

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101126725 B

(45) 授权公告日 2010.12.15

(21) 申请号 200710050094.3

(22) 申请日 2007.09.24

(73) 专利权人 舒嘉

地址 610041 四川省成都市高新区天府大道18号

(72) 发明人 舒嘉

(74) 专利代理机构 成都科海专利事务有限责任公司 51202

代理人 黄幼陵 肖睿泽

(51) Int. Cl.

G01N 23/04 (2006.01)

H05G 1/08 (2006.01)

A61B 6/00 (2006.01)

G01T 1/161 (2006.01)

G06Q 50/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1464301 A, 2003.12.31, 权利要求 2-6,

说明书第 10 页第 8-9 行, 12-13 行, 第 11 页第 2-3 行, 第 15-16 行, 24-25 行.

DE 10244180 A1, 2004.04.08, 全文.

US 2006/0251208 A1, 2006.11.09, 全文.

FR 2864669 A1, 2005.07.01, 全文.

FR 2862790 A1, 2005.05.27, 全文.

CN 1376947 A, 2002.10.30, 全文.

张祖勋 张剑清. 高等学校测绘类教材 数字摄影测量学

1. 武汉大学出版社, 1997, 137-138.

审查员 支辛辛

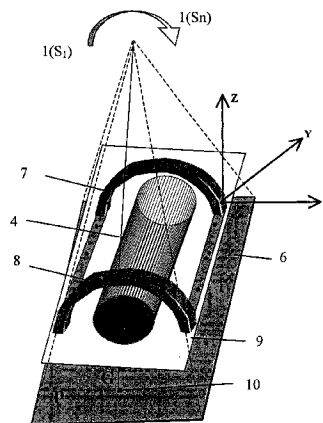
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 9 页

(54) 发明名称

采用 X 射线容积摄影实现图像重建的方法

(57) 摘要

本发明公开了采用 X 射线容积摄影实现立体图像重建的方法, 该方法根据数字摄影测量的定位原理, 对被关注对象拍摄多张 X 射线的面阵影像数据, 在拍摄 X 射线像片时, 将已知三维位置的多个标志点同时拍摄在 X 射线像片中, 利用标志点在容积摄影立体图像重建直角坐标系中的坐标和标志点在 X 射线像片坐标系中的坐标建立所述两坐标系的转换关系, 通过这个转换关系来确定每条 X 摄影光束的路径和位置, 得到每条 X 光束通过被关注对象的全部体素, 由同一条 X 光束路径上的体素 g 和像元 G 列出 Radon 方程组求解体素 g 的灰度值, 通过计算机解算出全部体素 g 的灰度值, 由体素 g 的灰度值重建被关注对象的三维立体容积图像。



1. 采用 X 射线容积摄影实现图像重建的方法,其特征在于根据数字摄影测量的定位原理,对被关注对象拍摄多张 X 射线面阵影像数据像片,在拍摄 X 射线面阵影像数据像片时,将已知三维位置的至少三个标志点同时拍摄在 X 射线面阵影像数据像片中,利用标志点在容积摄影立体图像重建直角坐标系中的坐标和标志点在像片坐标系中的坐标建立所述两坐标系的转换关系,通过这个转换关系来确定每条 X 射线摄影光束的路径和位置,得到每条 X 射线摄影光束通过被关注对象的全部体素,由同一条 X 射线摄影光束路径上的体素和像元列出 Radon 方程组求解体素的灰度值,通过计算机解算出全部体素的灰度值,由体素的灰度值重建被关注对象的三维立体容积图像。

2. 根据权利要求 1 所述的采用 X 射线容积摄影实现图像重建的方法,其特征步在于步骤依次如下:

(1) 鉴定 X 射线摄影机

调整 X 射线摄影机,使 X 射线管中心 S(1) 的垂直光束与 X 射线面阵影像数据像片 (6) 承影面垂直,然后测定 X 射线管中心 S 到 X 射线面阵影像数据像片承影面的距离 H;

(2) 建立像片坐标系 o-xy

在 X 射线面阵影像数据像片 (6) 上建立像片坐标系 o-xy,像片坐标系原点 o 是 X 射线管中心 S(1) 的垂直光束在 X 射线面阵影像数据像片上的像元点,过像片坐标系原点 o 的像元点横向排列方向为像片坐标系 x 轴,过像片坐标系原点 o 的像元点纵向排列方向为像片坐标系 y 轴;

(3) 建立容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ

对被关注对象 (4) 至少设置三个标志点并测定各标志点 (8) 之间的三维距离,以任一标志点作为坐标系原点 O,建立容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ,将各标志点在容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ 中的坐标存入计算机;

(4) X 射线摄影

操作 X 射线摄影机,使 X 射线管和 X 射线面阵影像数据像片承影面沿弧线或直线轨道运动,在相隔一定间距的各位点拍摄被关注对象 (4) 的 X 射线面阵影像数据像片,得被关注对象不同位置的多张 X 射线面阵影像数据像片;

(5) 标志点模式识别与标志点影像定位

将步骤 (4) 拍摄的所有 X 射线面阵影像数据像片输入计算机,通过计算机对各张 X 射线面阵影像数据像片进行标志点的模式识别与影像定位,得到各标志点在各张像片的像片坐标系 o-xy 中的坐标 x、y;

(6) 计算各张 X 射线面阵影像数据像片的方位元素  $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 、 $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$

用计算机列出各张 X 射线面阵影像数据像片上的全部标志点的 X 射线摄影光束的共线方程式,在各张 X 射线面阵影像数据像片上至少选择三个标志点的 X 射线摄影光束共线方程式联立解算,得到各张 X 射线面阵影像数据像片的六个方位元素  $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 、 $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$ ,所述方位元素中, $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$  为 X 射线管中心 S 在容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ 中的坐标, $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$  为 X 射线面阵影像数据像片在容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ 中的旋转方向夹角;

(7) 计算像元在容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ 中的坐标

依据步骤 (6) 得到的各张 X 射线面阵影像数据像片的方位元素  $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 、 $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$  和

X 射线管中心 S 到 X 射线面阵影像数据像片承影面的修正距离  $H_{\text{修}}$ 、像元之间的距离  $l$ , 用计算机计算各张 X 射线面阵影像数据像片上每个像元的容积摄影立体图像重建直角坐标  $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ 、 $Z_{ij}$ , 所述修正距离  $H_{\text{修}}$  通过 X 射线面阵影像数据像片上的标志点的 X 射线摄影光束共线方程式计算;

(8) 确定每条 X 射线摄影光束通过被关注对象的全部体素

依据步骤 (6) 得到的各张 X 射线面阵影像数据像片的方位元素  $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$  和步骤 (7) 得到的各张 X 射线面阵影像数据像片的各像元的容积摄影立体图像重建直角坐标  $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ 、 $Z_{ij}$ , 通过计算机计算, 找出每条 X 射线摄影光束通过被关注对象的全部体素;

(9) 重建三维立体容积图像

由每一条 X 射线摄影光束路径上的像元灰度值和体素列出 Radon 方程组, 通过计算机解算出全部体素的灰度值, 由体素的灰度值重建被关注对象的三维立体容积图像。

3. 根据权利要求 2 所述的采用 X 射线容积摄影实现图像重建的方法, 其特征在于标志点设置在被关注对象上或标志架上, 所述标志架围绕被关注对象设置。

## 采用 X 射线容积摄影实现图像重建的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于图像重建技术领域,特别涉及一种物体内部状态的图像重建方法。

### 背景技术

[0002] 关于物体内部状态的图像重建,现今主要是以豪斯非尔德 (Hounsfield) 发明的方法进行 CT(Computed Tomography) 扫描,即在精密机械扫描机架安置 X 射线源 1 和探测器 3(如图 1 所示),使 X 射线源 1 和探测器 3 围绕物体(被关注对象)4 旋转扫描,在旋转的同时精确的确定每束 X 光线的发出位置和接收位置,再利用求物体内部密度分布的 Radon 计算方法,实现图像重建(参考书:计算机体层成像,美 Willi A. Kalender,人民卫生出版社 ISBN7-117-05284-8/R. 5285。实用 CT 检查技术学,王鸣鹏,科学技术文献出版社,ISBN7-5023-3262-6/R. 656)。

