

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102460067 A

(43) 申请公布日 2012. 05. 16

(21) 申请号 201080031948. 3

代理人 邸万奎

(22) 申请日 2010. 05. 16

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G01B 15/02(2006. 01)

61/178, 945 2009. 05. 16 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 01. 16

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/035048 2010. 05. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02011/142768 EN 2011. 11. 17

(71) 申请人 拉皮斯坎系统股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 小罗伯特. A. 阿密斯泰德

J. A. 布朗 W. Z. 常 E. D. 弗朗科

J. 本达汉

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

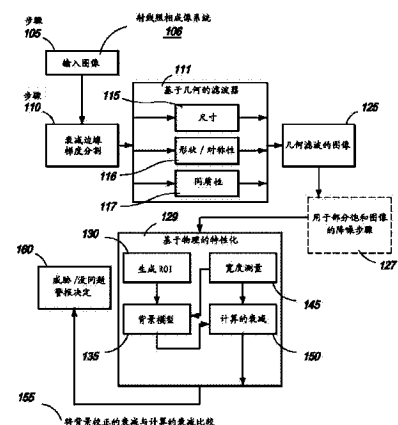
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 9 页

(54) 发明名称

用于高原子数材料的自动快速检测的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种检查系统,包括:辐射源、检测器阵列、检查范围和处理单元,其中所述处理单元:a) 获得射线照相图像;b) 基于辐射衰减或透射分割所述射线照相图像;c) 在所述射线照相图像上识别至少一个分割区域;d) 使用至少一个几何滤波器对所述至少一个分割区域滤波;e) 使用所滤波的分割区域生成特征矢量;以及 f) 将所述特征矢量与预定值进行比较,以确定是否存在高原子数的对象。



1. 一种检查系统,包括:
 - a. 辐射源;
 - b. 检测器阵列;
 - c. 由所述辐射源和所述检测器阵列界定边界的检查范围;
 - d. 处理单元,其中,通过至少一个处理器、至少一个存储器和程序指令的操作,所述处理单元:
 - i. 获得表示射线照相图像的数据;
 - ii. 基于辐射衰减或透射分割所述数据;
 - iii. 在所述表示所述射线照相图像的数据内识别至少一个分割区域;
 - iv. 使用至少一个图形滤波器对所述至少一个分割区域滤波;
 - v. 使用所滤波的分割区域生成多个特征矢量;以及
 - vi. 将所述特征矢量与预定值进行比较,以确定是否存在高原子数的对象。
2. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中所述射线照相图像具有威胁对象的最小尺寸的至少 0.25% 的空间分辨率。
3. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中所述辐射源是 X 射线或伽玛射线辐射中的至少一个。
4. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中所述处理单元通过确定局部极大峰值衰减值生成所述表示所述射线照相图像的分割数据的图。
5. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中所述处理单元通过确定最小透射值以及应用边缘梯度计算而生成所述表示所述射线照相图像的分割数据的图。
6. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中所述几何滤波器是形状、对称性、尺寸或同质性中的至少一个。
7. 如权利要求 6 所述的检查系统,其中对至少一个分割区域应用所述尺寸滤波器,以识别基于空间分辨率或穿透力而选择的尺寸。
8. 如权利要求 6 所述的检查系统,其中对至少一个分割区域应用所述形状滤波器,以识别小于 20 的空间高宽比。
9. 如权利要求 6 所述的检查系统,其中所述分割区域具有第一数量的像素,并且其中第二规定区域具有第二数量的像素,并且其中应用所述同质性滤波器,以确定所述第一数量的像素与所述第二数量的像素的比率。
10. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中所述处理单元使用经滤波的分割区域通过以下步骤生成多个特征矢量:
 - a. 获得所滤波的分割区域的图像;
 - b. 估计围绕所滤波的分割区域的背景衰减;
 - c. 从所滤波的分割区域中减去所述背景衰减,以生成所滤波的分割区域的净衰减;
 - d. 使用所滤波的分割区域的所述净衰减估计感兴趣的区域的尺寸;
 - e. 计算所滤波的分割区域的衰减,就好像其是高 Z 材料;以及
 - f. 将所计算的、经滤波的感兴趣的分割区域的衰减与所滤波的分割区域的净衰减进行比较。
11. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中所述特征矢量包括最大衰减、净衰减、衰减与

