

面向服装结构设计的服装穿戴模拟系统

毛刚¹, 怀彦², 周刚¹

(1. 四川大学 计算机学院, 成都 610065; 2. 四川宜宾市建筑勘察设计院, 四川 宜宾 644000)

(tustmg@qq.com)

摘要: 计算机辅助设计系统已广泛应用到服装结构设计中, 然而, 传统的服装结构设计基于二维平面图纸, 具有设计效果不直观、设计连续性差等缺点。另外, 计算机图形领域的服装穿戴模拟大多只能实现形态上的粗略模拟, 缺乏精确性, 不能满足工业的参数化要求。鉴于此, 设计实现了一个面向服装结构设计的穿戴模拟系统。该系统以标准的图纸作为输入, 获取其中的特征参数。由此构造的三维立体服装能较真实地反映出图纸的设计效果, 提高了模拟的精确性。同时, 该系统能快速地将服装穿戴到人体模型上, 帮助设计者实现直观的、连续的设计。

关键词: 服装结构设计; 穿戴模拟; 精确性

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Dressing simulation system for costume structure design

MAO Gang¹, HUAI Yan², ZHOU Gang¹

(1. College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China;

2. Construction Survey and Design Institute, Yibin Sichuan 644000, China)

Abstract: The computer-aided designing system has been widely used in the costume structure design; however, the traditional costume structure design is based on 2D planar drawing, and has some shortcomings. For example, the design effect is not intuitive and the design process is not continuous. In addition, most dressing simulations in the field of computer graphics can only achieve a rough result of morphology, lack accuracy and cannot meet the parametric requirement in the costume industry. Hence, in this paper, a dressing simulation system for costume structure design was designed and realized. The system, whose input was a standard drawing, got various kinds of characteristic parameters in the drawing. The three-dimensional cloth constructed by these parameters can reflect the original design, which improves the accuracy of the simulation. At the same time, this system can put the costume on the human model quickly, which is able to help the fashion designer to work intuitively and continuously.

Key words: costume structure design; dressing simulation; accuracy

0 引言

各种各样的计算机辅助设计系统(如 AutoCAD 等)的应用极大地提高了服装设计效率。设计者能利用计算机快速设计出参数化的平面结构图纸。然而, 这种设计模式有个明显的缺陷, 即服装的设计效果不能通过图纸直观地反映给设计者, 往往需要设计者依靠自身的主观经验来联想猜测。目前, 计算机服装穿戴模拟的方法有以下几种: 1) 先基于手绘界面建立平面服装草图; 然后在草图和 3D 人体模型(简称人体模型)表面对应的部位绘制有向线条; 接着在这些线条基础上实现服装的映射; 最后完成穿戴^[1]。2) 用户直接在三维空间中基于人体模型进行服装设计^[2]。以上方法在操作上比较简便, 但是它们只能实现主观上、概念上的设计, 缺少必要的精确性, 无法满足服装工业设计的参数化要求。

针对上述问题, 本文设计实现了一个基于服装结构设计的服装穿戴模拟系统。其特点是: 1) 模拟精确性高。系统以标准 CAD 图纸作为输入, 完全基于图纸中的各种特征参数进行模拟, 提高了模拟的精确性。2) 使得服装设计直观明了。

图纸被立体化后穿戴在人体模型上较直观地展示出服装的设计效果。3) 使得服装设计一气呵成。设计者利用该系统能在结构设计过程中进行穿戴模拟, 使得设计过程连贯起来。4) 操作简单。用户的负担很轻, 整个过程仅需作一些标记和拖拽。

1 系统实现

1.1 系统概述

本文的目标是以服装结构设计图作为输入, 通过平面建模提取特征参数, 通过立体建模使服装立体化, 并将其映射到人体模型上, 模拟出“穿戴”的效果, 系统流程如图 1 所示。