[0003] 自 1972 年第一台 CT 机问世以来,CT 机已经过了八代的发展(“代”是其发展进度标志,实质是如何提高扫描速度),但扫描定位原理没有任何变化,一直是采用精密机械机架滑环或光束钟形器扫描断层数据的模式,这种模拟 Radon 计算条件的定位、扫描方式限制了 CT 设备的构成和设备部件的充分利用,由此导致:扫描机械和电子设备制造复杂,X 射线照射量大、利用率低,数据采集速度慢、扫描数据精度低,重建图像分辨率低,而且没有成立真正意义上的三维图像。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有扫描技术的不足,提供一种采用 X 射线容积摄影实现图像的重建的方法,此种方法以获得面状 X 射线摄影影像重建被关注对象的三维立体图像,对三维立体图像分割任意方向的断层图像,不仅影像分辨率高,X 射线照射量少,而且设备结构简单,制造难度低,投资少。

[0005] 本发明技术方案:根据数字摄影测量的定位原理,对被关注对象拍摄多张 X 射线面阵影像数据,在拍摄 X 射线像片时,将已知三维位置的多个标志点同时拍摄在 X 射线像片中,利用标志点在容积摄影立体图像重建直角坐标系  $O-XYZ$  中的坐标和标志点在 X 射线像片坐标系  $o-xy$  中的坐标建立所述两坐标系的转换关系,通过这个转换关系来确定每条 X 射线摄影光束的路径和位置,得到每条 X 光束通过被关注对象的全部体素,由同一条 X 光束路径上的体素  $g$  和像元  $G$  列出 Radon 方程组求解体素  $g$  的灰度值,通过计算机解算出全部体素  $g$  的灰度值,由体素  $g$  的灰度值重建被关注对象的三维立体容积图像。

[0006] 本发明所述采用 X 射线容积摄影实现图像重建的方法,步骤依次如下:

[0007] (1) 鉴定 X 射线摄影机

[0008] 调整 X 射线摄影机,使 X 射线管中心  $S$  的垂直光束与 X 射线数字像片承影面垂直,然后测定 X 射线管中心  $S$  到 X 射线数字像片承影面的距离  $H$ 。

[0009] (2) 建立像片坐标系  $o-xy$

[0010] 在 X 射线数字像片上建立像片坐标系  $o-xy$ ,像片坐标系原点  $o$  是 X 射线管中心  $S$

的垂直光束在 X 射线数字像片上的像元点,过像片坐标系原点 o 的像元点横向排列方向为像片坐标系 x 轴,过像片坐标系原点 o 的像元点纵向排列方向为像片坐标系 y 轴。

[0011] (3) 建立容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ

[0012] 对被关注对象至少设置三个标志点并事先测定各标志点之间的三维距离,以任一标志点作为坐标系原点 O,建立容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ,将各标志点在坐标系 O-XYZ 中的坐标存入计算机;

[0013] 所述标志点设置在被关注对象上或标志架上,标志架围绕被关注对象设置。

[0014] (4) X 射线摄影

[0015] 操作 X 射线摄影机,使 X 射线管和 X 射线数字像片承影面沿弧线或直线轨道运动,在相隔一定间距的各位点拍摄被关注对象的 X 射线数字像片,得被关注对象不同位置的多张 X 射线数字像片。

[0016] (5) 标志点模式识别与标志点影像定位

[0017] 将步骤 (4) 拍摄的所有 X 射线数字像片输入计算机,通过计算机对各张 X 射线数字像片进行标志点的模式识别与标志点影像定位,得到各标志点在各张像片 o-xy 坐标系中的坐标 x、y (“标志点的模式识别与标志点影像定位”见张祖勋张剑清“数字摄影测量学”,武汉大学出版社 2001.5 ISBN 7-307-03233-3/P. 7 第四章至第六章);

[0018] 所述标志点模式识别是通过做好的标志点形状模板影像和特征提取影像匹配来完成的,特征提取用各种算子来完成;由于标志点的几何形状各不相同,这些不同形状的标志点在 X 像片上具有不同的影像特征,因此特征提取算子可分为点特征提取算子、线特征提取算子和面特征提取算子;点特征提取算子主要有 Moravec 算子、Hannah 算子与 Forstner 算子,线特征提取算子主要有剃度算子、二阶差分算子、高斯一拉普拉斯算子 (LOG 算子)、特征分割法、Hough 变换,面特征提取主要通过影像区域分割来完成,影像分割法主要有阈值法、区域生长法、集群分类法。

[0019] 所述标志点影像定位是指精确的确定标志点定位目标处在 X 射线数字像片坐标系 o-xy 中的位置,在提取到的标志点形状区域内,找到标志点的定位目标处,定位目标处的模式识别计算方法和前述特征提取算子相同。

[0020] (6) 计算各张 X 射线数字像片的方位元素  $X_S$ 、 $Y_S$ 、 $Z_S$ 、 $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$

[0021] 用计算机列出各张 X 射线数字像片上的全部标志点的 X 射线光束的共线方程式,对任一标志点 (例如标志点 A),其 X 射线光束共线方程式如下:

$$\left. \begin{aligned}
 x &= -H \frac{a_1(X_A - X_S) + b_1(Y_A - Y_S) + c_1(Z_A - Z_S)}{a_3(X_A - X_S) + b_3(Y_A - Y_S) + c_3(Z_A - Z_S)} \\
 y &= -H \frac{a_2(X_A - X_S) + b_2(Y_A - Y_S) + c_2(Z_A - Z_S)}{a_3(X_A - X_S) + b_3(Y_A - Y_S) + c_3(Z_A - Z_S)}
 \end{aligned} \right\} (1-1)$$

[0022]

[0023] 上式中,x、y 为标志点 A 在像片坐标系 o-xy 中的坐标,H 为 X 射线管中心 S 到 X 射线数字像片承影面的距离, $X_A$ 、 $Y_A$ 、 $Z_A$  为标志点 A 在容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ 中的坐标, $X_S$ 、 $Y_S$ 、 $Z_S$  为 X 射线管中心 S 在容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ 中的坐标,旋转因子为:

[0024]

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1-2)$$

[0025] 在各张 X 射线数字像片上至少选择三个标志点的 X 射线光束共线方程式联立解算,即得出各张 X 射线数字像片的六个方位元素  $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 、 $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$ 。方位元素中, $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$  为 X 射线管中心 S 在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的坐标, $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$  为 X 射线数字像片在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的旋转方向夹角(“旋转因子”和“共线方程式”原理和算法,见钱曾波“解析摄影测量”测绘出版社 15039. 新 143,第一章)。

[0026] (7) 计算像元 G 在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的坐标

[0027] 依据步骤 (6) 得到的各张 X 射线数字像片的方位元素  $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 、 $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$  和 X 射线管中心 S 到 X 射线数字像片承影面的修正距离  $H_{修}$ (修正距离  $H_{修}$  通过 X 射线数字像片上的标志点的 X 射线光束共线方程式 1-1 计算)、像元之间的距离  $l$ ,用计算机计算各张 X 射线数字像片上每个像元  $G_{ij}$  的容积摄影立体图像重建坐标  $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ 、 $Z_{ij}$ ,计算原理和方法如下:

[0028] X 射线数字像片上的像元点是按等距离有序排列的,像元 G 之间的距离  $l$  是固定的。设  $i$ 、 $j$  为像元序号,设定像片坐标系  $o-xy$  的坐标轴  $x$ 、 $y$  按像元有序排列的横、纵方向平行,设定每个像元  $G_{ij}$  的像片坐标  $x$ 、 $y$  是以投影中心 S 到像片 P 的垂直距离的交点  $o$  处起算,S 到  $o$  的垂直距离为  $H$ 。在交点  $o$  处位置的像元点  $G_0$  的 X 像片坐标为  $x = 0$ 、 $y = 0$ 。由步骤 (6) 可知,X 射线管中心 S 在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的坐标为:  $S(X_s, Y_s, Z_s)$ ,引入已计算出的旋转方向夹角元素  $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$ ,那么就有方程:

[0029] 像元  $G_0$  在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的坐标

$$\left. \begin{aligned} X_{G_0} &= X_s + (-H \cos\omega \sin\alpha) \\ Y_{G_0} &= Y_s + (-H \sin\omega) \\ Z_{G_0} &= Z_s + (-H \cos\omega \cos\alpha) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

[0031] 像元  $G_{ij}$  在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的坐标

$$\left. \begin{aligned} X_{G_{ij}} &= X_s + (-H \cos\omega \sin\alpha) + (i \times l) \cos\kappa \\ Y_{G_{ij}} &= Y_s + (-H \sin\omega) + (j \times l) \cos\kappa \\ Z_{G_{ij}} &= Z_s + (-H \cos\omega \cos\alpha) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

[0033] 上式中, $i$ 、 $j$  为像元序号, $l$  为像元之间的距离, $i \times l = x_i$ , $j \times l = y_j$ 。将 (1-4) 式表示为:

$$\left. \begin{aligned} X_{G_{ij}} &= X_s + (-H \cos\omega \sin\alpha) + x_i \cos\kappa \\ Y_{G_{ij}} &= Y_s + (-H \sin\omega) + y_j \cos\kappa \\ Z_{G_{ij}} &= Z_s + (-H \cos\omega \cos\alpha) \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

[0035] 用 (1-5) 式计算得到的像元  $G_{ij}$  在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的坐标为:

[0036]  $G_{ij}(X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})$

[0037] 可以看出, (1-3) 式和 (1-4) 式及 (1-5) 式表示的是一个将 X 射线数字像片上的像元 G 坐标 (x、y) 在容积摄影立体图像重建直角坐标系中重排列的过程。

[0038] 通过 (1) 至 (7) 步骤, 已求得 X 射线发射中心 S 和 X 射线像片像元 G 在容积摄影立体图像重建直角坐标系中的坐标, 显然已确定了 X 射线发射中心 S 和 X 射线数字像片上全部像元的位置, 这过程与传统的 CT 精密机械机架扫描功能相同, 只是传统的 CT 扫描是用机械的方式获得 X 射线发射中心 S 和 X 射线接收器的位置, 本方法是用计算的方式获得 X 射线发射中心 S 和 X 射线数字像片上全部像元的位置。

[0039] (8) 确定每条光束通过被关注对象的全部体素

[0040] 依据步骤 (6) 得到的各张 X 射线数字像片的方位元素  $X_s, Y_s, Z_s$  和步骤 (7) 得到的各张 X 射线数字像片的各像元 G 的容积摄影立体图像重建坐标  $X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}$ , 通过计算机计算, 找出每条 X 光束通过被关注对象的全部体素 g, 计算原理和方法如下:

[0041] 由 X 射线管中心 S 和像元  $G_{ij}$  两点构成的光束过重建体素  $g_{ijk}$  方格构成的直线方程为:

$$[0042] \quad \frac{X - X_s}{X_{G_{ij}} - X_s} = \frac{Y - Y_s}{Y_{G_{ij}} - Y_s} = \frac{Z - Z_s}{Z_{G_{ij}} - Z_s} \quad (1-6)$$

[0043] 因此, 判定 X 光束通过体素  $g_{ijk}$  的条件是满足直线方程 (1-6) 式, 找出满足直线方程 (1-6) 式上的体素  $g_{ijk}$  位置坐标, 就是光束经过的路径。

[0044] 体素  $g_{ijk}$  方格的设定大小是:  $g_{ijk} = |t \times t \times t|$ , 体素  $g_{ijk}$  方格的八个顶点在容积 (VP) 摄影立体图像重建直角坐标系中已知的坐标 (见图 7) 是:

[0045]

$$\begin{aligned} &g_{ijk1} (X_{ijk1}, Y_{ijk1}, Z_{ijk1}) \\ &g_{ijk2} (X_{ijk2}, Y_{ijk2}, Z_{ijk2}) \\ &\quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ &g_{ijk8} (X_{ijk8}, Y_{ijk8}, Z_{ijk8}) \end{aligned}$$

[0046] 由 (1-6) 式计算得到  $g_{ijk}$  体素坐标值限定在 ( $g_{ijk1}, \dots, g_{ijk8}$ ) 范围内, 即认为该 X 光束通过该体素。找出每条 X 光束  $SG_{ij}$  通过的全部体素  $g_{ijk}$ , 就确定了每条光束路径。

[0047] 由于体素  $g_{ijk}$  方格的八个顶点在容积摄影立体图像重建直角坐标系中的坐标已知, 例如  $g_{ijk1}$  的坐标为 ( $x_i, y_j, z_k$ ), 因此光束路径计算步骤如下:

[0048] ①将  $Z = Z_k$  代入式 (1-6) 所得到的关于 X、Y 的方程就是该 X 光线在高程  $Z = Z_k$  面内的投影方程。

[0049] ②判断该投影方程与体素方格底面四边有无相交, 如果没有相交, 则该 X 光线不经过该体素。如果相交, 则求出其交点坐标, 设交点坐标为 ( $a_1, b_1$ ) 和 ( $a_2, b_2$ ), 需要进一步判断。

[0050] ③将第二步的交点坐标分别代入式 (1-6) 求出 Z 值, 判断 Z 值是否在  $Z_k$  和  $Z_k + t$  ( $t$  为正方体体素方格的边长) 之间, 如果在, 则说明该光线经过该体素方格。

[0051] (9) 重建三维立体容积图像

[0052] 由每一条 X 光束路径上的像元 G 灰度值和体素 g 列出 Radon 方程组, 通过计算机

解算出全部体素  $g$  的灰度值 (体素灰度值的解算用 Radon 方法), 由体素的灰度值重建被关注对象的三维立体容积图像 (参考书: 见数字图像处理导论第七章, 赵荣春, 西北工业大学出版社, ISBN7-5612-0737-9/TB. 82)。

[0053] 本发明所述方法有多种用途:

[0054] 1、二维平片观察

[0055] 本发明所述方法步骤 (4) X 射线摄影, 所获得的是被关注对象不同位置的多张 X 射线数字像片, 通过 X 射线数字像片, 可对被关注对象进行二维平片观察。

[0056] 2、二维数字减影

[0057] X 射线增强摄影后, 本发明所述方法步骤 (4) 所得到的 X 射线数字像片可直接进行影像灰度反向, 与 X 像片叠加, 形成二维数字减影影像。

[0058] 3、实时立体影像观察

[0059] 利用立体观察原理, 用两张在不同位置拍摄的有重叠的 X 射线数字像片, 能建立立体像对, 对被关注对象进行实时立体观察。

[0060] 4、三维特征影像提取

[0061] 在体素  $g_{ijk}$  的灰度值重建的三维立体图像中, 可提取出特征相同部位的灰度影像坐标, 构成特征影像图观察。

[0062] 5、实时立体定位导航

[0063] 利用提取出的特征相同部位灰度的影像坐标确定被关注对象的空间位置, 引导器械沿确定的路线坐标到达确定的空间位置。

[0064] 6、提取任意断层图像

[0065] 在体素  $g_{ijk}$  的灰度值重建的三维立体图像中, 可提取被关注对象的任意断层图像。

[0066] 本发明具有以下有益效果:

[0067] 1、本发明所述方法用普通的数字 X 射线机摄影, 得到所拍摄物体的二维面状影像数据, 以面状摄影影像重建立体图像, 得到整个物体的影像数据, 为物体内部状态图像重建提供了一种不同构思的技术方案。

[0068] 2、本发明所述方法通过计算机计算确定 X 光束的路径和位置, 与 CT 扫描用精密机械滑环确定 X 光束路径和位置相比, 不仅影像分辨率高, X 射线照射量少, 而且所用设备结构简单, 投资少, 耗电少, 对工作环境要求低。