可疑对象的面积的比值、可疑对象沿着边界的梯度、以及所测量的经背景校正的衰减与所计算的衰减之间产生的差中的至少一个。

12. 如权利要求 1 所述的检查系统,其中将所述特征矢量与预定值进行比较,以确定是否存在高原子数对象。

13. 一种检查系统,包括处理单元,其中所述处理单元:

i. 基于辐射衰减或透射,对表示对象的第一视图的第一射线照相图像与表示所述对象的第二视图的第二射线照相图像的数据进行分割;

ii. 针对每个所述图像,使用至少一个滤波器对至少一个分割区域进行滤波;

iii. 针对每个所述图像,使用所滤波的分割区域生成多个特征矢量;以及

iv. 针对每个所述图像,使用所述特征矢量确定是否存在高原子数对象。

14. 如权利要求 13 所述的检查系统,其中使用 X 射线或伽玛射线辐射源中的至少一个产生每个所述射线照相图像。

15. 如权利要求 13 所述的检查系统,其中如果每个所述图像指示存在高原子数对象,则所述处理单元激活警报。

16. 如权利要求 13 所述的检查系统,其中所述滤波器是形状、对称性、尺寸或同质性中的至少一个。

17. 如权利要求 16 所述的检查系统,其中所述尺寸滤波器对所述至少一个分割区域进行滤波,以识别基于检查系统的空间分辨率或穿透力而选择的尺寸。

18. 如权利要求 16 所述的检查系统,其中所述形状滤波器对所述至少一个分割区域进行滤波,以识别小于 20 的空间高宽比。

19. 一种检查系统,包括处理单元,其中所述处理单元:

i. 对表示对象且以第一能量水平生成的第一射线照相图像与表示所述对象且以第二能量水平生成的第二射线照相图像的数据进行分割;

ii. 针对每个所述图像,使用至少一个滤波器对至少一个分割区域进行滤波;

iii. 针对每个所述图像,使用所滤波的分割区域生成多个特征矢量;

iv. 对所述多个特征矢量执行比率操作,产生比率特征矢量;以及

v. 使用所述比率特征矢量确定是否存在高原子数对象。

20. 如权利要求 19 所述的检查系统,其中如果每个所述图像指示存在高原子数对象,则所述处理单元激活警报。

用于高原子数材料的自动快速检测的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明一般涉及用于在射线照相图像中检测特定种类的材料的方法。具体地,感兴趣的材料是表示安全威胁的材料和 / 或由于高内在价值而可能被隐藏在包裹和货物中或被走私的材料(例如,金或铂)。更具体地,本发明涉及用于自动并快速检测高原子数(高 Z)材料(诸如核材料)、核武器、以及可以用于屏蔽由这样的材料和放射性散布装置发射的辐射的屏蔽材料的存在的系统和方法,所述屏蔽材料可以阻止辐射检测器检测到辐射。本发明还涉及由于其价值而可能在货物中走私的其它类型的高 Z 材料(诸如金和铂金块)、以及包含高 Z 材料的艺术作品和古董的检测。

背景技术

[0002] 通过检测穿过被检查的对象(例如卡车或容器中的货物)的 X 射线或伽玛射线而产生射线照相(radiographic)图像。存在的材料的密度、原子数和总量确定衰减了多少辐射,因此确定所产生的射线照相图像的本质和类型。因此,除了确定 X 射线或伽玛射线光子在沿着各种 X 射线路径行进时的平均吸收率(absorption),还可以导出有关材料的特性的信息。在图像中识别存在高 Z 材料的区域具有有关检测特定种类的大规模杀伤性武器(WMD)的特定安全意义。传统 X 射线和伽玛射线扫描系统产生的射线照相图像通常不能确定区域中是否包含高 Z 材料。而是,检查者检查图像,以确定是否存在由于其形状、对称性、尺寸、衰减或透射率等而被认为可疑的任何区域。包含可疑区域的货物必须使货物内容物卸除来进行手动检验。检查者必须通过平衡互为竞争的目的来作出他们的决定,即既要尽力确保所有真实威胁都被检测到,同时还要保持低的错误警报率以限制需要物理检查的货物量,从而不过度影响商业流。

[0003] 检查者进行的射线照相图像的评估受制于可能影响威胁检测的人为因素。例如,已经发现威胁检测因不同检查者而不同,这归因于诸如以下问题:经验、先天观察能力的不同、由于检验大量图像而导致的眼睛 / 大脑疲劳、以及其它这样的障碍。

