

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2015 年 12 月 17 日 (17.12.2015)



(10) 国际公布号
WO 2015/188445 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 17/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/084701
- (22) 国际申请日: 2014 年 8 月 19 日 (19.08.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201410264099.6 2014 年 6 月 13 日 (13.06.2014) CN
- (71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 黄惠 (HUANG, Hui); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 伍世浩 (WU, Shihao); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 孙威 (SUN, Wei); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 龙品辛 (LONG,

Pinxin); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 龚明伦 (GONG, Minglun); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 科恩丹尼尔 (COHEN-OR, Daniel); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 多伊森奥利夫·马丁 (DEUSSEN, Oliver Martin); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市科进知识产权代理事务所 (普通合伙) (SHENZHEN KEJIN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国广东省深圳市南山区工业六路创业壹号大楼 D 栋 210B, Guangdong 518055 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

[见续页]

(54) Title: POINT CLOUD THREE-DIMENSIONAL MODEL RECONSTRUCTION METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 点云三维模型重建方法及系统

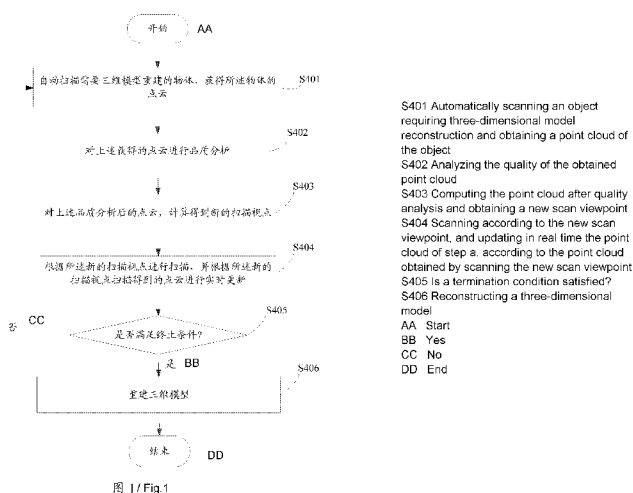


图 1 / Fig.1

(57) Abstract: The present invention relates to a point cloud three-dimensional model reconstruction method, comprising the following steps: a. scanning and obtaining a point cloud of an object requiring three-dimensional model reconstruction; b. analyzing the quality of the obtained point cloud; c. computing the point cloud after quality analysis and obtaining a new scan viewpoint; d. scanning according to the new scan viewpoint, and updating in real time the point cloud of step a according to the point cloud obtained by scanning with the new scan viewpoint; and e. reconstructing the three-dimensional model according to the cloud point obtained after the real-time update. The present invention also relates to a point cloud three-dimensional model reconstruction system. The present invention can realize full automatic reconstruction of a three-dimensional model to create a high quality point cloud model. In addition, the present invention is easy to implement and has high efficiency.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2015/188445 A1



QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明涉及一种点云三维模型重建方法, 包括如下步骤: a.扫描获得需要三维模型重建的物体的点云; b.对上述获得的点云进行品质分析; c.对上述品质分析后的点云, 计算得到新的扫描视点; d.根据所述新的扫描视点进行扫描, 并根据所述新的扫描视点扫描得到的点云对步骤 a 的点云进行实时更新; e.根据实时更新后得到的点云进行三维模型重建。本发明还涉及一种点云三维模型重建系统。本发明能够对三维模型实现全自动重建, 并产生高品质的点云模型, 同时本发明实现方案简单, 效率高。

点云三维模型重建方法及系统

技术领域

本发明涉及一种点云三维模型重建方法及系统。

背景技术

计算机三维模型在人们当今的生活（如游戏、影视和虚拟现实等）和生产（如 3D 打印、逆向工程和数字化城市等）活动中，起着重要的基础性作用。传统的手工三维建模已经远远不能满足人们日益增长的需求，发展的瓶颈在于没有一种快速自动建模的手段。尽管三维点云扫描技术已发展二十多年，但是想要扫描一个模型并获得高品质的点云数据，即便是专业用户配备专业设备，仍需花费大量的时间和精力。

现有技术的缺点概括如下：

第一：过分依赖已有点云的重建曲面。现有技术要求必须在已有点云的基础上重建曲面。这种做法效率虽高，但是有两大缺点：一是在物体细节丰富的地方，可能初步扫描的时候就有少量点云覆盖并且能够重建曲面，但还需要更多不同角度的扫描才能够得到足够的点云来恢复原貌，而现有技术假设能重建曲面的部位的点云数据已经足够好，不需要进一步扫描，因而丢失了大量细节和尖锐特征。二是，对于拓扑结构较为复杂的模型（如人体，树木，或工艺摆件），现有的曲面重建方法在不完整的点云上生成的曲面很可能是错误的，然而现有技术假设已生成的曲面都是正确，因而只能处理外形简单的模型。

第二：不分析已有点云的品质。众所周知，受扫描设备的精度，扫描环境的干扰，以及被扫描物体的自身遮挡和材质问题的影响，已扫描到的点云往往有大量的噪声、杂点和空洞。现有自动扫描技术不对这些点云数据固有的缺陷做处理分析，而只是简单地用点云对源模型的覆盖程度作为指引，自动扫描到