图纸建模是从服装结构平面图文件(如 CAD 文件)中提取特征参数和拓扑信息, 形成图纸模型。网格建模是将图纸模型网格化, 形成网格模型。服装缝合是对服装网格模型进行缝合, 包括特征边缝合、省缝合等, 使服装立体化, 形成立体模型。笔画投影将用户的手绘输入映射到人体模型上。映射是本系统的最终操作, 旨在将服装映射到人体模型三维空间, 包括特征边映射、网格映射等。

收稿日期: 2010-07-20。

作者简介: 毛刚(1987-), 男, 四川简阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字娱乐、人机交互; 怀彦(1971-), 男, 四川宜宾人, 高级工程师, 主要研究方向: CAD; 周刚(1965-), 男, 四川成都人, 主要研究方向: 计算机图形。

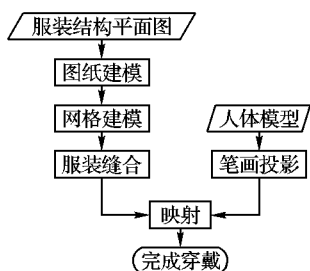


图1 系统流程

1.2 图纸建模

图纸建模目标是通过采样图纸边界轮廓线(简称边界多边形)构造一个顶点序列,将抽象的拓扑信息和用户标记信息转化为具体的、便于计算机处理的形式。

1.2.1 概述

图2是女式上衣的右半身CAD结构设计图。由于本文的需要,在此引入特征边和省的概念。

特征边(trait):服装结构中有特殊意义的边,例如图2中最左边是后背竖中线,属于特征边。

省(dart)^[3]:服装术语,如果把省缝合起来,便能使相应部位隆起,如前肩省、肚省。

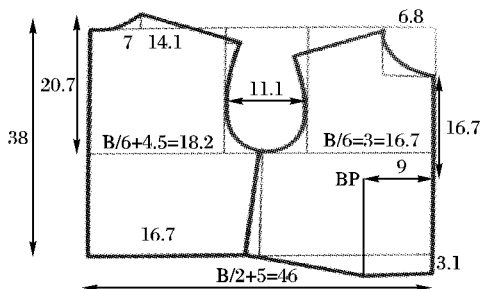


图2 服装结构图原型

用户需要通过 AutoCAD 界面在图纸上标记出所有的特征边和省,并为每条特征边设置方向和一个ID,为每条省设置一个ID。为了将用户标记的特征边、省信息也加以保存,系统把是否为特征边、是否为省、特征边方向、特征边ID和省ID当做边界多边形采样顶点的属性来处理。这样,图纸建模实际就是采样边界多边形上的顶点以及设置采样顶点相应属性。

1.2.2 服装图纸模型

服装结构平面图纸抽象为图纸模型 P ,在 P 中除了要保存用户标记信息外,还需要保存顶点的坐标。故系统将服装图纸模型定义为如下结构:

$$P = \{ \{x, y, tid, dirTag, did, cIndex\}, dir \}$$

其中: x 和 y 为顶点坐标;如果该顶点属于一条特征边, tid 用于保存特征边ID,否则为默认值;如果该顶点属于一条特征边, $dirTag$ 用于保存特征边的方向,否则为默认值;如果该顶点属于一条省, did 用于保存省的ID,否则为默认值;如果该顶点属于一条省, $cIndex$ 用于保存省的中心点在 P 中的索引值; dir 记录边界多边形的采样方向,为0表示顺时针方向,为1表示逆时针方向。

该模型将用户标记信息当成顶点的属性来处理,既能保存图纸的基本拓扑信息和用户标记信息,又简化了采样过程。

1.2.3 构造

CAD 图纸中的图元(如直线、曲线、多段线等)是以实体

记录的形式保存在 CAD 图形数据库中。CAD 图纸的采样常需借助 ObjectARX^[4]来读取图形数据库,对每个取出的图元处理过程大致如下:

1)如果实体是多段线,则炸开该多段线。将炸开得到新实体(如直线、曲线)加入图形数据库里之后,继续读取数据库。

2)如果实体是直线,则取出直线的起点和端点,然后根据用户标记信息将点保存到 P 中。

3)如果实体是曲线,则对曲线进行等间距采样,然后根据用户标记信息将曲线起点和端点以及采样得到的中间点保存到 P 中。

1.3 网格建模

服装的图纸模型准确地描述了服装结构的轮廓形态和缝合信息,但是,该模型不能直接用于服装操作、模拟及渲染。为了将服装图纸模型表示的信息完全融入到三维模型中,并且提供足够的信息作后续操作。系统接着便对服装进行网格建模,以 P 作为三角化算法的输入,对图纸进行网格化。

1.3.1 服装网格模型

三角网格模型一般包括以下3类基本元素:顶点列表、边索引列表和三角形索引列表。顶点列表是一系列孤立的顶点的集合;边索引列表是一系列索引边构成的列表,其中每条索引边由组成该边的两个顶点的索引构成;三角形列表由一系列索引三角形构成,每个索引三角形由组成该三角形的三条边的索引构成。即:网格模型可以表示为 $M = \{V, E, T\}$,其中 V 为顶点列表, E 为索引边列表, T 为索引三角形列表。故系统将服装网格模型定义为如下结构:

$$C = \{M, D, Tr\}$$

其中: M 是网格结构, D 是省集合, Tr 是特征边集合。

该模型主要表达了如下几类数据信息:首先,服装的拓扑结构得以完整表达,该拓扑结构在本文后续的模拟穿戴和操作、服装呈现中都是必要的数据库;其次,服装的空间信息得以表达,利用这些信息才能对服装的三维形态加以呈现;最后,该模型表达了服装结构中的用户标记信息,这些信息为服装结构处理及穿戴模拟提供了必要的数据库支持。

1.3.2 网格化和边界裁剪

在该阶段,用带约束 Delaunay 三角化算法^[5]对 P 进行处理,得到图纸的初步网格结构。图3(a)是 Delaunay 算法对 P 进行初步处理后的结果。可以看出算法会在边界多边形内部和外部都进行剖分,在边界多边形内部,算法会细化生成许多新点,而在外部不会细化。因此,初步三角化之后还需要裁剪掉边界多边形外多余的三角形,即边界裁剪。

如何去掉这些多余的三角形?本文采用的方法是判断每个三角形的重心是否在图纸多边形内。如果在边界多边形内,则保留该三角形;如果不在,则删除。值得注意的是,不应该删除三角形的任何顶点。边界裁剪完成后的效果如图3(b)所示。

1.4 服装缝合

服装想要立体化,就需要被缝合,省缝合是其中一种情况,另外,某些特征边(例如前肩线和后肩线)也需要缝合。简单而言,缝合就是将待缝合的两条边上的所有顶点依次合

并起来。

服装缝合包括省缝合和特征边缝合,就处理过程而言,两者没有本质区别:第一步,依次取出两条边上的顶点,组成顶点对 $\langle v_1, v_2 \rangle$ 。如果两条边上的顶点数不一致,顶点无法依次配对,便会导致在网格曲面中形成“空洞”或“分叉”。对点较少的边进行“分裂”操作,生成一定数量的新点使两条边的顶点数一致,便能解决这个问题。第二步,依次“合并”这些顶点对。因此,服装缝合的关键问题便是如何实现分裂和如何实现合并。

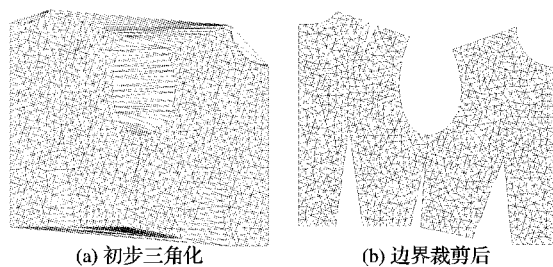


图3 网格建模各阶段效果

1.4.1 分裂

分裂操作的目标是在原有边上新建一个顶点,把原有边拆分成两条新边。假设原有边为 e ,实现过程如下:

1) 在 e 上新建一个顶点 v 。

2) 遍历网格结构找出包含 e 的所有三角形 t_i ,对每一个三角形执行如下操作:

①取出 t_i 的另外两条边,分别与 v 构建新三角形,并把这两个新三角形加入网格结构中;

②将 t_i 删除;

③将 e 删除。

1.4.2 合并

合并操作的目标是创建新的顶点代替以前的两个旧点,并在新点的基础上创建新的三角形及边代替以前的旧三角形及旧边,如图4所示。假设欲合并的两个点分别为 v_1 和 v_2 ,实现过程如下。

1) 遍历网格结构找出包含 v_1 或包含 v_2 或两点都包括的三角形 t_i :

①如果 t_i 同时包含 v_1 和 v_2 ,那么设 t_i 的第三个顶点为 v_0 ,并判断 v_0 的邻接三角形列表;

②如果包含 v_0 的三角形数目小于1,则预删除该顶点;否则,在没有创建新顶点的情况下,创建新顶点 v_n ,继续下面的操作。

2) 取出 t_i 中不包含当前点(v_1 或 v_2)的那条边,与 v_n 构建新三角形,并加入网格结构中。

3) 预删除 t_i 中与当前点(v_1 或 v_2)相邻接的两条边。

4) 预删除 t_i 。

5) 将当前顶点(v_1 或 v_2)预删除。

6) 遍历结束,将所有预删除的元素(顶点,边,三角形)作实际删除。

上文提到的预删除是指在算法执行的时候,因为一些元素携带的拓扑结构信息在后续过程可能需要使用,所以不能立即删除,只能作删除标记,待整个过程执行完毕再进行实际删除。

1.4.3 缝合效果

图5是网格缝合示意图,缝合前后1.3.1节中的集合 C 中的顶点坐标都是基于图纸的,它们相对于人体模型坐标系是没有意义的。但是,顶点之间的距离相对于人体模型坐标系是有意义的,并且这也是还原服装的3D效果的关键所在。图中每条边的长度都已经合理地继承于原始图纸,当把所有的边还原为真实的长度时,服装的形态就会立体化。

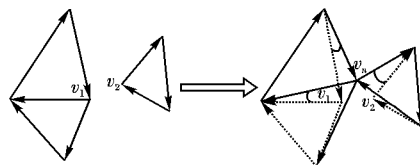


图4 顶点合并

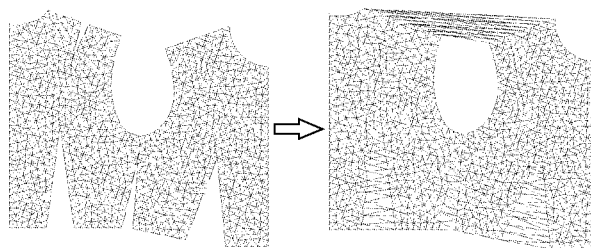


图5 网格缝合

1.5 笔画投影

1.5.1 笔画模型

笔画在形态上看起来和曲线相似,但是它们在计算机中的表示方法是完全不同的。曲线是定义在几何空间的连续点集,它可以由数学方程精确描述,而笔画在计算机中是由一系列采样点及连接直线段组成的。本文中定义笔画模型 S 为:

$$S = \{P_t, L\}$$

其中: P_t 是笔画线路上的采样顶点的有序集合, L 是笔画线路上前后两点组成的线段的有序集合。

1.5.2 人体网格模型

类似于服装网格模型,人体网格模型也包括 V 列表、 E 列表和 T 列表,不同的是,人体网格模型中应该包含一个笔画列表 S 。系统定义 S 是为了同服装网格模型中的 Tr 进行配对,实现从特征边到笔画的映射。注意, S 和 Tr 应该是一一对应的,例如肩膀处特征边对应肩膀处特征笔画。为了尽量减轻用户的负担,整个系统只在人体肩部指定了两条特征笔画。系统将人体网格模型定义为:

$$B = \{M, S\}$$

该阶段的目标就是将用户手绘输入的 S 投影到人体模型上。首先,用户手绘输入特征笔画,然后,系统按照 S 的模型对笔画采样^[6],最后,将笔画投影(即笔画的坐标转换^[7])到人体模型上。