[0004] 而且,分析给定图像所需的时间取决于被扫描系统初始认为可疑的区域或对象的数量。检查者进行的典型的图像搜索 / 威胁检测过程包括通过寻找高水平的衰减或低水平的透射以针对高衰减对象而快速浏览图像。例如,任何给定的图像可能包含一个或多个需要详细检验的高衰减对象或区域。对于每个对象或区域,检查者使用输入设备(诸如鼠标)手动创建对比度增强。接着,必须对每个对象评估其总衰减(或透射)值,从而检查者选择所述对象或区域内的感兴趣范围,并估计反映 X 射线或伽玛射线沿着该路径的总衰减(或透射)的平均像素值。在可以估计对象的净衰减(或透射)之前,必须分析周围背景材料的衰减(或透射)。接着,为了生成对象的所估计的净衰减(或透射),必须从总衰减中减去背景。最后,检查者必须检验对象的形状和尺寸,并将这些估值与所估计的净衰减(或透射)组合,以得出该对象是否表示威胁的结论。此过程通常将必须对图像中的每个可疑对象或区域进行重复。如果精确地进行,则这将是非常耗时(time-intensive)的过程。

[0005] 例如,转让给 Rapiscan Systems 公司的美国专利 No. 7,366,282(通过引用合并到

这里)“提出一种用于识别隐藏在容器内的对象的方法,包括以下步骤:使用第一级 X 射线检查系统生成第一组数据;使用与第一级检查系统进行数据通信的多个处理器处理所述第一组数据;从所处理的第一组数据中识别至少一个目标范围;相对于所述目标范围定位检查范围,其中所述检查范围至少部分与所述目标范围物理一致;通过第二级检查系统生成检查范围;以及产生在检查范围中具有材料的 X 射线签名特性和荧光签名特性的第二组数据”。此外,“在另一实施例中,本发明包括单级检查系统,其包括 X 射线衍射和荧光系统。通过使目标对象穿进 C 形检查系统;将 X 射线束从辐射源引导向目标对象;使用衍射检测器头检测衍射信号;使用荧光检测器头检测荧光信号;以及使用所述衍射信号和所述荧光信号识别违禁品材料,而使用辐射源来识别位于目标对象内的违禁品、高 Z 或其它非法材料。该方法还可包括以下步骤:生成所述目标对象的图像;使用算法分析图像,以基于阈值水平评估对象的范围;基于标准将所述图像分割为范围;进一步检查所选择的满足特定标准的范围,以确定它们的尺寸和形状;将所选择的范围与威胁标准进行比较;以及当在所述比较步骤中对象被确定为匹配所述威胁标准时向检查者发出警报。”

[0006] 在另一示例中,转让给 AnnisTech 公司的美国专利 No. 6, 347, 132(通过引用合并到这里)公开了“一种用于自动检测核武器材料的可执行例程 50。此例程优选由信号处理器和控制器 28 执行(图 1)。执行步骤 52,以当相对于扇形束(fan beam)20(图 1)扫描检查中的对象 12(图 1)时对透射检测器 22(图 1)的每个单独(individual)检测器元件进行采样,并数字化和存储所采样的值。测试 54 对所采样的值执行阈值检测,以在检查中的对象的图像内识别不正常高的吸收率的任何区域。即,因为核武器材料比其它任何材料吸收显著更多的 x 射线,所以与检查中的对象内有核武器材料的区域关联的采样信号的幅度将与周围区域显著不同。因此,阈值检测是合适的自动检测技术。替代地,也可以使用空间频率分析来检测采样信号幅度的大变化,其接着可以被分析来确定幅度的大变化是否与核武器材料一致。在任何情况下,核武器材料的检测都是自动的。类似地,在散射图像中检验透射图像中识别的高衰减的范围(如果采用笔形束系统)。散射图像中的负结果加强了透射束分析的结果。如果检测到核武器材料,则步骤 56 提供可以显示在显示器上的警示报警标记(annunciator),启动音频警报,或者提供其它合适的警示设备。”