的点云模型必然会和真实模型有较大的差异。

第三：点云的拼接和更新效率不高。点云的拼接是指把两个（或多个）从不同视点扫描到的点云数据，根据它们的重叠信息，平移或旋转其中一个点云数据，使得该重叠的部位在空间上完全重合，形成一个合理的整体。现有的点云拼接技术绝大部分是基于迭代最近点算法发展而来的。在模型带特征的地方往往扫描不完整，噪声和杂点较多，因此这种方法在没有人工辅助情况下，依然不够可靠。此外，现有技术都是把所有新扫描的点云数据直接加入到总点云模型当中，造成数据体积过大，或者局部区域数据冗余。

发明内容

有鉴于此，有必要提供一种点云三维模型重建方法及系统。

本发明提供一种点云三维模型重建方法，该方法包括如下步骤：a. 扫描获得需要三维模型重建的物体的点云；b. 对上述获得的点云进行品质分析；c. 对上述品质分析后的点云，计算得到新的扫描视点；d. 根据所述新的扫描视点进行扫描，并根据所述新的扫描视点扫描得到的点云对步骤 a 的点云进行实时更新；e. 根据实时更新后得到的点云进行三维模型重建。

其中，该方法在步骤 d 和步骤 e 之间还包括步骤：判断是否满足终止条件：如果满足终止条件，则进入步骤 e；如果不满足终止条件，则返回步骤 a。

所述的步骤 b 包括：对获得的点云进行降噪预处理；根据预处理后的点云构建距离场，并进行所述距离场的等值面采样得到等值面采样点；对上述每一个等值面采样点进行置信度计算。

所述的步骤 c 包括：根据得到的每一个等值面采样点的置信度，生成扫描视点向量场；根据生成的扫描视点向量场选择下一个扫描视点；根据上述得到的下一个扫描视点形成扫描路径。

所述的步骤 d 包括：采用带置信度权重的方法进行点云拼接；采用带置信度概率的方法进行点云增添。

所述的终止条件为等值面采样点的全局平均置信度达到稳定状态。

本发明还提供一种点云三维模型重建系统，包括获取模块、分析模块、计算模块、更新模块、判断模块及重建模块，其中：所述获取模块用于扫描获得需要三维模型重建的物体的点云；所述分析模块用于对上述获得的点云进行品质分析；所述计算模块用于对上述品质分析后的点云，计算得到新的扫描视点；所述更新模块用于根据所述新的扫描视点进行扫描，并根据所述新的扫描视点扫描得到的点云对所述获取模块的点云进行实时更新；所述重建模块用于根据根据实时更新后得到的点云进行三维模型重建。

其中，该系统还包括用于判断是否满足终止条件的判断模块：如果满足终止条件，则所述重建模块进行三维模型重建；如果不满足终止条件，则返回所述获取模块继续获取点云。

所述的分析模块具体用于：对获得的点云进行降噪预处理；根据预处理后的点云构建距离场，并进行所述距离场的等值面采样得到等值面采样点；对上述每一个等值面采样点进行置信度计算。

所述的计算模块具体用于：根据得到的每一个等值面采样点的置信度，生成扫描视点向量场；根据生成的扫描视点向量场选择下一个扫描视点；根据上述得到的下一个扫描视点形成扫描路径。

所述的更新模块具体用于：采用带置信度权重的方法进行点云拼接；采用带置信度概率的方法进行点云增添。

所述的终止条件为等值面采样点的全局平均置信度达到稳定状态。

本发明点云三维模型重建方法及系统，能够对三维模型实现全自动扫描及重建，通过试探性曲面重建预测，全面分析已有点云的品质，规划扫描路径，对低置信度的部位进行自动地扫描和拼接，最终得到一个高品质的点云模型，同时本发明实现方案简单，效率高。

附图说明

图 1 为本发明点云三维模型重建方法的流程图；

图 2 为本发明点云三维模型重建系统的硬件架构图。

具体实施方式

下面结合附图及具体实施例对本发明作进一步详细的说明。

参阅图 1 所示，是本发明点云三维模型重建方法较佳实施例的作业流程图。

步骤 S401，自动扫描需要三维模型重建的物体，获得所述物体的点云。

步骤 S402，对上述获得的点云进行品质分析。具体如下：

第一步，对上述获得的点云进行降噪预处理，以过滤掉所述点云中大量的噪声和杂点，进行点云优化操作。

第二步，根据预处理后的点云构建距离场，并进行所述距离场的等值面采样，得到等值面采样点。具体而言：

本实施例的点云曲面重建算法采用隐式重建，其核心是构建一个基于带正负的距离隐函数的场（以下简称“距离场”）。给定一个点云模型，空间上每一个点 x 在该场中都有一个对应的值 $f(x)$ 。若 x 在所述点云模型外部，则 $f(x) < 0$ ；反之，则 $f(x) > 0$ ；若 $f(x) = 0$ ，则表示该点在所述点云模型表面上。本实施例得到空间中 $f(x) = 0$ 的位置采样点，然后连接构造一个等值曲面。

