



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104282042 A

(43) 申请公布日 2015. 01. 14

(21) 申请号 201410466267. X

(22) 申请日 2014. 09. 12

(71) 申请人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工路
2 号

(72) 发明人 王胜法 王智慧 胡江北 催智语
潘怡霖

(74) 专利代理机构 大连理工大学专利中心
21200

代理人 梅洪玉

(51) Int. Cl.

G06T 17/30(2006. 01)

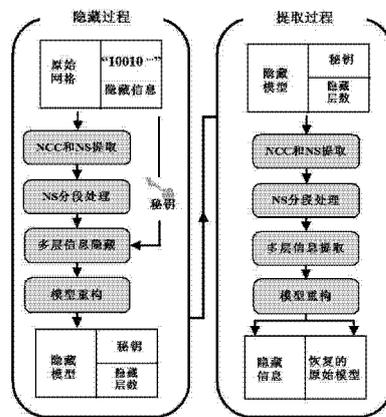
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于段移位的可逆 3D 多边形网格数据隐藏算法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于段移位的可逆 3D 多边形网格数据隐藏算法,主要包括信息隐藏和信息提取两部分,其中核心部分是通过 3D 网格的信息处理,得到法向控制坐标与法向标签信息,然后对其做分段处理,再分别进行信息隐藏和信息提取,最后通过模型重构得到处理后的 3D 网格模型。本发明的隐藏方法通过在模型上构造分段隐藏策略,使得隐藏误差控制在较小且可控范围内,可使得用户在一个 3D 网格模型上隐藏无限多信息,并且保证较高的信噪比,真正解决了信息隐藏量与信噪比直接的矛盾问题。作为一种新的 3D 模型信息隐藏方式,在网络通信、数字家庭及信息安全等领域有着较强的应用价值。



1. 一种基于段移位的逆 3D 多边形网格数据隐藏算法,其特征在于如下步骤:

步骤 1:3D 网格信息处理

1) 信息提取:给定网格 $M(V, E, N)$,其中 V 表示网格顶点集合, E 表示网格边集合, N 为点法向量集合;对于点集中任意一点 v_i ,它的法向控制坐标 NCC 表示如下:

$$\delta = N(v_i) = \sum_{j \in N(i)} W_{ij}(V_i - V_j) \quad (1)$$

其中 $N(i)$ 是 v_i 的一环邻域点的索引集合, W_{ij} 是邻域点在投影平面 (v_i 点的切平面) 上归一化的中值坐标权;

进而,获得 v_i 点的法向标签 (NS): $S(v_i) = \delta_i \cdot n_i \quad (2)$

其中 n_i 表示顶点的 v_i 的法向量;NS 是个标量,有效地代表当前位置的几何信息,并且 NS 具有平移不变;

2) 分段处理:对上步计算得到的法向标签 NS 进行等距分段;记最大的 NS 为 S_{\max} ,最小为 S_{\min} ,将区间 $[S_{\max}, S_{\min}]$ 均匀分成 2^h+2 小区间段, h 为正整数,令对应每段标号为 $\{0, 1, 2, \dots, 2^h+1\}$;固定首末两个小段不动,再对剩下的 2^h 个小段进行按序分配成若干个大区间段,每个大段包含 2^k 个小段,其中 k 为正整数,且 $k < h$;统计每个小段包含法向标签的个数 m ,然后在每个大段中挑选出 m 值最大的小段,记为大段的峰值段,也是将用于隐藏信息的小段;

步骤 2:信息隐藏

给定待隐藏信息 $SM = \{001110010100 \dots 010\}$,该信息写成 k -位信息流形式,即每 k 位合并成一组,隐藏到每个网格点对应的 NS 中;

1) 位置表及密钥构造

根据每大段的峰值段,生成数据隐藏位置的位置表,即隐藏信息处记为 1,非隐藏处记为 0;保持首小段和末小段不变,即 0 段和 2^h+1 段的包含的所有网格点对应位置表设为 0;