[0007] 在再一实施例中,转让给 GE 国土保护公司(GE Homeland Protection, Inc)的美国专利 No. 7, 492, 682 描述了“一种用于针对违禁品检查容器的方法,所述方法包括:将容器定位在配置为支持容器的平台上,所述平台可旋转地耦合到与限定轴可移动地耦合的基座的框架,所述框架关于所述基座在平行于该轴的方向上可移动,并且所述平台与框架一起可移动且可以相对于该框架绕着所述轴旋转;产生具有至少一个能量分布的 X 射线束,并且在容器绕着轴旋转并在平行于该轴的方向上移动时使该 X 射线束透射通过该容器;利用检测器阵列检测透射通过该容器的 X 射线束,以生成表示所检测的辐射的信号;以及处理该信号来产生所述容器以及所述容器的内容物的图像,以生成对于所述容器的图(map),包括对应于容器内的内容物的原子数、CT 号、密度中的至少一个。”

[0008] 传统的现有技术威胁检测使用各种技术,诸如传统射线照相、双能量成像、谐振吸收/荧光、计算 X 线断层摄影术(CT)系统、双级 X 射线衍射和荧光系统,以产生射线照相图像,所述射线照相图像被手动检查用于威胁检测和/或使用软件例程分析。

[0009] 例如,高能量双能量技术已用于传统系统中。多能量检查利用在兆伏范围(即 6MV

和 9MV) 中的两个或更多个能量进行扫描大对象。该技术基于具有不同原子数的材料的 X 射线衰减的不同。为多个能量收集透射信息使得可以确定沿着 X 射线路径长度的材料的原子数。

[0010] 转让给 GE 国土保护公司的美国专利 No. 7, 483, 511 描述了“一种确定货物容器内的感兴趣物品的存在的方法, 所述方法包括: 从货物容器及其内容物中的至少一个的初始辐射扫描获取信息, 所述获取包括: 沿着货物容器的扫描部分以筛选 (screening) 扫描率发射扫描辐射束; 检测响应于扫描辐射束的发射而接收的辐射; 以及分析所检测的、响应于发射扫描辐射束而接收的辐射, 以开发关于初始射线扫描的信息; 响应于所获得的信息识别货物容器的目标部分, 其中所述检查部分大于目标部分; 沿着货物容器的目标部分以目标扫描率发射目标辐射束, 所述目标扫描率与所述筛选扫描率不同; 检测响应于该发射而接收的辐射; 针对感兴趣的物品的存在而分析所检测的辐射; 以及响应于该分析, 生成表示存在感兴趣的物品的第一信号或者生成表示不存在感兴趣的物品的第二信号。”

[0011] 此外, 转让给 Passport Systems 公司的美国专利 No. 7, 286, 638 描述了“用于分析目标的体素 (voxel) 中的材料的方法, 所述方法包括: 利用光子束照射体素; 测量从体素散射的、第一能量范围内和第一测量方向上的光子的第一数量; 测量从体素散射的、第二能量范围内和第二测量方向上的光子的第二数量; 确定光子的第一数量与光子的第二数量的比率; 使用该比率确定体素中的材料的平均原子数; 以及基于所确定的平均原子数生成信号。”

[0012] 另外, 美国专利公布 No. 20090323889 描述了“用于计算 X 线断层摄影术 (CT) 威胁检测系统中的基于 XRD 的错误警报分辨的系统和方法。在利用基于兆伏 CT 的威胁检测系统扫描对象之后, 识别对象中的可疑区域。可疑区域的三维位置用于确定用于基于 XRD 的威胁检测系统的、提供最小 X 射线衰减的射线路径。然后定位对象以用于沿着该确定的射线路径对可疑区域进行 XRD 扫描。基于 XRD 的威胁检测系统被配置来基于立方或非立方衍射轮廓 (profile) 检测高密度材料 (HDM) 以及屏蔽的特殊核材料 (SNM)。”

[0013] 然而, 现有技术对于大密度货物的高吞吐量检查存在严重的限制。例如, 基于双能量和荧光方法的检查方法对于密集的高衰减货物的威胁检查存在困难; 由于尺寸和速度的限制, CT 系统对于检查大的货物不现实。此外, 基于阈值检测的软件例程还未被证明是有效的, 因为其不能在由于其厚度和密度而具有高衰减的区域与高 Z 材料的存在之间进行区分。

[0014] 因此需要一种用于自动且快速分析射线照相图像 (特别是用于高原子数 (high-Z) 材料) 的方法, 其中“高 Z”是指元素周期表中原子数为 72 (铅) 和更高的材料。