采用 Poisson(泊松)方程求解所述距离场：对任意输入点集，把原问题转换成解一个 Poisson 方程，得到一个基于八叉树的基函数集合。如此，对于空间上任意一点 x ，都可以快速通过基函数混合得到对应的距离隐函数值 $f(x)$ 。

等值面提取和采样：在所述距离场上采用 Marching Cube 技术在 $f(x) = 0$ 上构造一个封闭的等值面网格。用置信度评估该等值面网格的品质，从离散实现的角度来说，利用 Poisson-disk 技术在曲面网格上均匀地采样点（本实施例中采样点数目为 5000），然后，为每一个点计算一个置信度（值域范围 0-1）。也就是说，置信度低的地方，几何和拓扑结构信息都比较充分，不需要进一步扫描。下文中，我们称等值面采样点为 iso-points，也称 s_k 。

第三步，对上述每一个等值面采样点进行置信度计算。具体而言：

首先分别用不同方法算出改点处的点云数据的缺失率（基于距离场梯度分析的置信度 f_g ）和属于细节部位的可能性（基于平滑度分析的置信度 f_s ）。然后把这两种置信度相乘混合得到最终的置信度： $f_k = f_g * f_s$ 。

基于距离场梯度分析的置信度 f_g ：经过实验观察发现，一直未被关注的距离场的梯度值 $df(x)$ 有重要作用。简单来说，梯度越大的地方，函数值的变化越陡峭，越能说明该区域在足够数据的支撑下里外拓扑分明，则等值曲面的置信度越大。反之亦然。计算距离场梯度的方法也十分简单，因为 Poisson 方程的解本身就是距离场的梯度值。也就是说，每一个 s_k 都有个 f_g 。

基于平滑度分析的置信度 f_s ：通过下述方法计算得到每个 s_k 平滑度分析的置信度。所述平滑度分析的置信度值越大，说明局部点云分布越不规整，则越有可能是需要多扫描的细节区域。其中， n_k 是 s_k 的法向量， Ω_k 是 s_k 的 K 近邻点（也就是附近最近的前 K 个已扫描点 q ，本实施例中 K 的数目一般为 100）， h_k 是指最远的第 k 个点离 s_k 的距离。

$$f_s(s_k, n_k) = \sum_{j \in \Omega_k} \theta(\|s_k - q_j\|) \phi(n_k, q_j - s_k)$$

$$\theta(\|s_k - q_j\|) = e^{-\|s_k - q_j\|^2 / (h_k/2)^2}$$

$$\phi(n_k, q_j - s_k) = e^{-\|n_k^T(q_j - s_k)\|^2 / (h_k/4)^2}。$$

步骤 S403，对上述品质分析后的点云，计算得到新的扫描视点。具体步骤如下：

得到每一个等值面采样点的置信度后，需要决定最佳的位置和朝向来放置扫描仪，这个位置叫做 NBV（Next Best View，下一个最佳视点）。为了有效的设定自动扫描的行径，每一个扫描迭代选择多个 NBV，通过所述 NBV 决策扫描仪下一个需要移动的部位。所述 NBV 的选择由视点向量场指导，在视点向量场里每个向量的幅度代表了这个点对 NBV 的贡献度，同时也考虑了向量的方向及时扫描仪的朝向。

第一步, 根据上述得到的每一个等值面采样点的置信度, 生成扫描视点向量场。

向量场里每个扫描仪都有其最佳的工作距离 $[d_{near}, d_{far}]$ 。不能把扫描仪放的离物体太近或者太远。基于最远的工作距离, 选择一个外包围盒 B, 所述外包围盒 B 包含了目标物体的所有点, 包围盒 B 内的空间即是 NBVs 的搜索空间。将包围盒 B 转换成三维的立体网格。所述 NBV 得分只在某些格子的中心点计算, 所述格子必须没有被目标物体占据。对每一个空的体素 v_i , 从每一个 iso-point 射出一个光线来测试它的可见性。通过计算 NBV 得分 $g(v_i)$, 来评价空间中的某一点是否适合作为下个扫描点:

$$g(v_i) = \max_{s_k} \{w(v_i, s_k)(1 - f(s_k))\}$$

其中, $f(s_k)$ 为上述 iso-point 的置信度, 且已经被归一化到了 $[0, 1]$ 范围; 权重 $w(v_i, s_k)$ 通过三个子项的乘积进行计算: 基于距离的 w_d , 基于朝向的 w_o , 基于可见性的 w_v 。如下所示:

$$w(v_i, s_k) = w_d(s_k, v_i)w_o(s_k, v_i)w_v(s_k, v_i),$$

$$w_d(s_k, v_i) = e^{-((\|v_i - s_k\| - d_o)^2 / (d_n/4)^2)},$$

$$w_o(s_k, v_i) = e^{-(1 + n_k^T d(v_i, s_k))^2 / (1 - \cos(\sigma))^2},$$

$$w_v(s_k, v_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } s_k \text{ is visible from } v_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