每个大段中包含 2^k 个小段,根据大段中小段的标号,构建一个 k -位二进制密钥 key ,即每个小段唯一对应一个 k -位二进制数,对应的十进制整数是 $[0, 2^k-1]$;给定一组 k -位隐藏信息;每大段对应一个密钥或所有大段都使用同一个密钥;

2) 隐藏流程

从位置表中按顺序逐个提取非零元素,即隐藏信息的网格点位置;对于取出的隐藏点位置,从 SM 中取出一组 k 位数据,根据定义的密钥知该 k 位数据对应的小段标号,将隐藏点从原来所属小段移动到密钥中数据对应的小段中,并将该点一环邻域点标记为非隐藏点;隐藏点移动距离为 $d = (s_1 - s_2) * |s|$,其中 s_1 为当前点原来所属小段标号, s_2 为密钥中数据对应的小段标号, $|s|$ 为小段的长度;依次类推,当位置表中所有隐藏点都处理完毕或者 SM 中信息隐藏完毕为止;

对于多层隐藏,多层隐藏将以上的单层隐藏过程重复进行,提取过程按照隐藏信息相反顺序进行;

信息隐藏过程是将 SM 信息隐藏到 3D 网格对应的 NS 中,根据公式 (1) 和 (2),新的 NS 得出新的 NCC ,即由公式 (1) 计算出新的 3D 网格;密钥以及隐藏层数以由压缩技术压缩后由其他传输方式发给接收方,位置表作为隐藏信息一部分直接隐藏到模型前部分固定区域;

步骤 3:信息提取

给定隐藏信息的 3D 网格、密钥和隐藏层数 ;利用和隐藏过程同样的网格信息处理方法,得到分段信息 ;然后根据位置表找到隐藏信息的网格点位置以及所属峰值段,利用密钥找出每个隐藏点隐藏的数据信息,并恢复隐藏点的原始或上一层位置 ;依次类推,直到位置表所有隐藏位置处理完毕为止,再通过与隐藏过程相同的重构方法得到原始或上一层模型 ;这里注意,对于多层隐藏,提取过程与隐藏信息顺序相反,每层提取过程同上,直到提取完为止 ;最后得到隐藏信息 SM 以及原始网格模型。

一种基于段移位的可逆 3D 多边形网格数据隐藏算法

技术领域

[0001] 本发明适用于一种基于 3D 多边形网格数据的隐藏方法,属于计算机图形学、信息传输领域,特别是适用于机密信息通信领域。

背景技术

[0002] 随着现代通信技术的发展和迅速普及,特别是随着由通信和计算机相结合而诞生的计算机互联网的广泛应用,使得信息的共享、传播日益频繁和深入。他给人们带来种种便利的同时也带来了一系列信息安全问题,比如信息窃取。多媒体信息的版权保护问题、信息篡改问题等。而传统信息安全保障手段——密码术并不能真正解决此类问题。为此,人们提出了信息隐藏技术,实践证明信息隐藏技术是解决上述一系列的信息安全问题的有效手段,因此成为了人们研究的热点。

[0003] 目前,信息隐藏技术在国际上的研究和应用领域主要包括:隐蔽通信中的掩密术和多媒体产品版权保护中的数字水印。其中,利用数字图形图像实现的信息隐藏技术,是当前学术研究领域较为普遍和相对成熟的信息隐藏技术。从上世纪 90 年代开始,信息隐藏技术及应用取得了长足的进展,有大量的相关理论和论文发表,但是基于 3D 图形的信息隐藏技术并没有得到太多的关注,尤其在近些年,3D 扫描技术与网格生成技术完善与快速发展使得这一问题更为突出。总体来说,信息隐藏技术,尤其是以数字图形为介质的信息隐藏技术尚未发展到完善得可实用阶段,仍有不少技术性问题需要解决。信息隐藏技术追求的主要目标是在不引起强烈视觉差的前提下实现更高的隐藏量,不仅要求算法考虑隐藏能力,还要有一定的抗鲁棒性等特质来保证在信道传输过程中的稳定。在目前 3D 信息隐藏的一些研究成果中,还没有能很好解决隐藏量和信噪比这一突出矛盾的。而我们提出的算法,可以保证在相对较高信噪比的前提下实现隐藏量无限增大,这对信息隐藏技术的应用发展有着重要促进作用。