[0015] 还需要一种方法, 其以在货物放行上导致最小附加延迟的检查和析速度, 在非常大和密集的对象 (例如包含金属和其它密集货物的容器) 中精确地检测高 Z 材料。

[0016] 还需要一种实施补充模块的方法, 所述补充模块使用阈值和梯度检测技术两者, 在考虑到特性几何和物理的情况下分析射线照相图像, 以减少错误警报, 同时自动且快速地呈现“高 Z”/“没问题”的决定。

发明内容

[0017] 在一个实施例中, 本发明贯注于一种检查系统, 包括: 辐射源; 检测器阵列; 由所

述辐射源和所述检测器阵列界定边界的检查范围；处理单元，其中通过至少一个处理器、至少一个存储器和程序指令的操作，所述处理单元：获得表示射线照相图像的数据；基于辐射衰减或透射分割所述数据；在所述表示所述射线照相图像的数据内识别至少一个分割区域；使用至少一个几何滤波器对所述至少一个分割区域滤波；使用所滤波的分割区域生成多个特征矢量；以及将所述特征矢量与预定值进行比较，以确定是否存在高原子数的对象。

[0018] 可选地，所述射线照相图像具有威胁对象的最小尺寸的至少 0.25% 的空间分辨率。所述辐射源是 X 射线或伽玛射线辐射中的至少一个。所述处理单元通过确定局部极大峰值衰减值生成所述表示所述射线照相图像的所述分割数据的图。所述处理单元通过确定最小透射值以及应用边缘梯度计算而生成所述表示所述射线照相图像的分割数据的图。所述几何滤波器是形状、对称性、尺寸或同质性中的至少一个。对至少一个分割区域应用所述尺寸滤波器，以识别基于空间分辨率或穿透力而选择的尺寸。对至少一个分割区域应用所述形状滤波器，以识别小于 20 的空间高宽比。所述分割区域具有第一数量的像素，并且其中第二限定区域具有第二数量的像素，并且其中应用所述同质性滤波器，以确定所述第一数量的像素与所述第二数量的像素的比率。

[0019] 可选地，所述处理单元使用所滤波的分割区域通过以下步骤生成多个特征矢量：获得所滤波的分割区域的图像；估计围绕所滤波的分割区域的背景衰减；从所滤波的分割区域中减去背景衰减，以生成所滤波的分割区域的净衰减；使用所滤波的分割区域的所述净衰减估计感兴趣的区域的尺寸；计算所滤波的分割区域的衰减，就好像其是高 Z 材料；以及将所计算的、经滤波的感兴趣分割区域的衰减与所滤波的分割区域的净衰减进行比较。

[0020] 可选地，所述特征矢量包括最大衰减、净衰减、衰减与可疑对象的面积的比率、可疑对象沿着边界的梯度、以及所测量的背景校正衰减与所计算的衰减之间产生的差中的至少一个。所述特征矢量与预定值进行比较，以确定是否存在高原子数对象。

[0021] 在另一实施例中，本发明包括一种检查系统，其包括处理单元，其中所述处理单元：基于辐射衰减或透射，对表示对象的第一视图的第一射线照相图像与表示所述对象的第二视图的第二射线照相图像的数据进行分割；针对每个所述图像，使用至少一个滤波器对至少一个分割区域进行滤波；针对每个所述图像，使用所滤波的分割区域生成多个特征矢量；以及针对每个所述图像，使用所述特征矢量确定是否存在高原子数对象。

[0022] 可选地，使用 X 射线或伽玛射线辐射源中的至少一个产生每个所述射线照相图像。如果每个所述图像指示存在高原子数对象，则所述处理单元激活警报。所述滤波器是形状、对称性、尺寸或同质性中的至少一个。所述尺寸滤波器对所述至少一个分割区域进行滤波，以识别基于所述检查系统的空间分辨率或穿透力而选择的尺寸。所述形状滤波器对所述至少一个分割区域进行滤波，以识别小于 20 的空间高宽比。