本实施例中, 扫描仪最优工作距离 $d_o = (d_n + d_f) / 2$. $d(v_i, s_k) = (v_i - s_k) / \|v_i - s_k\|$ 代表从 s_k 指向 v_i 的归一化之后的方向。参数 σ 默认设定为 25° 。当指向 v_i 点的 iso-point s_k 的置信度比较低的时候, 得分函数 $g(v_i)$ 有一个较高的值。如果得到 $g(v_i)$ 的最大值, 则将该得分记录在 3D 向量中。为包围盒 B 的所有体素计算最好的 s_k , 以得到视场向量域。

第二步, 根据生成的扫描视点向量场, 利用贪心算法选择下一个扫描视点。

为下一轮的扫描选择扫描点的位置和朝向。首先在 VVF (viewing vector field, 视点向量场) 里选择出局部最大的位置, 把其作为下一次扫描位置。

所述 VVF 被分为很多很多体素，在每个体素中选取局部最大的点。然后选择所述局部最大的点的一个子集作为优化扫描仪朝向的基础。在选择子集的时候，避免选择靠得太近的位置，只选择不相邻的网格中的点作为下一次可能的扫描位置。

使用贪心算法计算得到不相邻的局部最大的点。首先每个细分后的体素中有一个最大的值，这些值形成了一个最初的集合 V ，如果该点的幅值低于给定的阈值，则从集合 V 中删除该点。当某一个点 v_i 被选中之后，将所述点 v_i 加入集合 V^* 中。然后集合 V 中的所有与 v_i 相邻的点都会被删除，直至该集合 V 为空。

所述贪心算法确保每一次选择的位置是不相邻的，并且拥有余下点的最大幅值的位置。因此，集合 V^* 就是要寻找的 NBVs，选择出来的位置的方向是置信度比较低的 iso-points s_k 。接下来，需要选择最优描方向使得下一次扫描能够覆盖尽可能多的低置信度的 iso-points，同时又尽可能多的覆盖部分高置信度的 iso-point 以确保配准的准确性。因此没有直接使用 $d(v_i; s_k)$ 设定扫描仪的朝向，而是在局部范围内选择一个更优的点 $s_{k'}$ 。

$$\operatorname{argmax}_{s_{k'} \in Y_k} \eta(s_{k'}) \zeta(s_{k'}),$$

$$\eta(s_{k'}) = \max_{j \in Y_{k'}} \{w(v_i, s_j) f(s_j)\},$$

$$\zeta(s_{k'}) = \sum_{j \in Y_{k'}} w(v_i, s_j) (1 - f(s_j)).$$

第三步，根据上述得到的下一个扫描视点，形成扫描路径。

本实施例将得到的 NBVs 按照顺时针的顺序排列，形成特定扫描路径规划。

步骤 S404，根据所述新的扫描视点进行扫描，并根据所述新的扫描视点扫描得到的点云对步骤 S401 的点云进行实时更新。具体步骤如下：

第一步，采用带置信度权重的 ICP (Iterative Closest Point) 方法进行点云拼接。

当扫描仪被精确地安置在指定的 NBV 上之后，将新扫描出来的点直接加入到点云中，也就是说这里不需要配准。然而，在实际中，由于移动配准误差的确会发生。为了补偿这些误差，采用带权重的 ICP 算法，权重根据 iso-points

的置信度确定，即置信度越高的地方权重越高。

第二步，在上述拼接完成之后，采用带置信度概率的方法进行点云增添。

新扫描的点跟已有扫描点配准好了之后，新扫描点需要加入已有点集。值得注意的是这些点不仅仅包含哪些不确定的区域，也包含确定的区域。如果最终目标是利用泊松表面重建或者其他的方式生成 3D 模型，可以简单的将这些点加入到已有点中。但是，如果目标是生成能够准确描述物体的表面，那些多余的点会增加冗余和噪声点。因此，本实施例在加入点云的时候，采用了概率形式：

$$P(p_i) = (1 - f(s_k))^p。$$

其中： s_k 是里 p_i 最近的 iso-points。根据上式的定义， $f(s_k)$ 越低， p_i 被加进来的可能性越大。这就使得新加进来的点云在置信度低的地方，这样能有效提高扫描的质量，并且保证了高置信度的区域不受影响。参数 p 控制了点被加进去的可能性。

步骤 S405，判断是否满足终止条件。所述终止条件为 iso-points 的全局平均置信度达到稳定状态，在本实施例中，所述稳定状态指两次迭代之间的平均置信的差值小于 0.005。若满足终止条件，则终止自动扫描，进入步骤 S406；若不满足终止条件，则返回步骤 S401，继续扫描。

步骤 S406，根据此时得到的点云进行高精度三维模型重建。

参阅图 2 所示，是本发明点云三维模型重建系统的硬件架构图。该系统包括获取模块、分析模块、计算模块、更新模块、判断模块及重建模块。

所述获取提取模块用于自动扫描需要三维模型重建的物体，获得所述物体的点云。

所述分析模块用于对上述获得的点云进行品质分析。具体如下：

第一步，对上述获得的点云进行降噪预处理，以过滤掉所述点云中大量的噪声和杂点，进行点云优化操作。

第二步, 根据预处理后的点云构建距离场, 并进行所述距离场的等值面采样, 得到等值面采样点。具体而言:

本实施例的点云曲面重建算法采用隐式重建, 其核心是构建一个基于带正负的距离隐函数的场 (以下简称“距离场”)。给定一个点云模型, 空间上每一个点 x 在该场中都有一个对应的值 $f(x)$ 。若 x 在所述点云模型外部, 则 $f(x) < 0$; 反之, 则 $f(x) > 0$; 若 $f(x) = 0$, 则表示该点在所述点云模型表面上。本实施例得到空间中 $f(x) = 0$ 的位置采样点, 然后连接构造一个等值曲面。

采用 Poisson (泊松) 方程求解所述距离场: 对任意输入点集, 把原问题转换成解一个 Poisson 方程, 得到一个基于八叉树的基函数集合。如此, 对于空间上任意一点 x , 都可以快速通过基函数混合得到对应的距离隐函数值 $f(x)$ 。

等值面提取和采样: 在所述距离场上采用 Marching Cube 技术在 $f(x) = 0$ 上构造一个封闭的等值面网格。用置信度评估该等值面网格的品质, 从离散实现的角度来说, 利用 Poisson-disk 技术在曲面网格上均匀地采样点 (本实施例中采样点数目为 5000), 然后, 为每一个点计算一个置信度 (值域范围 0-1)。也就是说, 置信度低的地方, 几何和拓扑结构信息都比较充分, 不需要进一步扫描。下文中, 我们称等值面采样点为 iso-points, 也称 s_k 。

第三步, 对上述每一个等值面采样点进行置信度计算。具体而言:

首先分别用不同方法算出改点处的点云数据的缺失率 (基于距离场梯度分析的置信度 f_g) 和属于细节部位的可能性 (基于平滑度分析的置信度 f_s)。然后把这两种置信度相乘混合得到最终的置信度: $f_k = f_g * f_s$ 。

基于距离场梯度分析的置信度 f_g : 经过实验观察发现, 一直未被关注的距离场的梯度值 $df(x)$ 有重要作用。简单来说, 梯度越大的地方, 函数值的变化越陡峭, 越能说明该区域在足够数据的支撑下里外拓扑分明, 则等值曲面的置信度越大。反之亦然。计算距离场梯度的方法也十分简单, 因为 Poisson 方程的解本身就是距离场的梯度值。也就是说, 每一个 s_k 都有个 f_g 。

基于平滑度分析的置信度 f_s : 通过下述方法计算得到每个 s_k 平滑度分析的

置信度。所述平滑度分析的置信度值越大,说明局部点云分布越不规整,则越有可能是需要多扫描的细节区域。其中, $\mathbf{n}_k$ 是 $\mathbf{s}_k$ 的法向量, Ω_k 是 $\mathbf{s}_k$ 的 K 近邻点 (也就是附近最近的前 K 个已扫描点 $\mathbf{q}$, 本实施例中 K 的数目一般为 100), h_k 是指最远的第 k 个点离 $\mathbf{s}_k$ 的距离。

$$f_s(\mathbf{s}_k, \mathbf{n}_k) = \sum_{j \in \Omega_k} \theta(\|\mathbf{s}_k - \mathbf{q}_j\|) \phi(\mathbf{n}_k, \mathbf{q}_j - \mathbf{s}_k)$$

$$\theta(\|\mathbf{s}_k - \mathbf{q}_j\|) = e^{-\|\mathbf{s}_k - \mathbf{q}_j\|^2 / (h_k/2)^2}$$

$$\phi(\mathbf{n}_k, \mathbf{q}_j - \mathbf{s}_k) = e^{-\|\mathbf{n}_k^T(\mathbf{q}_j - \mathbf{s}_k)\|^2 / (h_k/4)^2}。$$

所述计算模块用于对上述品质分析后的点云, 计算得到新的扫描视点。具体步骤如下:

得到每一个等值面采样点的置信度后, 需要决定最佳的位置和朝向来放置扫描仪, 这个位置叫做 NBV (Next Best View, 下一个最佳视点)。为了有效的设定自动扫描的行径, 每一个扫描迭代选择多个 NBV, 通过所述 NBV 决策扫描仪下一个需要移动的部位。所述 NBV 的选择由视点向量场指导, 在视点向量场里每个向量的幅度代表了这个点对 NBV 的贡献度, 同时也考虑了向量的方向及时扫描仪的朝向。

第一步, 根据上述得到的每一个等值面采样点的置信度, 生成扫描视点向量场。

向量场里每个扫描仪都有其最佳的工作距离 $[d_{\text{near}}, d_{\text{far}}]$ 。不能把扫描仪放的离物体太近或者太远。基于最远的工作距离, 选择一个外包围盒 B , 所述外包围盒 B 包含了目标物体的所有点, 包围盒 B 内的空间即是 NBVs 的搜索空间。将包围盒 B 转换成三维的立体网格。所述 NBV 得分只在某些格子的中心点计算, 所述格子必须没有被目标物体占据。对每一个空的体素 $\mathbf{v}_i$, 从每一个 iso-point 射出一个光线来测试它的可见性。通过计算 NBV 得分 $g(\mathbf{v}_i)$, 来评价空间中的某一点是否适合作为下个扫描点:

$$g(\mathbf{v}_i) = \max_{\mathbf{s}_k} \{w(\mathbf{v}_i, \mathbf{s}_k)(1 - f(\mathbf{s}_k))\}$$