[0069] 3、本发明所述方法不仅能重建被关注对象的三维立体图像, 而且还具有二维平片观察、二维数字减影、实时立体影像观察、实时立体定位导航、三维特征影像提取、任意断层图像提取等用途。

[0070] 4、本发明所述方法可广泛用于被关注对象内部探伤、安全检查、海关检查、被关注对象内部空间定位导航、医学检测等领域。

## 附图说明

[0071] 图 1 是计算机体层成像方法扫描 (CT) 的原理图。

[0072] 图 2 是本发明所述采用 X 射线容积摄影实现图像重建方法的流程图。

[0073] 图 3 是本发明所述采用 X 射线容积摄影实现图像重建方法的用途说明图。

[0074] 图 4 是像片坐标系  $o-xy$  的示意图。



[0075] 图 5 是 X 射线容积摄影时 X 射线源、被关注对象、标志架、X 射线数字像片的位置关系图,该图还描述了标志点和容积摄影立体图像重建直角坐标系  $O-XYZ$ 。

[0076] 图 6 是像片坐标系  $o-xy$  与容积摄影立体图像重建直角坐标系  $O-XYZ$  的关系图。

[0077] 图 7 是体素  $g_{ijk}$  方格与容积摄影立体图像重建直角坐标系  $O-XYZ$  的关系图。

[0078] 图 8、图 9、图 10、图 11 是是多层网架 4 个不同位置的 X 射线数字像片,其中,图 8 为第 1 张 X 射线数字像片,图 9 为第 2 张 X 射线数字像片,图 10 为第 3 张 X 射线数字像片,图 11 为第 4 张 X 射线数字像片。

[0079] 图中,1—X 射线管中心 (X 射线源)、2—扫描机架、3—探测器、4—被关注对象、5—图像重建方格、6—X 射线数字像片、7—标志架、8—标志点、9—承物床、10—标志点像元、11—体素方格。

### 具体实施方式

[0080] 下面结合附图对本发明所述方法作进一步说明。在下述实施例中,通过 X 射线容积摄影对多层网架实现图像重建,步骤如下:

[0081] (1) 鉴定 X 射线摄影机、

[0082] 调整 X 射线摄影机,使 X 射线管中心 1(S) 的垂直光束与 X 射线数字像片承影面垂直,确定 X 射线管中心 1(S) 到 X 射线数字像片承影面的距离  $H$  为 1000mm(见图 4)。

[0083] (2) 建立像片坐标系  $o-xy$

[0084] 在 X 射线数字像片 6 上建立像片坐标系  $o-xy$ ,像片坐标系原点  $o$  是 X 射线管中心 1(S) 的垂直光束在 X 射线数字像片上的像元点,过像片坐标系原点  $o$  的像元点横向排列方向为像片坐标系  $x$  轴,过像片坐标系原点  $o$  的像元点纵向排列方向为像片坐标系  $y$  轴,如图 4 所示。

[0085] (3) 建立容积摄影立体图像重建直角坐标系  $O-XYZ$

[0086] 将用 0.5mm 直径铁丝绕制的  $50 \times 50 \times 50$ mm 的多层网架设置平面标志架,在标志架上设置 8 个标志点 A、B、C、D、E、F、G、H 并测定各标志点之间的三维距离,以标志点 A 作为坐标系原点,建立容积摄影立体图像重建直角坐标系  $O-XYZ$ 。各标志点在坐标系  $O-XYZ$  中的坐标见表 1。

[0087] 表 1 各标志点在坐标系  $O-XYZ$  中的坐标

[0088]

标志点	标志点坐标		
	X	Y	Z
A	101.00	100.00	0
B	150.00	102.00	0
C	202.00	101.50	0
D	249.00	100.00	0
E	100.00	300.50	0
F	153.50	303.50	0
G	200.00	302.50	0
H	251.50	301.50	0

[0089] 将各标志点在坐标系 O-XYZ 中的坐标存入计算机,所用计算机为一般的 PC 机。

[0090] (4) X 射线摄影

[0091] 操作 X 射线摄影机,使 X 射线管和 X 射线数字像片承影面沿直线轨道运动,在相隔 50mm 间距的 4 个位点各拍摄一张 X 射线数字像片,得多层网架不同位置的 4 张 X 射线数字像片(见图 8、图 9、图 10、图 11)。

[0092] (5) 标志点模式识别与标志点影像定位

[0093] 将步骤 (4) 拍摄的 4 张 X 射线数字像片输入步骤 (3) 所述的计算机,通过计算机用点特征提取算子 Moravec 匹配计算提取各标志点特征影像,确定各标志点在各张 X 射线数字像片上的像元位置,得到各标志点在各张像片 o-xy 坐标系中的坐标。

[0094] (6) 计算各张 X 射线数字像片的方位元素  $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 、 $Q$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$

[0095] 将各张 X 射线数字像片上的标志点在容积摄影立体图像重建直角坐标系 O-XYZ 中的坐标和步骤 (5) 得到的标志点在 o-xy 坐标系中的坐标分别代入 X 射线光束共线方程式,对各张 X 射线数字像片选择三个标志点的 X 射线光束共线方程式,通过计算机联立解算,算出各张 X 射线数字像片的六个方位元素(计算方法见钱曾波“解析摄影测量”,测绘出版社 15039. 新 143,第一章),各张 X 射线数字像片的方位元素见表 2。

[0096] 表 2 方位元素计算结果表

[0097]

X 射线 数字像片 序号	$X_s$ (m)	$Y_s$ (mm)	$Z_s$ (mm)	$\alpha$	$\omega$	$\kappa$
1	101.10	201.45	1000.43	0° 31' 21.32"	0° 23' 57.63"	2° 07' 32.72"
2	151.02	201.35	1000.47	0° 31' 20.62"	0° 23' 58.45"	2° 07' 24.16"
3	201.89	201.65	1000.65	0° 31' 19.14"	0° 23' 56.34"	2° 07' 21.42"

4	251.74	201.63	1000.71	0° 31' 18.61"	0° 23' 55.67"	2° 07' 20.32"
---	--------	--------	---------	---------------	---------------	---------------

[0098] (7) 计算像元 G 在容积摄影立体图像重建直角坐标系 0-XYZ 中的坐标

[0099] 依据步骤 (6) 得到的 4 张 X 射线数字像片的方位元素  $X_s, Y_s, Z_s, \alpha, \omega, \kappa$  和 X 射线管中心 1(S) 到 X 射线数字像片承影面的修正距离  $H_{修}$  ( $H_{修} = 1000\text{mm}$ ), 像元之间的距离  $l$  ( $l = 100 \mu\text{m}$ ), 用计算机计算各张 X 射线数字像片上每个像元  $G_{ij}$  的容积摄影立体图像重建坐标  $X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}$ 。各张 X 射线数字像片上的标志点像元  $G_{ij}$  的容积摄影立体图像重建坐标  $X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}$  见表 3。

[0100] 表 3 各标志点像元  $G_{ij}$  在坐标系 0-XYZ 中的坐标

[0101]

像片序号	标志点	标志点像元坐标		
		$X_{ij}$	$Y_{ij}$	$Z_{ij}$
1	A	101.23	100.44	0
	B	149.96	102.08	0
	C	201.97	101.55	0
	E	99.67	300.50	0
	F	153.65	303.11	0
	G	199.98	302.25	0
	2	A	101.05	100.29
B		150.12	101.98	0
C		202.07	101.65	0
D		249.20	99.80	0
E		99.74	300.60	0
F		153.75	303.23	0
G		199.86	302.21	0
H		251.51	301.87	0
3	A	101.00	100.11	0
	B	150.12	101.98	0
	C	202.00	101.45	0
	D	249.10	99.60	0
	E	99.52	300.47	0
	F	153.85	303.43	0
	G	199.86	302.21	0
	H	251.32	301.61	0
4	B	150.12	101.98	0
	C	201.95	101.98	0
	D	249.310	99.75	0
	F	251.51	301.87	0
	G	199.92	302.21	0
	H	251.58	301.77	0