[0023] 在另一实施例中，本发明是一种检查系统，包括处理单元，其中所述处理单元：对表示对象且以第一能量水平生成的第一射线照相图像与表示所述对象且以第二能量水平生成的第二射线照相图像的数据进行分割；针对每个所述图像，使用至少一个滤波器对至少一个分割区域进行滤波；针对每个所述图像，使用所滤波的分割区域生成多个特征矢量；对所述多个特征矢量执行比率操作，产生比率特征矢量；以及使用所述比率特征矢量确定是否存在高原子数对象。如果每个所述图像指示存在高原子数对象，则所述处理单元激活警报。

附图说明

[0024] 当结合附图考虑时,通过参照以下具体描述将认识到本发明的这些和其它特征和优点,因为它们变得被更好地理解,在附图中:

[0025] 图 1 是示出本发明的基于射线照相的方法的一个实施例的步骤的框图,所述方法用于从传统射线照相图像中自动且快速地检测高原子数(高 Z)材料的存在;

[0026] 图 2 是示出由货物容器的内容物产生的衰减的传统 X 射线照相图像的图示;

[0027] 图 3A 是使用本发明的、用于对图 2 的 X 射线照相图像进一步分析的可疑对象或区域的初始分割图;

[0028] 图 3B 是使用本发明的、用于估计感兴趣的对象周围的背景的至少一个模型的图示;

[0029] 图 3C 是使用本发明的、用于进一步特征矢量分析的五个感兴趣对象的图示;

[0030] 图 3D 是在本发明中使用的包括代表值的特征矢量表;

[0031] 图 4 是从本发明的、用于自动且快速检测高 Z 材料的存在的方法得出的可疑对象或区域的描绘;

[0032] 图 5 是在使用本发明的、用于自动且快速检测高 Z 材料的存在的方法的分析之后,货物容器的 X 射线照相图像的图示;

[0033] 图 6 是与传统 X 射线透射货物容器扫描系统集成本发明的方法的一个实施例的表示图;以及

[0034] 图 7 是示出本发明的、用于自动且快速检测高 Z 材料的存在的双能量射线照相成像方法的一个实施例的步骤的框图。

具体实施方式

[0035] 本发明贯注于在射线照相图像内检测特定种类的材料(即高 Z)的方法。更具体地,本发明贯注于这样的威胁检测方法,其用于针对安全威胁和其它类型的违禁品,尤其是高原子数(高 Z)材料,自动且快速地分析货物(诸如板条箱、卡车、海运容器、包裹、以及其它货物)的射线照相(X 射线、伽玛射线等)图像。因此,在一个实施例中,本发明贯注于提高扫描吞吐量并消除对检查者或安全扫描系统操作员手动检验射线照相图像内的可疑区域的需要。

[0036] 为了本发明的目的,“高 Z”是指在元素周期表中原子数为 72(铷)和更高的材料,但钋(84)除外,由于钋非常低的密度而排除在本发明的方法的有效范围之外。

[0037] 在一个实施例中,本发明贯注于违禁品检测方法,其高效地检测高 Z 材料,诸如但不限于经装配的核设备中的特殊核材料(SNM)(例如,铀、钚);意欲最终装配为核设备的分离 SNM 量;以及通常用于屏蔽放射性材料以防止发射的辐射被放置在多个全局入口处工作的被动探测器阵列检测的多个高 Z 材料(例如,钨,铅)之一。辐射发射威胁的示例包括 SNM 和放射性同位素,其可用在放射性散布装置(即,“脏弹”)中。本发明还提供用于检测其它类型的违禁品的方法,所述其它类型的违禁品包括高价值的高 Z 材料,诸如金和铂,以及包含高 Z 材料的艺术品。

[0038] 本发明的威胁检测方法有利地使用物理属性,诸如材料密度、质量吸收系数以及

尺寸。在一个实施例中,本发明的威胁检测方法需要短得多的分析时间,并因此允许更高的系统吞吐量。分析给定射线照相图像的时间取决于在分析期间选择为可疑的对象的数量。

[0039] 在传统系统中,典型过程包括检查者手动浏览高衰减的对象的图像。例如,如果识别出多个高衰减的对象,则检查者将需要对每个对象使用计算机和输入设备(诸如鼠标)进行手动对比度增强。接着,必须通过使用计算机选择对象内的感兴趣范围,并且估计反映沿着穿过货物的 X 射线路径的总衰减(或透射)的平均衰减(或透射)值,对每个对象评估其总衰减(或透射)值。在可以估计对象的净衰减(透射)之前,必须分析周围背景材料的衰减(或透射)。接着,为了生成对象的平均净衰减(或透射),必须从总衰减中减去背景(或者将背景加到透射上)。最后,检查者必须检验对象的形状和尺寸,并将这些估值与所估计的净衰减(或透射)组合,以得出该对象是否表示威胁的结论。此过程将必须对每个对象进行重复。因此,如果精确地进行,这将是耗时非常长的过程。