[0004] 当前被广泛研究的信息隐藏技术大部基于二维图像,对 3D 模型上的隐藏技术的关注和研究较少,而在已有的基于 3D 模型的信息隐藏技术研究成果中,没有很好克服隐藏量和抗噪性这一矛盾,使得要保证信噪比的情况下,就要适当牺牲隐藏量。与此同时,已有的大部分算法对载体图形的几何形状有着较高的要求,使得其抗噪性进一步减弱。鉴于上述原因,我们提出了一种基于段移位的可逆 3D 多边形网格数据的隐藏算法。此方法利用对网格点的几何信息分析得到有效点的法向控制坐标向量,对该向量的长度进行分段移位实现密钥信息的隐藏和提取,可实现多层隐藏,可以保证在较高的信噪比情况下,信息隐藏量达到无穷级别。真正解决了信息隐藏量与信噪比直接的矛盾问题。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种基于段移位的可逆 3D 多边形网格数据隐藏算法,主要包括信息隐藏和信息提取两部分,其中核心部分是通过 3D 网格的信息处理,得到法向控制坐标与法向标签信息,然后对其做分段处理,再分别进行信息隐藏和信息提取,最后通过模型重构

得到处理后的 3D 网格模型。

[0006] 一种基于段移位的可逆 3D 多边形网格数据隐藏算法,包括如下步骤:

[0007] 步骤 1 :3D 网格信息处理

[0008] (一) 信息提取

[0009] 首先,给定网格 $M(V, E, N)$,其中 V 表示网格顶点集合, E 表示网格边集合, N 为点法向量集合。对于点集合中任意一点 v_i ,它的法向控制坐标 (NCC) 可以表示如下:

$$[0010] \quad \delta = N(v_i) = \sum_{j \in N(i)} W_{ij}(V_i - V_j) \quad (1)$$

[0011] 其中 $N(i)$ 是 v_i 的一环领域点的索引集合, W_{ij} 是邻域点在投影平面 (v_i 点的切平面) 上归一化的中值坐标权,如图 2 所示。

[0012] 进而,我们可以获得 v_i 点的法向标签 (NS):

$$[0013] \quad S(v_i) = \delta_i \cdot n_i \quad (2)$$

[0014] 其中 n_i 表示顶点的 v_i 的法向量。NS 是个标量,可以有效地代表当前位置的几何信息,如特征尺寸,凸凹性等,并且 NS 具有平移不变,旋转不变和尺度不变等性质,而这些属性适合于数据隐藏。

[0015] (二) 分段处理

[0016] 对上步计算得到的法向标签 NS 进行等距分段。记最大的 NS 为 S_{\max} ,最小为 S_{\min} ,将区间 $[S_{\max}, S_{\min}]$ 均匀分成分成 2^h+2 小区间段, h 为正整数,令对应每段标号为 $\{0, 1, 2, \dots, 2^h+1\}$ 。固定首末两个小段不动,再对剩下的 2^h 个小段进行按序分配成若干个大区间段,每个大段包含 2^k 个小段,其中 k 为正整数,且 $k < h$ 。统计每个小段包含法向标签 (即,网格点) 的个数 m ,然后在每个大段中挑选出 m 值最大的小段,记为大段的峰值段,也是将用于隐藏信息的小段。

[0017] 步骤 2 :信息隐藏

[0018] 给定待隐藏信息 $SM = \{001110010100 \dots 010\}$,该信息还可写成 k -位信息流形式,即每 k 位合并成一组,隐藏到每个网格点对应的 NS 中。

[0019] 1. 位置表及密钥构造

[0020] 根据每大段的峰值段,生成数据隐藏位置的位置表 (location map),即可隐藏信息处记为 1,非隐藏处记为 0。另外,为了保证正确提取信息,我们保持首小段和末小段不变,即 0 段和 2^h+1 段的包含的所有网格点对应位置表设为 0。