其中, $f(s_k)$ 为上述 iso-point 的置信度, 且已经被归一化到了 $[0, 1]$ 范围; 权重 $w(v_i, s_k)$ 通过三个子项的乘积进行计算: 基于距离的 w_d , 基于朝向的 w_o , 基于可见性的 w_v 。如下所示:

$$w(v_i, s_k) = w_d(s_k, v_i) w_o(s_k, v_i) w_v(s_k, v_i),$$

$$w_d(s_k, v_i) = e^{-((\|v_i - s_k\| - d_o)^2 / (d_n/4)^2)},$$

$$w_o(s_k, v_i) = e^{-(1 + n_k^T d(v_i, s_k))^2 / (1 - \cos(\sigma))^2},$$

$$w_v(s_k, v_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } s_k \text{ is visible from } v_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}.$$

本实施例中, 扫描仪最优工作距离 $d_o = (d_n + d_f) / 2$. $d(v_i, s_k) = (v_i - s_k) / \|v_i - s_k\|$ 代表从 s_k 指向 v_i 的归一化之后的方向。参数 σ 默认设定为 25° 。当指向 v_i 点的 iso-point s_k 的置信度比较低的时候, 得分函数 $g(v_i)$ 有一个较高的值。如果得到 $g(v_i)$ 的最大值, 则将该得分记录在 3D 向量中。为包围盒 B 的所有体素计算最好的 s_k , 以得到视场向量域。

第二步, 根据生成的扫描视点向量场, 利用贪心算法选择下一个扫描视点。

为下一轮的扫描选择扫描点的位置和朝向。首先在 VVF (viewing vector field, 视点向量场) 里选择出局部最大的位置, 把其作为下一次扫描位置。所述 VVF 被分为很多很多体素, 在每个体素中选取局部最大的点。然后选择所述局部最大的点的一个子集作为优化扫描仪朝向的基础。在选择子集的时候, 避免选择靠得太近的位置, 只选择不相邻的网格中的点作为下一次可能的扫描位置。

使用贪心算法计算得到不相邻的局部最大的点。首先每个细分后的体素中有一个最大的值, 这些值形成了一个最初的集合 V, 如果该点的幅值低于给定的阈值, 则从集合 V 中删除该点。当某一个点 v_i 被选中之后, 将所述点 v_i 加入集合 V^* 中。然后集合 V 中的所有与 v_i 相邻的点都会被删除, 直至该集合 V 为空。

所述贪心算法确保每一次选择的位置是不相邻的, 并且拥有余下点的最大幅值的位置。因此, 集合 V^* 就是要寻找的 NBVs, 选择出来的位置的方向是置

信度比较低的 iso-points s_k 。接下来, 需要选择最优描方向使得下一次扫描能够覆盖尽可能多的低置信度的 iso-points, 同时又尽可能多的覆盖部分高置信度的 iso-point 以确保配准的准确性。因此没有直接使用 $d(v_i; s_k)$ 设定扫描仪的朝向, 而是在局部范围内选择一个更优的点 $s_{k'}$ 。

$$\operatorname{argmax}_{s_{k'} \in Y_k} \eta(s_{k'}) \zeta(s_{k'}),$$

$$\eta(s_{k'}) = \max_{j \in Y_{k'}} \{w(v_i, s_j) f(s_j)\},$$

$$\zeta(s_{k'}) = \sum_{j \in Y_{k'}} w(v_i, s_j) (1 - f(s_j))。$$

第三步, 根据上述得到的下一个扫描视点, 形成扫描路径。

本实施例将得到的 NBVs 按照顺时针的顺序排列, 形成特定扫描路径规划。

所述更新模块用于根据所述新的扫描视点进行扫描, 并根据所述新的扫描视点扫描得到的点云对步骤 S401 的点云进行实时更新。具体步骤如下:

第一步, 带置信度权重的 ICP (Iterative Closest Point) 方法进行点云拼接。

当扫描仪被精确地安置在指定的 NBV 上之后, 将新扫描出来的点直接加入到点云中, 也就是说这里不需要配准。然而, 在实际中, 由于移动配准误差的确会发生。为了补偿这些误差, 采用带权重的 ICP 算法, 权重根据 iso-points 的置信度确定, 即置信度越高的地方权重越高。

第二步, 在上述拼接完成之后, 采用带置信度概率的方法进行点云增添。

新扫描的点跟已有扫描点配准好了之后, 新扫描点需要加入已有点集。值得注意的是这些点不仅仅包含哪些不确定的区域, 也包含确定的区域。如果最终目标是利用泊松表面重建或者其他的方式生成 3D 模型, 可以简单的将这些点加入到已有点中。但是, 如果目标是生成能够准确描述物体的表面, 那些多余的点会增加冗余和噪声点。因此, 本实施例在加入点云的时候, 采用了概率形式:

$$P(p_i) = (1 - f(s_k))^p。$$

其中： s_k 是里 p_i 最近的 iso-points。根据上式的定义， $f(s_k)$ 越低， p_i 被加进来的可能性越大。这就使得新加进来的点云在置信度低的地方，这样能有效提高扫描的质量，并且保证了高置信度的区域不受影响。参数 β 控制了点被加进去的可能性。