[0040] 然而,在使用本发明的威胁检测方法时,根据所使用的计算机的处理速度,决定时间的范围从通常对于确定为不具有任何可疑对象的货物的小于 1 秒至对于具有多个感兴趣的对象或区域(如图 2 中所示的图像)小于约 5 秒。在本发明的其它实施例中,如下所述,决定处理时间可取决于货物和/或扫描的复杂度而提高或降低。

[0041] 在现有技术方法中,已发现威胁检测对于不同检查者而变化,这归因于诸如以下问题:经验、先天观察能力的不同、由于检验大量图像而导致的眼睛/大脑疲劳、以及其它因素。因此,除了图像分析速度,本发明的威胁检测方法在以下方面也是有利的:它们能够为所有图像使用相同的物理原理和决定标准来进行一致的分析。因此,使威胁检测更不受人为因素的影响,人为因素可能影响检查者对射线照相图像的分析。此外,使用本发明的自动检测对于检测部分饱和区域(即,未被 X 射线束完全穿透的区域)内的威胁是有利的。由于部分饱和范围的衰减或透射值在统计学上的不确定性,将需要多得多的精心手动过程,以便检查者能够分析这些范围,并接着做出决定。

[0042] 本发明贯注于多个实施例。为了使本领域的普通技术人员能够实践本发明而提供以下公开。本说明书中使用的语言不应被解释为任何一个具体实施例的一般排除,也不用于将权利要求限制到其中使用的词句的意思之外。这里定义的一般原理可以适用于其它实施例和应用,而不偏离本发明的精神和范围。而且,所使用的术语和措词是用于说明示例性实施例的目的,而不应该认为是限定。因此,本发明欲被授予最广的范围,其包含与所公开的原理和特征一致的许多替代、修改和等同。为了清楚的目的,没有详细描述涉及与本发明有关的技术领域中公知的技术材料的细节,从而避免不必要地模糊本发明。

[0043] 此外,本领域的普通技术人员将理解,本申请中描述的特征可以在任意计算平台上操作,包括但不限于:膝上或平板计算机;个人计算机;个人数据助理;蜂窝电话;服务器;嵌入式处理器;大型机;DSP 芯片或专用成像器件。此外,可以将程序代码编译(预编译或“实时”编译)为单个应用,其在单个计算机上执行,或在若干不同计算机之中分布,所述多个不同计算机在本地操作或彼此远程地操作。还应该理解,这里公开的所有方法步骤(包括任意和所有处理或分析功能)在存储在存储器中的这种程序代码中实施,并被计算平台中的至少一个处理器执行。

[0044] 在一个实施例中,本发明的威胁检测方法通过首先在计算平台上从 X 射线成像系统接收对象的射线照相图像,所述 X 射线成像系统通常包括与检测器阵列相对或远离定位

的辐射源。由辐射源和检测器阵列界定边界的区域的至少一部分是检查范围,正被检查的货物穿过或位于检查范围。美国专利 No. 5, 638, 420 ;6, 567, 496 ;6, 785, 357 ;7, 322, 745 ;7, 368, 717 ;和 7, 526, 064 中显示了示例性 X 射线成像系统,通过引用将它们全文合并到这里。应该注意,可以用任何 X 射线或伽玛射线成像系统来使用本发明的软件应用,所述 X 射线或伽玛射线成像系统包括计算机平台。在一个实施例中,扫描系统获取原始图像,接着通过本发明的方法处理该原始图像。

[0045] X 射线成像系统与计算平台有线地或无线地进行电通信。威胁检测方法接着通过测量多个物理属性执行第一层分析,以生成第一“可疑对象”二值图。初始二值图上的每个区域被用作掩模 (mask),以电子地切出 (crop out) 部分 X 射线照相图像用于分析,包括其周围背景衰减 (或透射) 以及物理特性,诸如衰减、尺寸和形状。接着,做出该区域或部分是否可能表示高 Z 对象的决定。此决定处理产生第二二值图,其突显表示潜在高 Z 威胁的那些范围。