[0021] 由前面可知,每个大段中包含 2^k 个小段,根据大段中小段的标号,构建一个 k -位二进制密钥 (key),即每个小段唯一对应一个 k -位二进制数 (对应的十进制整数是 $[0, 2^k-1]$)。给定一组 k -位隐藏信息,该密钥唯一确定了该信息与小段间的对应关系。注意这里可以每大段对应一个密钥,也可以所有大段都使用同一个密钥。

[0022] 2. 隐藏流程

[0023] 从位置表中按顺序逐个提取非零元素,即可隐藏信息的网格点位置 (为了正确提取信息,每个大段峰中值段的第一个点不藏入信息)。对于取出的可隐藏点位置,从 SM 中取出一组 k 位数据,根据定义的秘钥可知该 k 位数据对应的小段标号,将可隐藏点从原来所属小段移动到密钥中数据对应的小段中,并将该点一环邻域点标记为非隐藏点。这里隐藏点移动距离为 $d = (s_1-s_2) * |s|$,其中 s_1 为当前点原来所属小段标号, s_2 为密钥中数据对应的

小段标号, $|s|$ 为小段的长度。依次类推, 当位置表中所有可隐藏点都处理完毕或者 SM 中信息隐藏完毕为止。

[0024] 对于多层隐藏, 由于该方法是无损隐藏, 并且可以精确恢复原始模型, 因此多层隐藏将以上的单层隐藏过程重复进行即可, 提取过程按照隐藏信息相反顺序进行。

[0025] 信息隐藏过程是将 SM 信息隐藏到 3D 网格对应的 NS 中, 根据公式 (1) 和 (2), 新的 NS 可以得出新的 NCC, 即可由公式 (1) 计算出新的 3D 网格。密钥以及隐藏层数可以由压缩技术压缩后由其他传输方式发给接收方, 位置表可作为隐藏信息一部分直接隐藏到模型前部分固定区域。

[0026] 该方法利用可隐藏点在大段中不同小段间移动来隐藏信息, 将隐藏误差严格限制在大段范围之内, 因此, 可通过控制大段长度将隐藏引起的误差限制在非常小的范围, 可保证信噪误差始终保持在较小值, 并且不会随着隐藏信息量增加而增加, 详细数据请参考后面具体实施部分。

[0027] 步骤 3 : 信息提取

[0028] 给定隐藏信息的 3D 网格、密钥和隐藏层数。利用和隐藏过程同样的网格信息处理方法, 得到分段信息。然后根据位置表找到隐藏信息的网格点位置以及所属峰值段, 利用密钥找出每个隐藏点隐藏的数据信息, 并可恢复隐藏点的原始 (或上一层) 位置。依次类推, 直到位置表所有隐藏位置处理完毕为止, 再通过与隐藏过程相同的重构方法得到原始 (或上一层) 模型。这里注意, 对于多层隐藏, 提取过程与隐藏信息顺序相反, 每层提取过程同上, 直到提取完为止。最后可得到隐藏信息 SM 以及原始网格模型。

[0029] 本发明的隐藏方法通过在模型上构造分段隐藏策略, 使得隐藏误差控制在较小且可控范围内, 可使得用户在一个 3D 网格模型上隐藏无限多信息, 并且保证较高的信噪比, 真正解决了信息隐藏量与信噪比直接的矛盾问题。作为一种新的 3D 模型信息隐藏方式, 在网格通信、数字家庭及信息安全等领域有着较强的应用价值。

附图说明

[0030] 图 1 信息隐藏和提取流程图。

[0031] 图 2NCC 构造示意图。

具体实施方式

[0032] 本发明实施分为信息隐藏过程和信息提取两个过程, 其中每个过程包括三个主要步骤:

[0033] (一) 信息隐藏过程

[0034] 1. 网格信息处理

[0035] 给定待隐藏信息三角网格以及其点法向量, 提取 NS 信息, 并对 NS 进行分段处理, 例如, 取 $h = 13, k = 3$, 则小段为 $\{0, 1, 2 \dots 8193\}$, 每个大段包含 8 个小段

[0036]