1.6 映射处理

系统最终步骤便是映射处理,即把服装立体模型中所有顶点的坐标映射到人体空间坐标系中,完成穿戴。首先,将服装肩部的两条特征边映射到人体模型肩部那两个笔画上,即特征边映射;然后,在此基础上进行网格映射;最后,完成穿戴。

本文有如下定义:如果三角形有两个顶点已映射,那么可以根据这两个顶点及边长完成第三个顶点的映射,称第三个顶点处于可映射状态;如果只有一个顶点或者零个顶点已被

映射,那么暂时无法完成映射,称不可映射状态。

1.6.1 特征边映射

特征边映射是整个服装映射的基础,后续的工作必须在此基础上进行。如何方便快捷地建立从肩部特征边到肩部笔画的对应关系?系统在特征笔画和特征边的起点处构造了一个小方块,用户只需拖拽小方块便能方便地进行元素配对(例如特征边缝合之前特征边的配对以及特征边映射之前的特征边跟笔画的配对),操作极其简单。

特征边映射的过程如下:首先,用户拖拽小方块将特征边和特征笔画配对;然后,采取如下方法完成特征边映射。

1) 将特征边的第一个顶点 $T.P_0$ 按照式(1)映射到特征笔画的第一个顶点 $F.P_0$ 。

$$T.P_0 = F.P_0 + d \times N_0 \quad (1)$$

2) 依次取出 T 中的线段与顶点对 $\langle T.p_{i-1}P_i, T.P_i \rangle$, $i = 1, \dots, n$, 计算线段 $T.p_{i-1}P_i$ 的长度 l_i , 循环执行如下过程。

3) 从特征笔画的起点开始遍历特征笔画中的顶点,并迭代地记录当前顶点 $F.P_j$ 与上一个顶点 $F.P_{j-1}$, 依次累加计算笔画中线段长度和 l_s (初始化为0)。如果 l_s 的长度大于当前线段长度 l_i , 则可以映射特征边中当前点,按照式(2)计算其坐标:

$$T.P_i = F.P_j + (l_s - l_i) \times (F.P_{j-1} - F.P_j) + d \times (N_{j-1} + N_j) \quad (2)$$

当前点映射完成后使 $l_s = l_s - l_i$, 重复执行2),直到 T 中所有顶点完成映射。

在式(1)和式(2)中, d 表示系统预设的服装与人体模型的间距, N_j 表示特征笔画中顶点 $F.P_j$ 所映射到的人体模型的对应点的单位法向量。

1.6.2 网格映射

网格映射的目标是在特征边映射的基础上,逐步迭代地将服装立体模型中的所有顶点的坐标在人体模型空间坐标系中确定下来,模拟出穿戴的效果。

在特征边映射之后、网格映射之前的服装网格结构中,有一些顶点处于已映射状态(如肩部特征边上的顶点),还有一些处于可映射状态(如肩部特征边附近的点),更多的是处于不可映射状态。

显然,只能对处于可映射状态的点进行处理。对可映射点的处理其实是一个知二求一的过程:三角形 T 有2个顶点(设为 P_1 和 P_2) 已映射,已知3条边长分别为 l_1 、 l_2 和 l_3 并且已知 P_1 、 P_2 在人体模型上的法向量 n_1 、 n_2 , 求解另一个顶点 P_3 ,如图6所示。

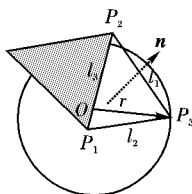


图6 知二求一示意图

首先,取 $n = n_1 + n_2$ 作为 T 所在平面的法向量。该方法最为简单,计算代价小,并且在绝大多数的情况下能得到很好的结果,其缺点是在模型表面曲率较大的地方,该法向量是不精确的;然后,利用式(3)求得 P_3 :

$$P_3 = O + r \times Unit[(P_2 - P_1) \times n] \quad (3)$$

在这个公式中, O 是以 P_1 、 P_2 为圆心, l_1 、 l_2 为半径的两个球的相交圆的圆心, r 为相交圆的半径, $Unit$ 表示单位化。

容易发现,网格映射是持续知二求一的过程:首先利用已映射点,求可映射点;执行完后,以前的可映射点变成已映射点,以前的不可映射点变成可映射点;接着执行知二求一,直到网格中所有点都求出来,完成穿戴。

