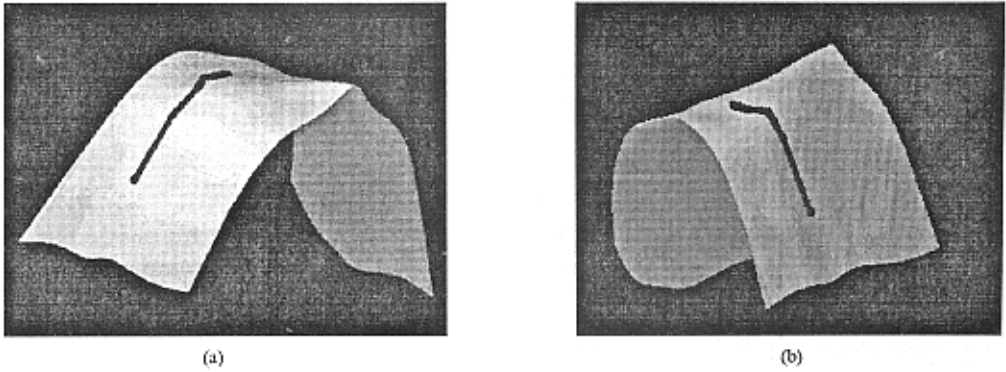


图 5 模拟效果

Fig.5 Simulation effect

2.2 算法的代价

该算法的总体开销是比较小的。在时间方面,由于模型在实现中只考虑了血流的前端液滴的运动,因此计算开销主要是血流到达三角面片的顶点或边时,流动方向以及流动速率的实时计算,由于算法中只涉及到一些简单的几何运算,所以计算开销较小;在空间方面,本方法只需用一条链表来存储血流轨迹,这个存储量与模拟中选取的小球间距成反比(为使血槽足够光滑,小球间距一般要小于球半径的 $1/3$)。链表长度将随着血流长度的增加而增加。

参 考 文 献 :

- [1] Basdogan C et al. Simulation of Tissue Cutting and Bleeding for Laparoscopic Surgery Using Auxiliary Surface[C]. Proceeding of Medicine Meets Virtual Reality, 1999:38-44.
- [2] Oppenheimer P et al. The Representation of Blood Flow in Endourologic Surgical Simulations[C]. Proc. Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press, Amsterdam, 365-371.
- [3] Akmak H K C, Kühnapfel U. Animation and Simulation Techniques for VR-training Systems in Endoscopic Surgery[C]. Proc. of the 11th Eurographics Workshop, Springer-Verlag, 2000:173-185.
- [4] Foster N, Metaxas D. Realistic Animation of Liquid[J]. Graphical Models and Images Processing, 1996, 58(5):471-4830.
- [5] Kass Michael, Miller Gavin. Rapid, Stable Fluid Dynamics for Computer Graphics[J]. Computer Graphics, 1990, 14(4):49-57.
- [6] Chen Lobo N. Real-time Fluid Simulation in a Dynamic Virtual Environmen[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, May-June 1997:52-61.
- [7] Miller Gavin, Pearce Andrew. Globular Dynamics: A Connected Particle System for Animation Viscous Fluid[J]. Comput. & Graphics, 1989, 13(3):305-309.
- [8] Shen J, Thalmann. Interactive Shape Design Using Metaballs and Splines[J]. Proceedings of Eurographics Workshop on Implicit Surfaces '95, Grenoble, France, 1995:187-196.