所述判断模块用于判断是否满足终止条件。所述终止条件为 iso-points 的全局平均置信度达到稳定状态，在本实施例中，所述稳定状态指两次迭代之间的平均置信的差值小于 0.005。若满足终止条件，则终止自动扫描；若不满足终止条件，则继续扫描。

所述重建模块用于根据满足终止条件时的点云进行高精度三维模型重建。

虽然本发明参照当前的较佳实施方式进行了描述，但本领域的技术人员应能理解，上述较佳实施方式仅用来说明本发明，并非用来限定本发明的保护范围，任何在本发明的精神和原则范围之内，所做的任何修饰、等效替换、改进等，均应包含在本发明的权利保护范围之内。

权 利 要 求

- 1.一种点云三维模型重建方法，其特征在于，该方法包括如下步骤：
 - a.扫描获得需要三维模型重建的物体的点云；
 - b.对上述获得的点云进行品质分析；
 - c.对上述品质分析后的点云，计算得到新的扫描视点；
 - d.根据所述新的扫描视点进行扫描，并根据所述新的扫描视点扫描得到的点云对步骤 a 的点云进行实时更新；
 - e.根据实时更新后得到的点云进行三维模型重建。
- 2.如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，该方法在步骤 d 和步骤 e 之间还包括步骤：

判断是否满足终止条件：如果满足终止条件，则进入步骤 e；如果不满足终止条件，则返回步骤 a。
- 3.如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述的步骤 b 包括：

对获得的点云进行降噪预处理；

根据预处理后的点云构建距离场，并进行所述距离场的等值面采样得到等值面采样点；

对上述每一个等值面采样点进行置信度计算。
- 4.如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述的步骤 c 包括：

根据得到的每一个等值面采样点的置信度，生成扫描视点向量场；

根据生成的扫描视点向量场选择下一个扫描视点；

根据上述得到的下一个扫描视点形成扫描路径。
- 5.如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述的步骤 d 包括：

采用带置信度权重的方法进行点云拼接；

采用带置信度概率的方法进行点云增添。
- 6.如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述的终止条件为等值面采样点的全局平均置信度达到稳定状态。
- 7.一种点云三维模型重建系统，其特征在于，该系统包括获取模块、分析模块、计算模块、更新模块、判断模块及重建模块，其中：

- 所述获取模块用于扫描获得需要三维模型重建的物体的点云；
- 所述分析模块用于对上述获得的点云进行品质分析；
- 所述计算模块用于对上述品质分析后的点云，计算得到新的扫描视点；
- 所述更新模块用于根据所述新的扫描视点进行扫描，并根据所述新的扫描视点扫描得到的点云对所述获取模块的点云进行实时更新；
- 所述重建模块用于根据根据实时更新后得到的点云进行三维模型重建。
- 8.如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，该系统还包括用于判断是否满足终止条件的判断模块：
- 如果满足终止条件，则所述重建模块进行三维模型重建；
- 如果不满足终止条件，则返回所述获取模块继续获取点云。
- 9.如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述的分析模块具体用于：
- 对获得的点云进行降噪预处理；
- 根据预处理后的点云构建距离场，并进行所述距离场的等值面采样得到等值面采样点；
- 对上述每一个等值面采样点进行置信度计算。
- 10.如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述的计算模块具体用于：
- 根据得到的每一个等值面采样点的置信度，生成扫描视点向量场；
- 根据生成的扫描视点向量场选择下一个扫描视点；
- 根据上述得到的下一个扫描视点形成扫描路径。
- 11.如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述的更新模块具体用于：
- 采用带置信度权重的方法进行点云拼接；
- 采用带置信度概率的方法进行点云增添。
- 12.如权利要求 8 所述的系统，其特征在于，所述的终止条件为等值面采样点的全局平均置信度达到稳定状态。