大段	1—8	9—16	17—24	25—32	33—40	41—48	...	8185—8192
峰值段	4	13	18	30	35	44	...	8190

频率	13	15	16	12	10	16	...	18
----	----	----	----	----	----	----	-----	----

[0037] 如上表可以知道小段 4, 13, 18, ..., 8190 分别为峰值段, 则位置表中在这些峰值段范围内的网格点都标记为 1, 其他标记为 0。然后对得到的位置表进行相应的优化, 将峰值点和第 0 段以及第 8190 小段中的点及其一环邻域都设定为 0。

[0038] 2. 信息隐藏

[0039] 当 $k = 3$ 时, 隐藏的信息 SM 的序列写成 3-bit 信息流为 {001110010100...010}, 假设对应的第一大段密钥 (key) 为, 其中第 4 小段为峰值段

[0040]

小段	1	2	3	4	5	6	7	8
3 位信息	010	001	101	110	000	011	111	100

[0041] 从位置表中取出标记为 1 的可隐藏信息网格点。需要注意的是, 为了提取信息, 每个大段的峰值段的第一个点不存信息。从 SM 取出 3-bit 信息“001”, 例如, 该可隐藏信息网格点位于第一大段中第 4 小段 (可藏信息段), 则根据该段的密钥可知将该点移动到第 2 小段, 并将该点一环邻域点标记为非隐藏点。依次类推, 直到位置表中所有可隐藏点都已经处理完毕或者 SM 中信息隐藏完毕为止。对于多层隐藏, 将以上的单层隐藏过程重复进行即可, 提取过程按照隐藏信息相反顺序进行。

[0042] 3. 网格重构

[0043] 信息隐藏过程是将 SM 信息隐藏到 3D 网格对应的 NS 中, 根据公式 (1) 和 (2), 新的 NS 可以得出新的 NCC, 即可由公式 (1) 计算出新的 3D 网格。密钥以及隐藏层数可以由压缩技术 JBIG1 压缩后由其他传输方式发给接收方, 位置表可作为隐藏信息一部分直接隐藏到模型前 2% 固定区域。

[0044] (二) 信息提取过程

[0045] 信息提取过程与信息隐藏过程类似也分为三个步骤: 网格信息处理、信息提取、网格重构。其中网格信息处理与网格重建与信息隐藏过程使用相同方法。信息提取利用上部得到分段信息后, 根据从模型前 2% 点提取出位置表得到隐藏信息的网格点位置以及所属峰值段, 利用密钥找出每个隐藏点隐藏的数据信息, 并可恢复隐藏点的原始 (或上一层) 位置。依次类推, 直到位置表所有隐藏位置处理完毕为止。对于多层隐藏, 提取过程与隐藏信息顺序相反, 每层提取过程同上, 直到提取完为止。最后可得到隐藏信息 SM 以及原始网格模型。

[0046] (三) 实验结果

[0047] 方案在多个模型上实验均可以达到理想效果, 这里选取 9 个模型进行实验对比。我们使用 Matlab 2012a 将上述提案在不同 3D 模型上进行信息隐藏和提取模拟仿真, 并且取得了明显的效果。从结果来看, 我们的方法具备十分高的信息隐藏能力同时模型发生变形很小, 而且对任意形状模型都适用。在衡量评估算法时, 我们用信噪比 (PSNR) 表现抗噪性, 隐藏率 (ER) 间接表现隐藏能力 (EC), 其中:

[0048]
$$ER = \frac{EC}{|V|}, EC = k * \sum_i^{2^{(h-k)}} (peak_i - 1)$$

[0049] 这里 |V| 表示所有点的数量, $2^{(h-k)}$ 为大段个数, $peak_i$ 表示第 i 大段中峰值段包含点的个数。

[0050] 表一列出在不同 h (所分小段为 $2+2^h$ 段)、不同 k (每大段有 2^k 小段) 情况下, 得出 PSNR 和 ER 分布情况, 以获取合适的 h, k 取值。从表中可以看出当 h 取 13, k 取 3 时, 综合效果较好, 即, 在保证较小误差 (PSNR 越大误差越小) 同时, 能够获得较好的隐藏率。进一步, 通过一系列实验证明, 该组取值对与其它模型也同样适用。