[0102] (8) 确定每条光束通过多层网架的全部体素

[0103] 依据步骤(6)得到的各张 X 射线数字像片的方位元素  $X_s, Y_s, Z_s$  和步骤(7)得到的各张 X 射线数字像片的各像元 G 的容积摄影立体图像重建坐标  $X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}$ , 通过计算机计算, 找出每条 X 光束通过多层网架的全部体素 g。

[0104] (9) 重建三维立体图像

[0105] 由每一条 X 光束路径上的像元 G 和体素 g 列出 Radon 方程组, 通过计算机解算出全部体素的灰度值, 由体素的灰度值重建多层网架的立体容积图像。

[0106] 在上述立体影像观察中测量标志点和多层网架特征部位坐标, 提取体素 g 的灰度影像坐标与实测标志点和多层网架特征部位坐标比较, 完全相符, 证明标志点模式识别与标志点影像定位影像匹配正确, 相交的光束构成的前方交会计算的同名点对对相交, 共线条件计算正确, X 射线投影中心 S 和像元 G 的像片坐标构成的光束路径是符合 Radon 计算条件的。

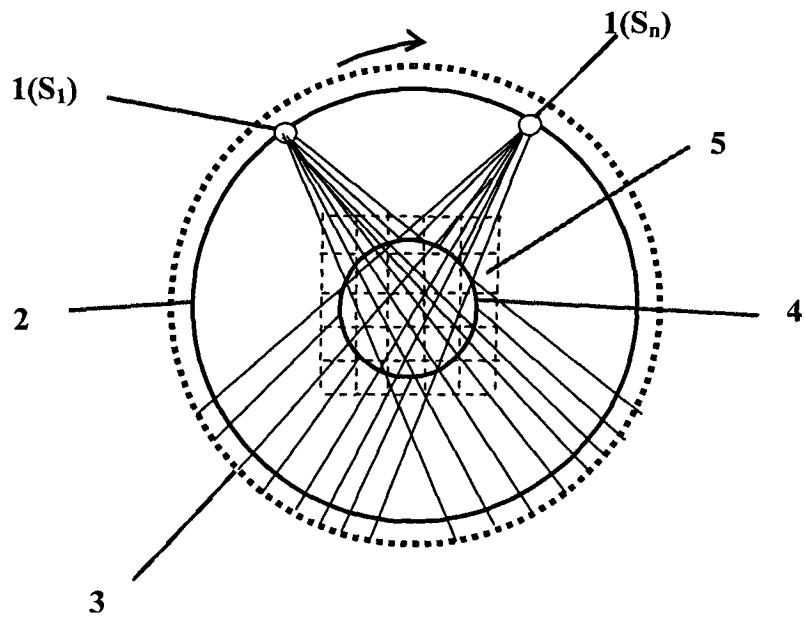


图 1

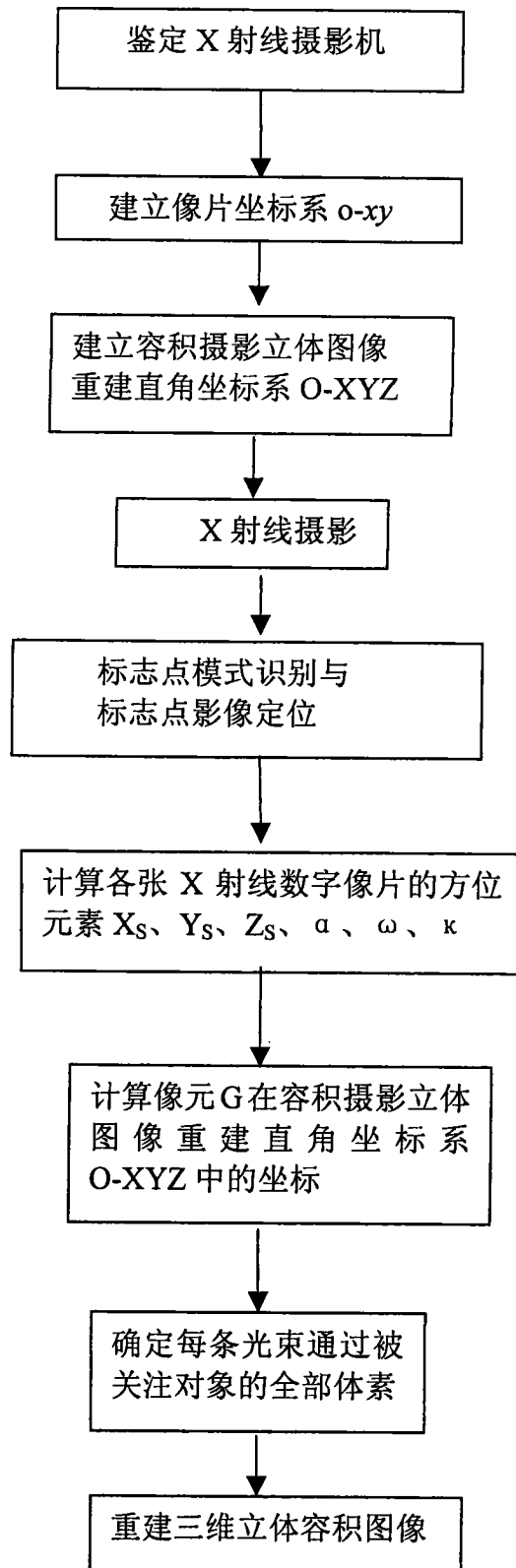


图 2

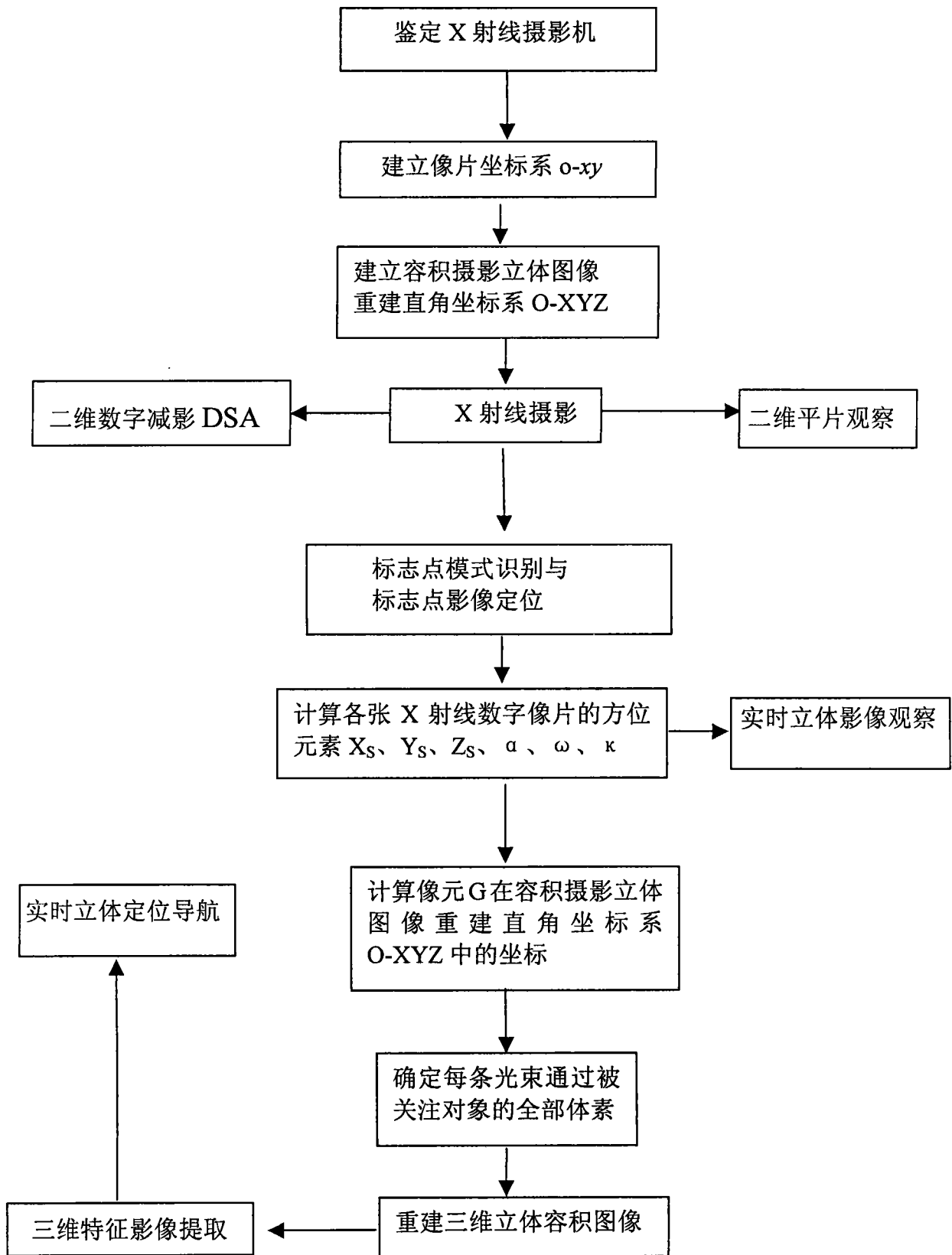


图 3

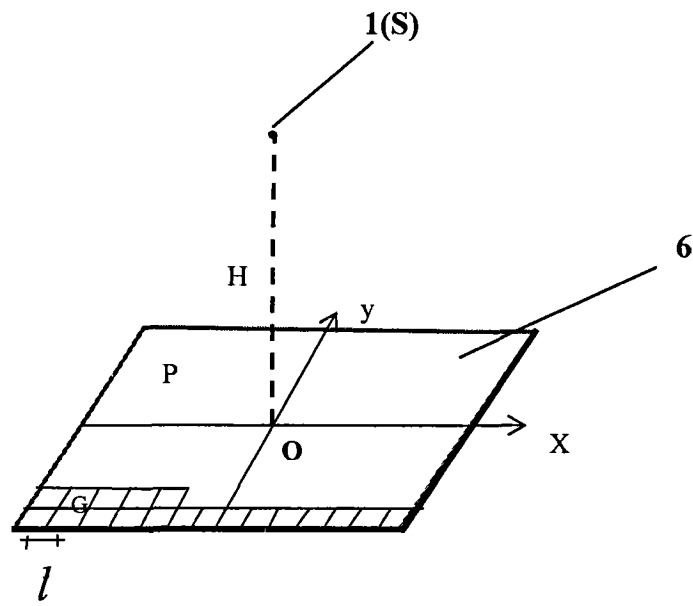


图 4

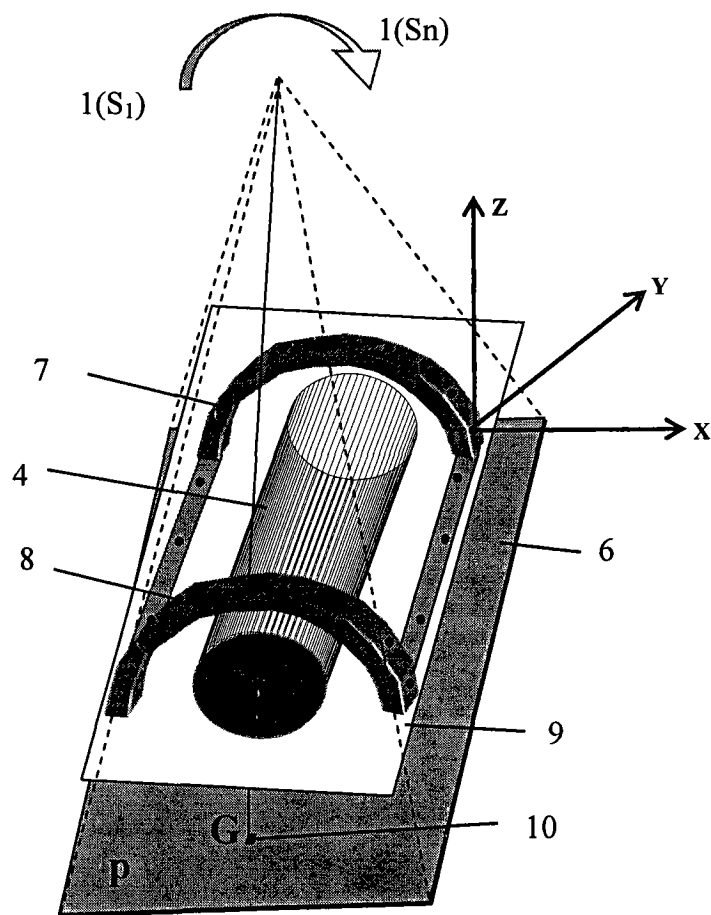


图 5



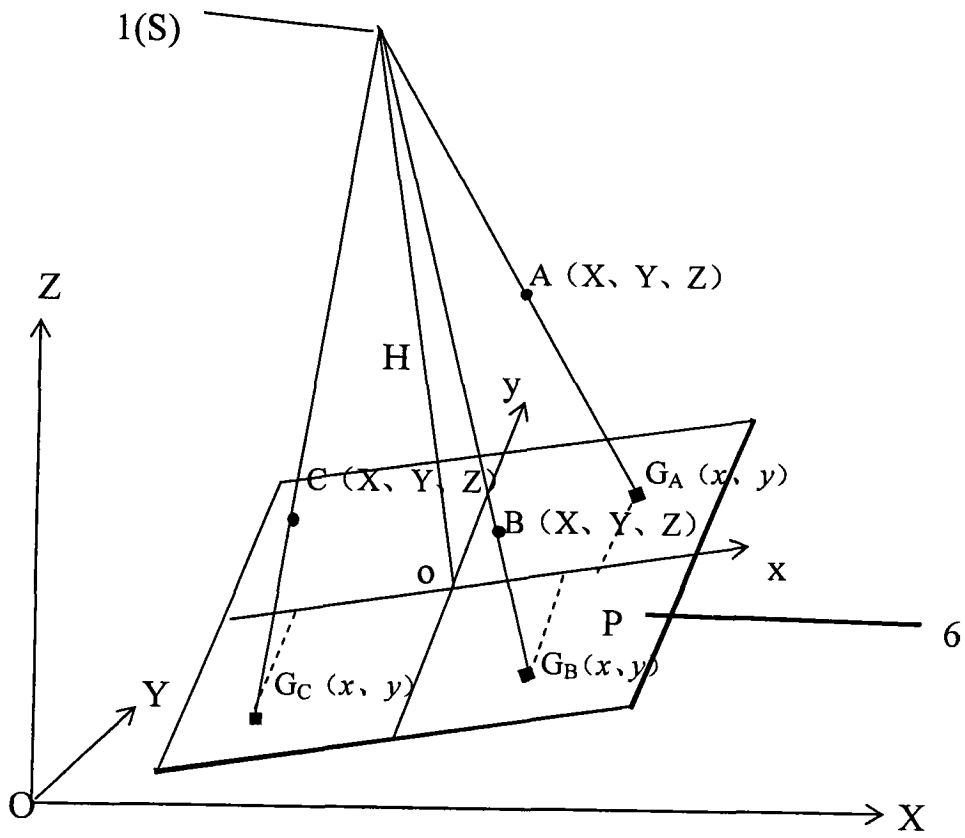