1.6.3 映射策略

每次迭代过程中都有许多可映射点,优先选取哪些点进行处理对最终的模拟效果有着显著影响。因此,需要制定一个合理的顶点映射策略。本文采用如下策略:由于特征边是最先进行映射的,所以特征边上的顶点的映射优先权权值最高。很自然的,距离特征边越近的点,权值越高,距离越远的点,权值越低。在对网格中的顶点进行映射之前,先采用式(4)计算出每个顶点的权值。

$$Q_v = \sum_{i=1}^n q_i \times 1.25^{(R-d_i)} \quad (4)$$

其中: R 是一个常数; d_i 表示当前特征顶点集中第 i 个顶点到 v 的最短路径长度, q_i 是该特征顶点的权值。从式(4)可以看出,权值的计算按特征顶点 v_i 到当前顶点的距离按指数衰减计算而来。其中 R 表示衰减半径,当距离大于 R 时, v_i 对 v 的权值影响甚微。

在计算完所有非特征顶点的权值后,按权值大小把顶点放入队列 Q 中,对队列 Q 执行如下操作:取出队列的第一个顶点,采用前面介绍的网格映射方法进行映射,如果映射失败(即不满足映射条件),将该顶点放到队列尾部;重复上述过程直到 Q 为空。这样就能将所有顶点按优先顺序完成映射。

2 系统效果展示

系统处理一次模拟需要经过以下步骤:首先,加载人体模型和服装结构如图7所示,用户通过CAD在图纸上标记一些特征边和省;然后,进行服装网格化;接着,进行服装缝合,包括特征边缝合(用户拖拽对特征边配对)和省处理;接着,用户拖拽实现特征边和特征笔画的配对如图8所示;紧接着,进行网格映射,如图9所示;最后,完成穿戴模拟,如图10所示。

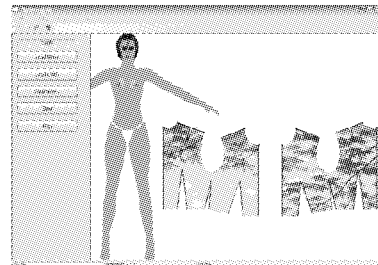


图7 加载人体模型和服装模型

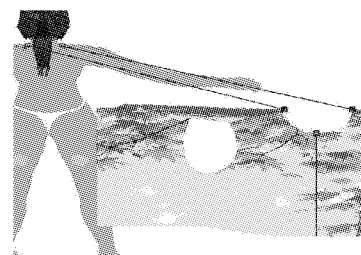


图8 通过拖拽实现特征边和特征笔画的配对



图9 网格映射

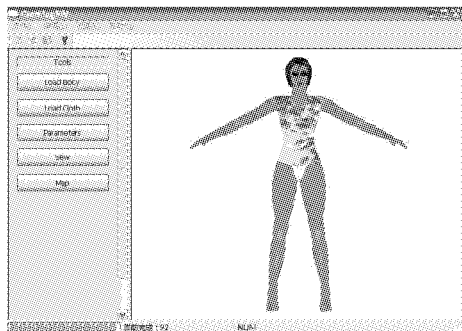


图10 最终结果

3 结语

针对服装穿戴模拟在传统服装结构设计中连续性、直观性和精确性差等问题,本文以服装结构平面图为对象,设计实现了一个面向服装结构设计的服装穿戴模拟系统,以达到帮助服装设计师实时观察服装结构设计效果的目的。系统对服装进行了平面建模和立体建模两层建模。两层模型准确完整地表达服装的形态和自定义信息。系统操作简便,用户通过简单的标记和拖拽便能完成一次穿戴。最后给出了该系统的实现效果。下一步将改善数据结构,减小数据冗余,增加物