[0051] 表一 h、k 与 PSNR、ER 之间的关系 (实验用 Horse 模型)

[0052]

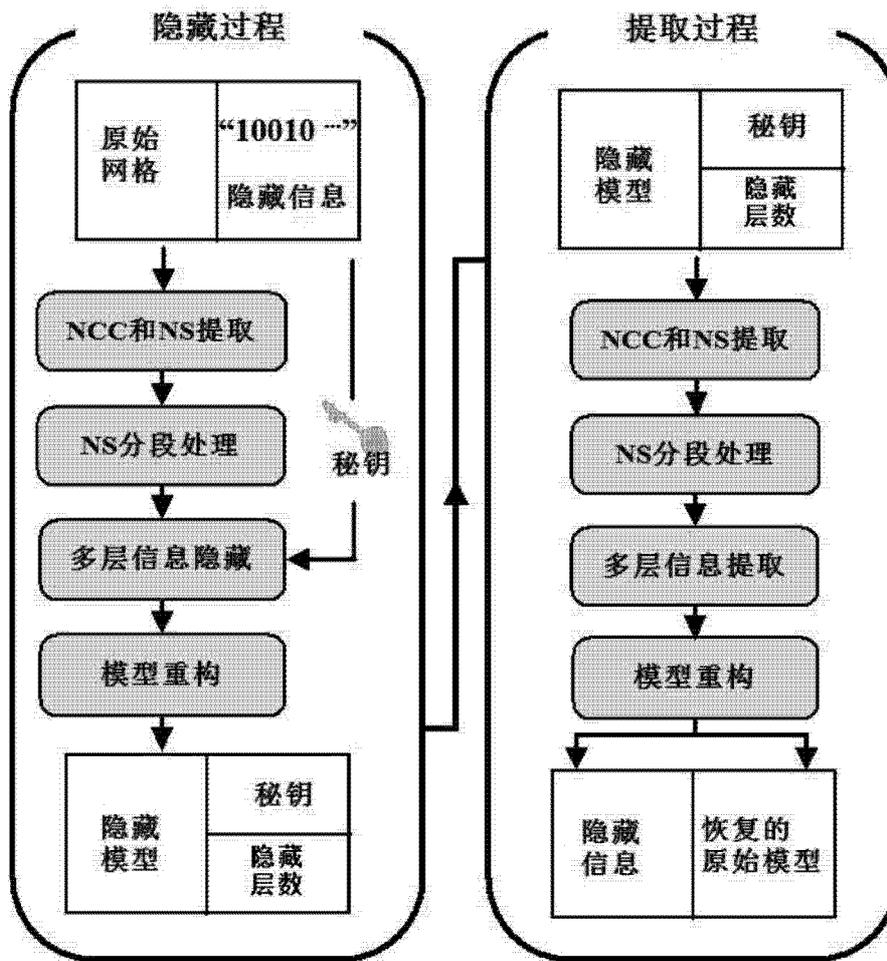
h \ k	h									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
2	78.9126	84.5658	90.5658	97.0971	103.6537	109.7393	115.7947	122.7249	128.3089	
	0.3015	0.3091	0.2995	0.2922	0.2879	0.2778	0.2612	0.2422	0.2041	
3	73.5383	79.3356	85.8215	91.9011	98.5861	104.1511	110.9731	116.8913	123.8403	
	0.3668	0.3270	0.3192	0.3092	0.3038	0.2993	0.3025	0.2995	0.2574	
4	68.8579	76.2781	83.8848	89.6575	94.2618	101.7064	107.8707	113.0551	119.4622	
	0.4456	0.3335	0.2871	0.2643	0.2685	0.2623	0.2743	0.2766	0.2585	
5	64.0276	71.0612	78.3474	83.3927	88.3012	95.4828	102.0276	107.3084	113.5497	
	0.4129	0.3501	0.2615	0.2147	0.2035	0.2105	0.2202	0.2366	0.2319	