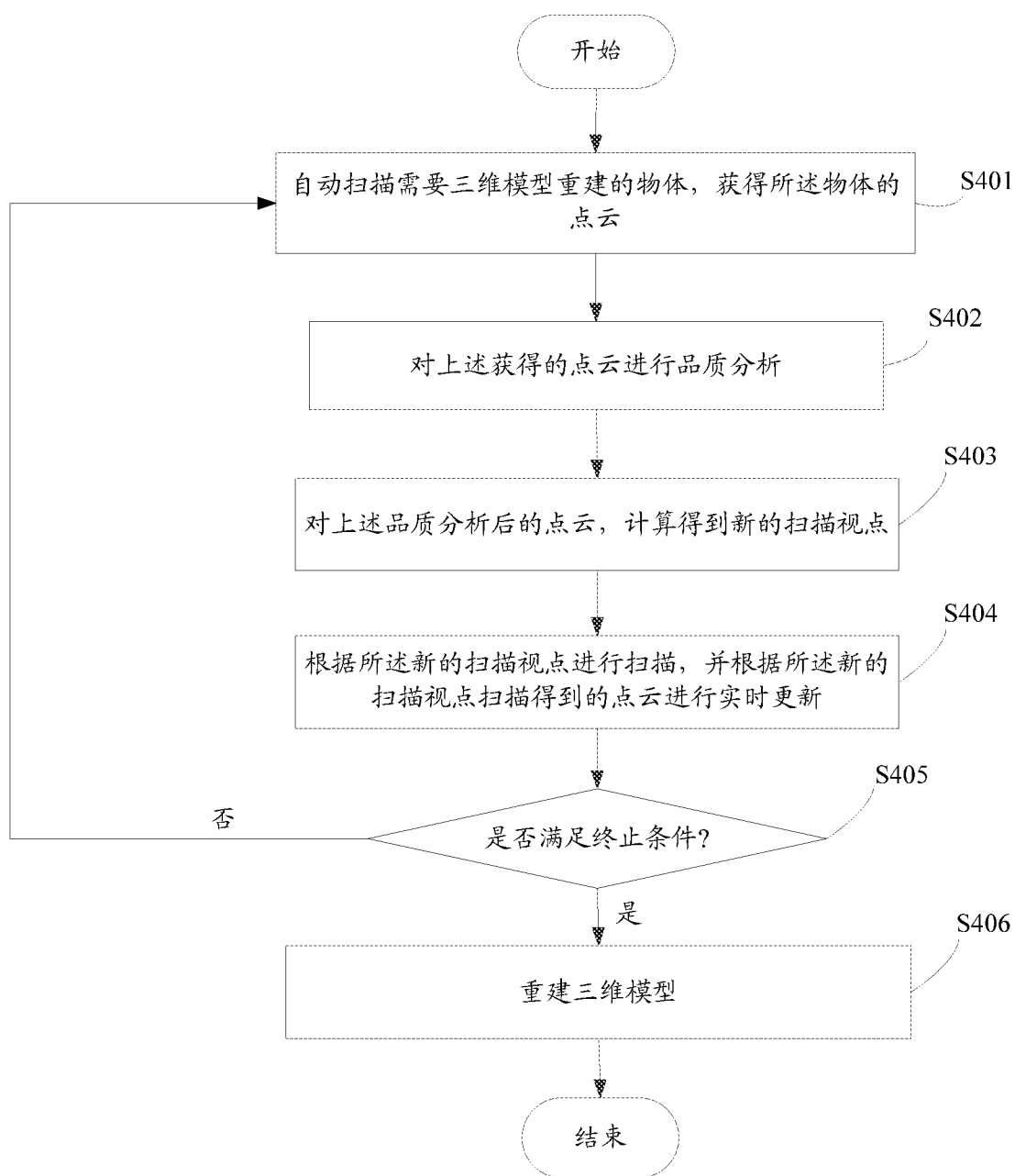


图 1



图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/084701

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 17/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T; G06F; G06K; H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: three-dimensional, modeling, reconstruction, cloud, point, 3D, three, dimension+, subject, model, quality, confidence, scan, view+, update, construct+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102722907 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 10 October 2012 (10.10.2012), abstract, description, paragraphs[0044]-[0052]	1-12
A	CN 103489218 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 01 January 2014 (01.01.2014), the whole document	1-12
A	US 2012243774 A1 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 27 September 2012 (27.09.2012), the whole document	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 February 2015 (26.02.2015)	Date of mailing of the international search report 17 March 2015 (17.03.2015)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer CHANG, Jiaofa Telephone No.: (86-10) 62413199

International application No.
PCT/CN2014/084701

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

A. 主题的分类 G06T 17/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类														
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06T; G06F; G06K; H04L 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 点, 云, 三维, 模型, 品质, 质量, 置信, 扫描, 视点, 更新, 建模, 重建, cloud, point, 3D, three, dimension+, subject, model, quality, confidence, scan, view+, update, construct+														
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 102722907 A (清华大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 摘要, 说明书第[0044]-[0052]段</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103489218 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2014年 1月 1日 (2014 - 01 - 01) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2012243774 A1 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 2012年 9月 27日 (2012 - 09 - 27) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 102722907 A (清华大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 摘要, 说明书第[0044]-[0052]段	1-12	A	CN 103489218 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2014年 1月 1日 (2014 - 01 - 01) 全文	1-12	A	US 2012243774 A1 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 2012年 9月 27日 (2012 - 09 - 27) 全文	1-12
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求												
A	CN 102722907 A (清华大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 摘要, 说明书第[0044]-[0052]段	1-12												
A	CN 103489218 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2014年 1月 1日 (2014 - 01 - 01) 全文	1-12												
A	US 2012243774 A1 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 2012年 9月 27日 (2012 - 09 - 27) 全文	1-12												
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。														
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件														
国际检索实际完成的日期 2015年 2月 26日		国际检索报告邮寄日期 2015年 3月 17日												
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国 传真号 (86-10)62019451		授权官员 常交法 电话号码 (86-10)62413199												

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/084701

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102722907	A	2012年 10月 10日	无			
CN	103489218	A	2014年 1月 1日	无			
US	2012243774	A1	2012年 9月 27日	WO	2012012943	A1	2012年 2月 2日