图 6

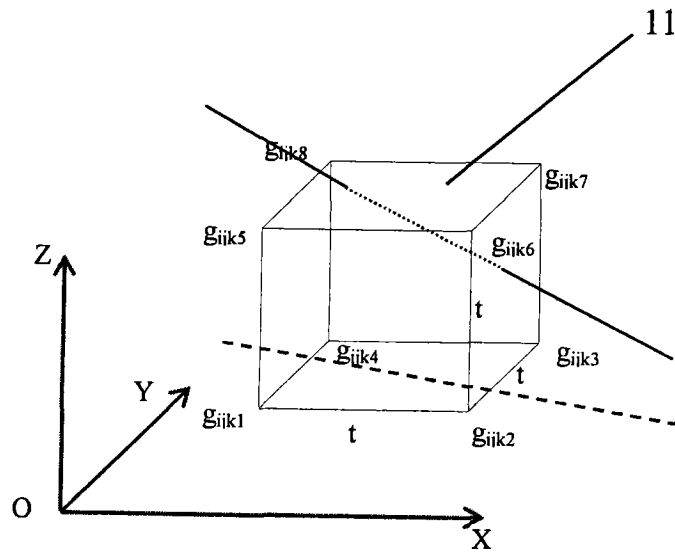


图 7

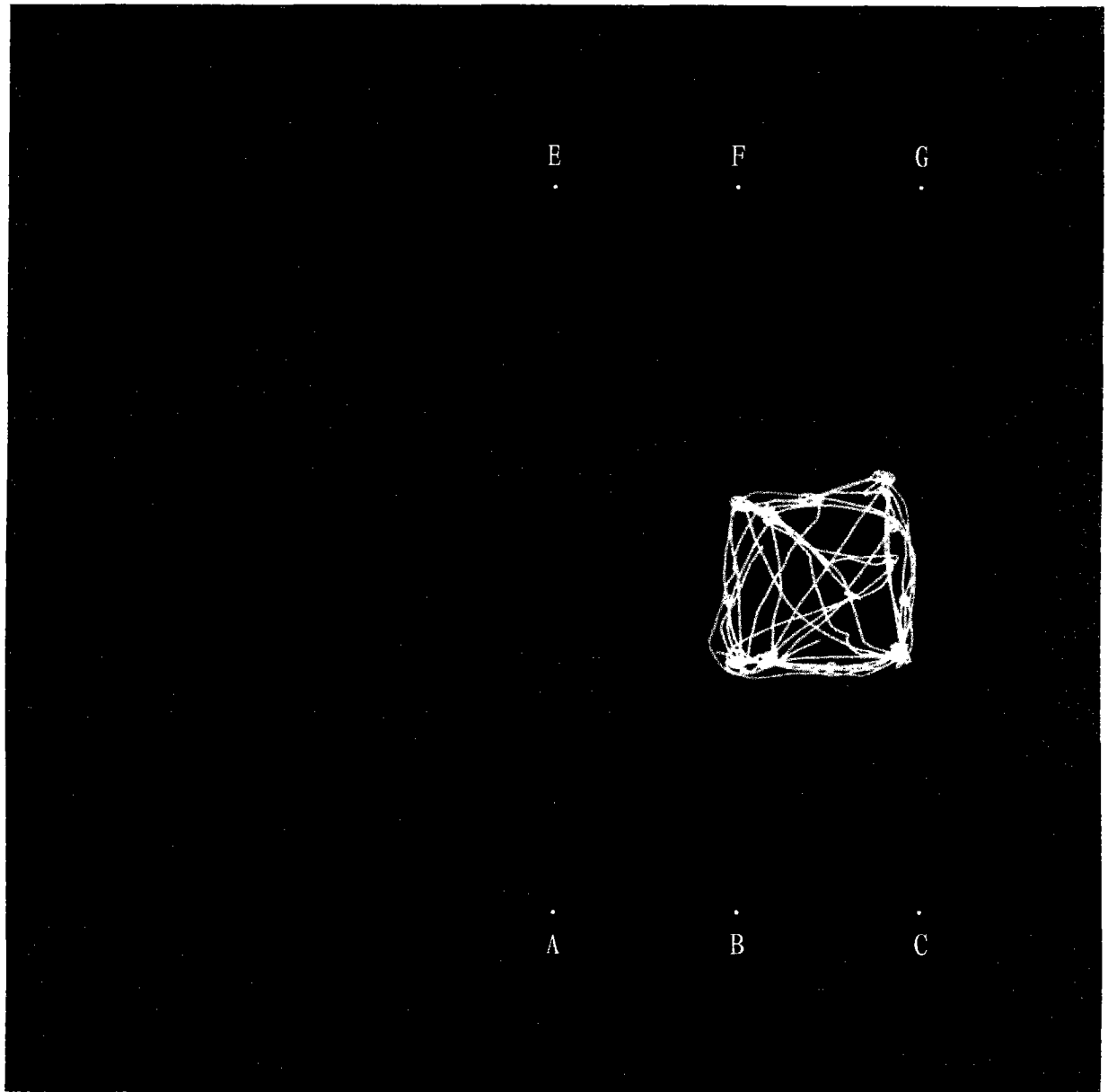


图 8

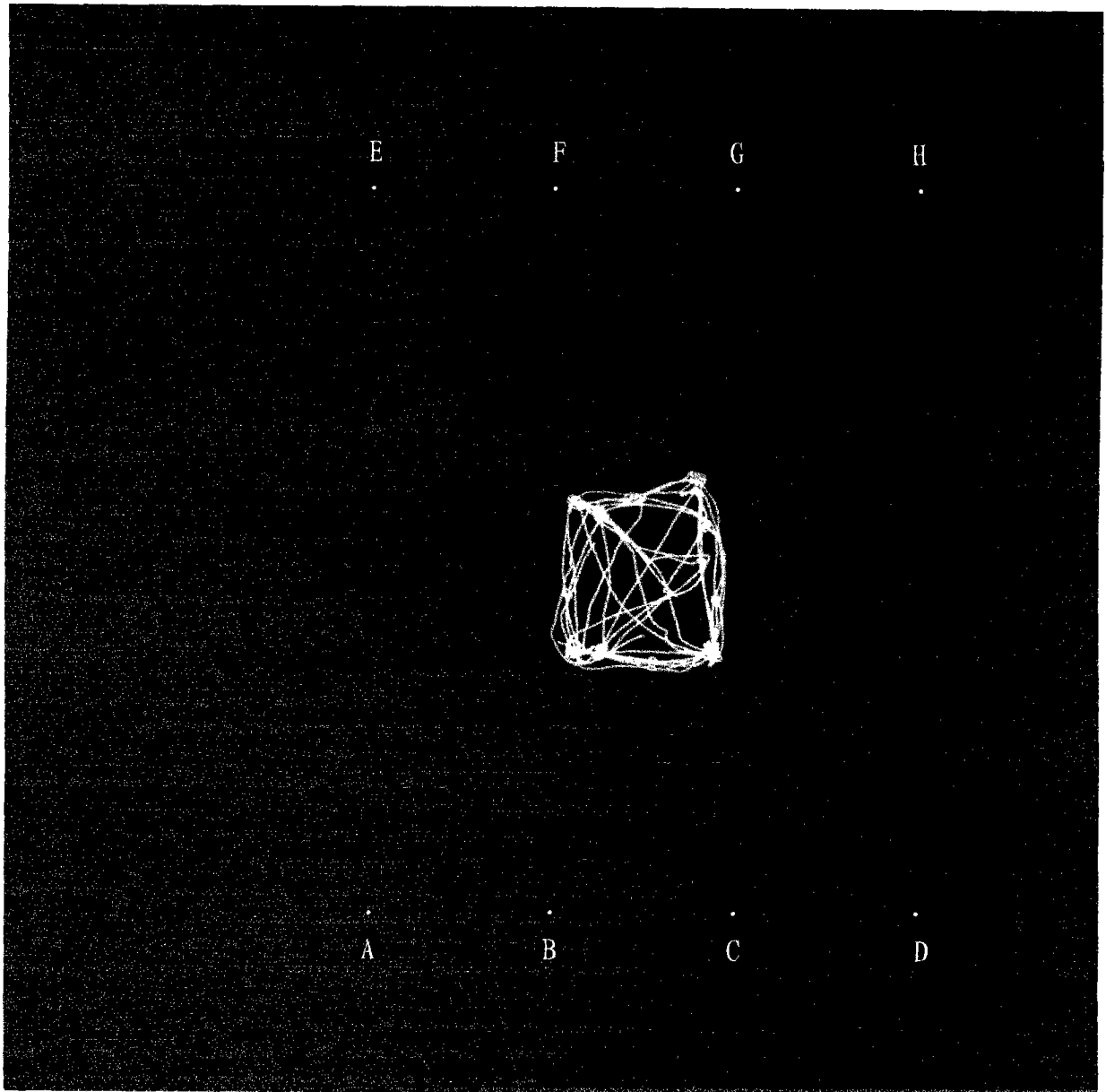


图 9

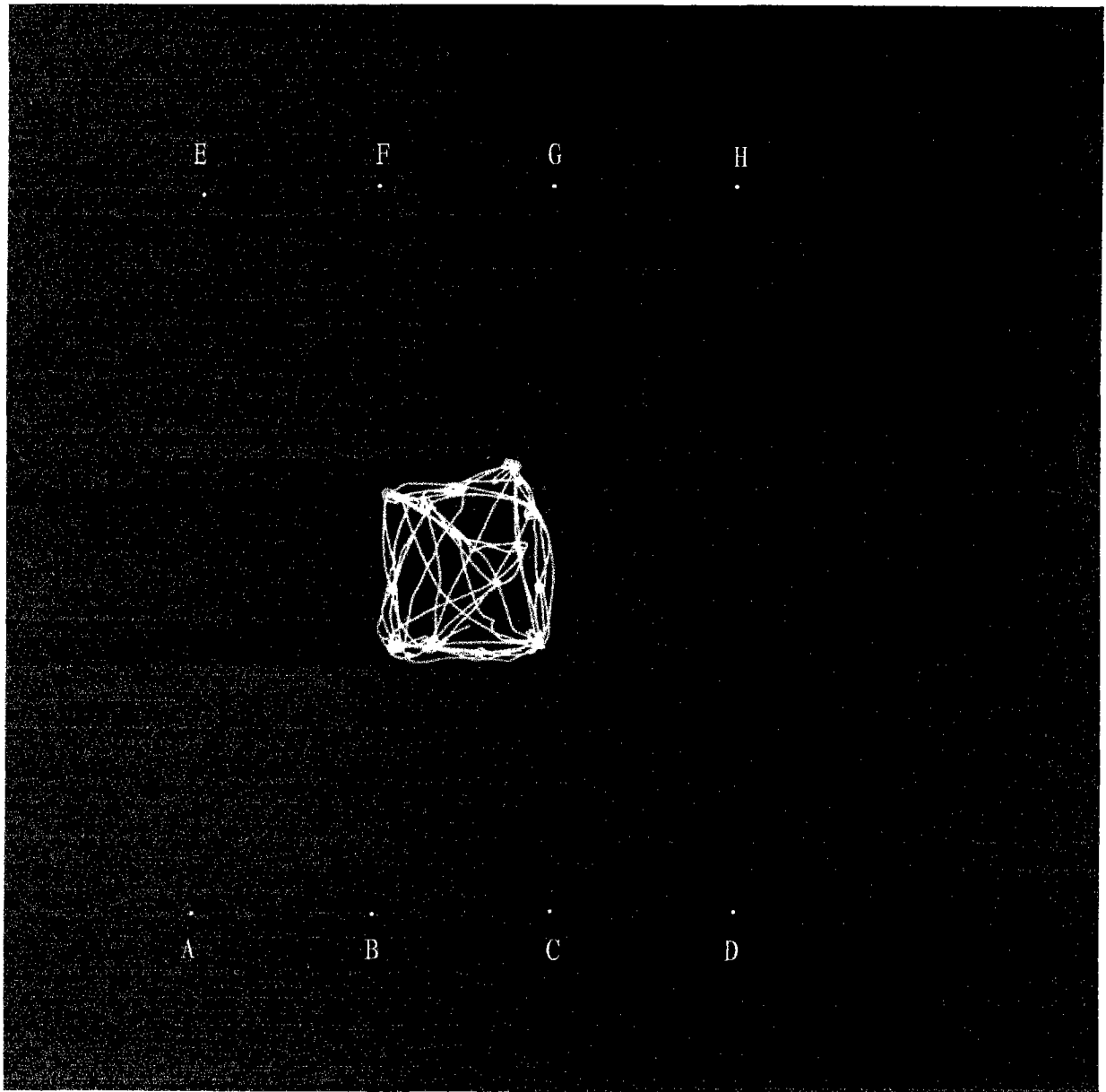


图 10

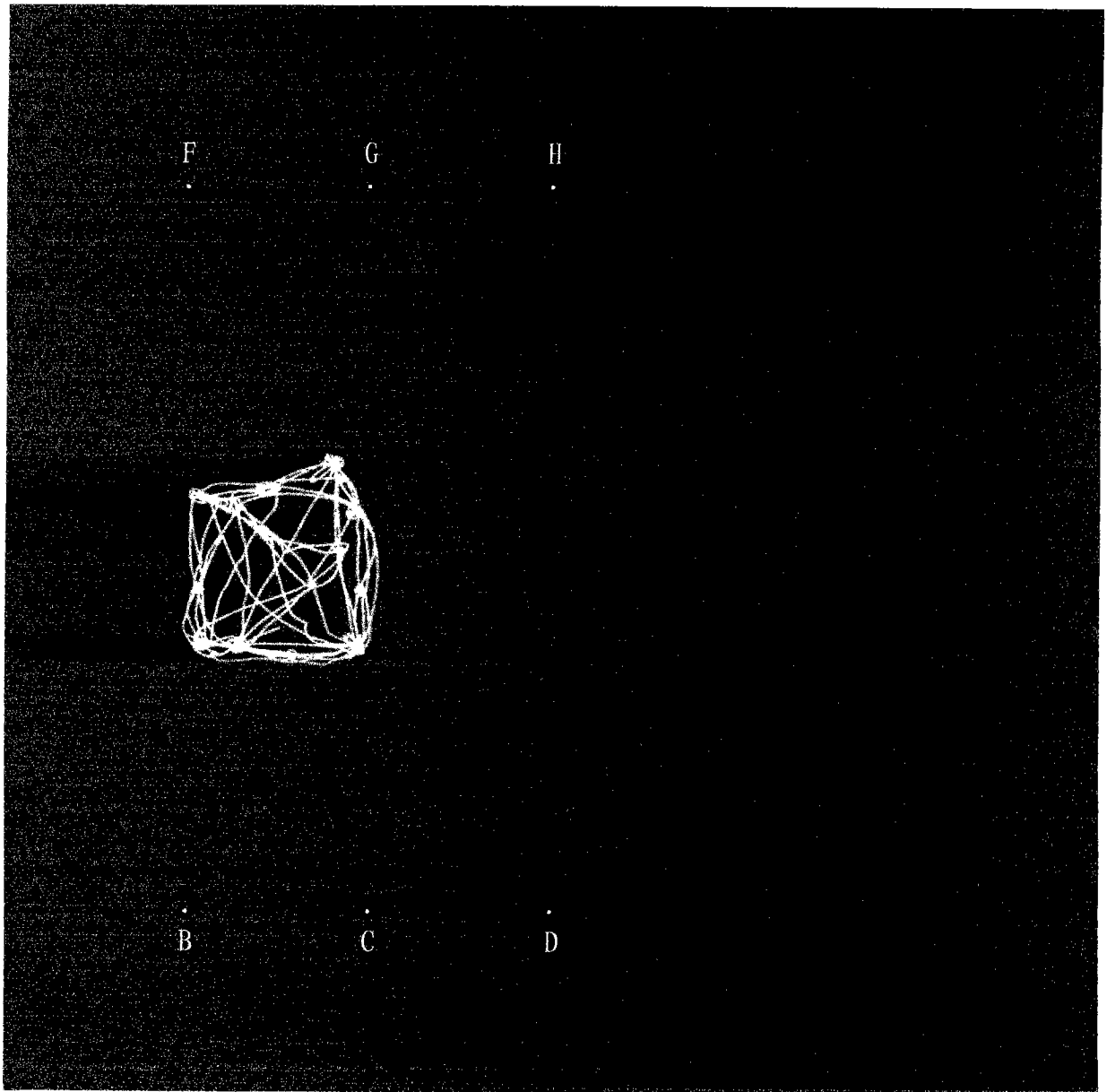


图 11