[0053] 进一步实验证实我们的方法在解决隐藏率和信噪比 (PSNR) 矛盾问题的有效性。在下表中展示出我们的方法针对不同模型进行隐藏层数和 PSNR 的关系实验。可以看出, 信噪比 (PSNR) 并没有随着隐藏层数, 即隐藏量的增加而明显下降, 而是保持在一个较高水平。据我们所知, 目前该方法是 3D 模型信息隐藏中唯一能够解决隐藏量和信噪比矛盾的方法, 而且我们的方法, 理论上是可以无限量隐藏的。

[0054] 表二 不同模型下, 隐藏层数和 PSNR 的关系

[0055]

模型 (点个数)	隐藏层数									
	1	3	5	7	9	11	13	15	100	500
Horse(8431)	116.89	115.51	113.67	110.82	109.02	108.87	108.18	107.62	103.47	101.12
Venus(8268)	117.54	113.27	111.56	110.85	110.37	109.89	109.6	109.31	106.92	103.66
Elephant(24955)	115.91	113.63	111.75	110.74	109.13	108.84	108.07	107.79	104.33	101.68
Dinosaur(28287)	124.38	121.16	118.97	117.32	116.57	115.92	115.58	115.11	113.24	111.11
Armadillo(34594)	122.53	119.59	117.36	115.69	114.5	113.89	113.08	112.78	110.2	107.85
Bunny(35947)	116.41	112.32	110.62	109.48	108.65	108.01	107.35	107.09	104.79	102.63
Gargoyle(51335)	122.13	118.75	115.03	113.37	111.89	110.94	110.32	109.81	105.36	102.82
Hand(163657)	119.27	116.13	113.79	111.68	109.79	108.66	107.92	107.26	103.17	100.5
Dragon(4376455)	121.13	118.69	115.45	113.25	112.41	111.61	110.84	110.22	108.4	105.37



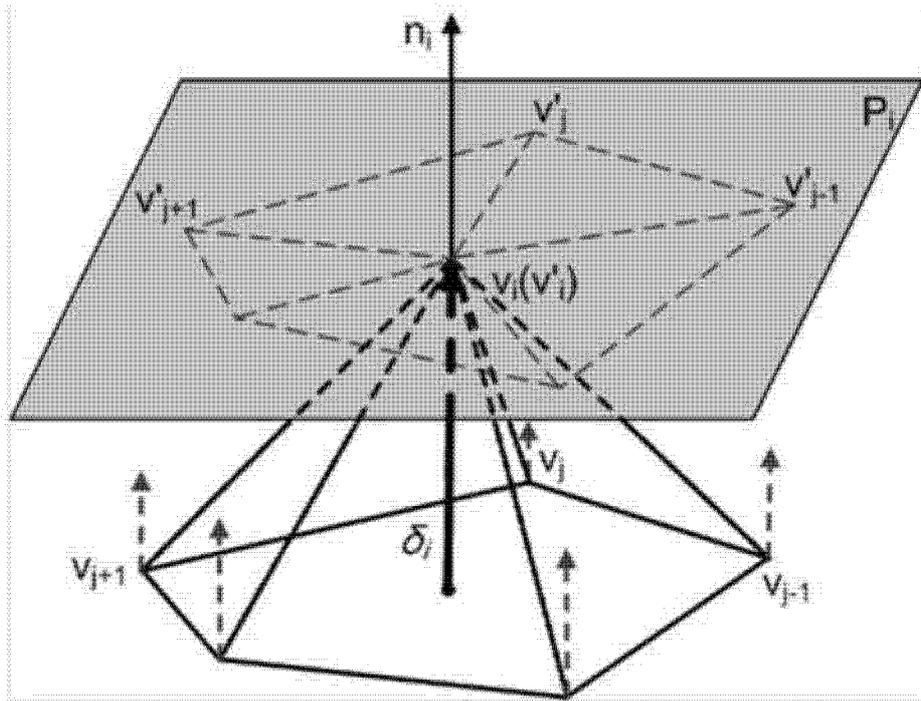


图 2