理模型实现织物仿真,利用能保存模型细节的拉普拉斯法^[8-10]来实现服装模型的编辑。

参考文献:

- [1] IGARASHI T, HUGHES J F. Clothing manipulation [C]// 15th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. New York: ACM, 2002: 91-100.
- [2] TURQUIN E, CANI M P, HUGHES J F. Sketching garments for virtual characters [C]// EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling. New York: ACM, 2004: 175-182.
- [3] 张皋鹏. 服装结构设计[M]. 成都: 四川大学出版社, 2008.
- [4] 李长勋. AutoCAD ObjectARX 程序开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [5] CHEW L P. Constrained delaunay triangulations [C]// Proceedings of the Third Annual Symposium on Computational Geometry. New York: ACM, 1987: 97-108.
- [6] 孙正兴, 徐晓刚, 孙建勇, 等. 支持方案设计的手绘图形输入工具[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(9): 1145-1152.
- [7] ANGEL E. 交互式计算机图形学——自顶向下方法与 OpenGL 应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [8] MAILLOT J, STAM J. A unified subdivision scheme for polygonal modeling [J]. Eurographics, 2001, 20(3): 1-10.
- [9] SORKINE O, COHEN-OR D, LIPMAN Y, et al. Laplacian surface editing [C]// Eurographics Symposium on Geometry Processing. Nice: Eurographics Association, 2004: 179-188.
- [10] NEALEN A. Interfaces and algorithms for the creation, modification, and optimization of surface meshes [D]. Berlin: Technische Universität Berlin, Institut für Technische Informatik und Mikroelektronik, 2007.

(上接第323页)

为了降低多跳链路中非所测链路给探测包对间隔的影响,本文的改进方法中有50%的探测包对用于测量瓶颈链路前的包对间隔,直接看来似乎增大了测量开销,然而改进方法的包对结构中占总开销97.5%的负载包将在瓶颈链路前后被丢弃,因此改进方法的探测流对网络的影响小于传统方法。

虽然改进方法要比传统方法多发送一倍的探测包,但由于测量瓶颈链路前后的包对间隔互不影响,因此对测量瓶颈链路前后包对间隔的探测包可以交错发送,使总的速率为传统方法的两倍,从而保证了改进方法与传统方法总的测量时间相当。

4 结语

针对基于液体流模型的可用带宽测量算法在突发背景流及多跳链路环境下测量精度较低的问题,本文基于非液体流模型分析了获得高精度测量的参数设置方法,提出了一种改进的包对结构,结合探测包TTL值的设置,获得了瓶颈链路前的包对输入间隔,减小了后跳链路对包对输出间隔的影响,从而提高了在多跳链路环境下的可用带宽测量精度。如何修正实际测量中由各因素影响产生的测量偏差是下一步研究的方向,本文基于非液体流模型测量精度的分析及改进的包对结构可为新的可用带宽测量算法研究提供参考。

参考文献:

- [1] 刘敏, 李忠诚, 过晓冰, 等. 端到端的可用带宽测量方法[J]. 软件学报, 2006, 17(1): 108-116.
- [2] 韦安明, 王洪波, 林宇, 等. IP网带宽测量技术研究与进展[J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1301-1310.
- [3] LIU X, RAVINDRAN K, LIU B Y, et al. Single-hop probing asymptotics in available bandwidth estimation: sample-path analysis [C]// Proceedings of the 4th SIGCOMM Conference on Internet Measurement. New York: ACM, 2004: 300-313.
- [4] LIU X, RAVINDRAN K, LOGUNOV D. What signals do packet pair dispersions carry? [C]// 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 281-292.
- [5] HAGA P, DIRICZI K, VATTAY G, et al. Understanding packet pair separation beyond the fluid model: the key role of traffic granularity [C]// Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 1-13.
- [6] DOVROLIS C, RAMANATHAN P, MOORE D. What do packet dispersion techniques measure? [C]// Proceedings of 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 281-292.