[0046] 虽然参照其在 X 射线成像系统中的使用而进行了描述,但应该注意,可以用各种能量和强度的 X 射线和伽玛射线源使用本发明的威胁检测方法,从而足够量的辐射 (X 射线或伽玛射线) 穿过检查中的对象,以便在检测器中产生高于噪声水平的可测量信号。因此,所需要的源能量和强度取决于货物沿着 X 射线方向的物理尺寸以及货物的组成,诸如其密度和原子数。此外,可以用强度恒定或者强度或能量被调制的 X 射线或伽玛射线束来使用本发明的方法。另外,可以用采用能量变化的辐射束的系统或者产生不同能量的辐射的系统或者使用与高能量检测器一致的低能量检测器的系统 (包括但不限于双能量和多能量射线拍照成像系统) 来使用本发明。

[0047] 图 1 是示出本发明的用于自动且快速检测高 Z 材料的存在的射线照相成像方法的步骤的框图。在一个实施例中,本发明的威胁检测方法在步骤 105 中从成像系统 106 (诸如 X 射线成像系统) 接收射线照相图像。图 2 中示出了货物容器的示例性射线照相图像 200,其示出了货物容器内的对象。

[0048] 本发明的方法检测特定高 Z 材料的能力以及与其关联的警报率取决于图像质量。因此,本发明的成像系统应该具有足够的空间分辨率,使得其能够分辨高 Z 对象。在一个实施例中,要被检测的高 Z 对象的最小尺寸的约 25% 的空间分辨率就足够。例如,如果高 Z 对象的最小尺寸是 1 英寸,则成像系统的空间分辨率应该至少 0.25 英寸。对于具有更差分辨率的系统,可能对检测的概率和错误警报率有不利影响。高 Z 对象的检测不强烈取决于图像的对比度分辨率,除非图像的区域部分饱和;在这种情况下高对比度分辨率是有利的。

[0049] 其它因素也可能影响图像质量,并因此影响威胁的成功检测。在某些情况下,成像系统的特定设计可能导致图像假象 (artifact)。例如,货物容器的结构组件 (诸如海运货物容器中存在的金属肋) 的存在可能影响本发明的方法的精度。这些肋可能作为窄垂直线存在于射线照相图像中,所述窄垂直线如果出现在图像中具有高衰减或低透射的可疑区域的位置处则可能使分割高 Z 对象的能力复杂化。因为基本上可以用任意类型的 X 射线成像系统使用这里公开的方法,所以任何图像假象的程度将与系统和货物容器相关。因此,将需要逐个情况地确定的图像和信号处理技术来最小化假象。

[0050] 再次参照图 1,射线照相图像 106 用作本发明的威胁检测方法的输入。基于对象的 X 射线衰减 (或透射),在步骤 110 中顺序地分割图像 106。对象的 X 射线衰减是材料相关

的,并由以下用于标称能量 E 的 X 射线或伽玛射线辐射的等式支配:

[0051] 等式 1:

$$[0052] \frac{I(E)}{I_0(E)} = e^{-\mu(E)t}$$

[0053] 其中 μ 是线性衰减系数,并且 t 是穿过对象的 X 射线束路径长度。

[0054] 因此,通过获知、检测、测量或确定 X 射线输入、输出和束路径长度,可以确定指示所扫描的材料的线性衰减系数。在一个实施例中,在步骤 110 的图像分割处理期间,在存在由具有高空间频率的复杂货物产生的高混乱 (clutter) 背景的情况下,采用图像中的对象的边缘梯度来识别潜在的高 Z 区域。因为高 Z 对象在射线照相图像中将产生高衰减或低透射值并且沿着其边缘也将具有大衰减或透射梯度,所以这是有效的。

[0055] 通过使用从存储器装置 (硬盘、RAM、ROM、RAID 阵列、闪存驱动器、USB 装置、或其它存储器) 加载表示射线照相图像的数据并使数据受制于执行这里所描述的图像分割计算的程序的处理器来进行图像分割。

[0056] 步骤 110 中执行的图像分割通过利用多阈值分割、确定局部极大衰减 (或极小透射) 值产生潜在高 Z 对象或区域的初始图。替代地,可以通过利用多阈值分割确定局部极小透射值来生成潜在高 Z 对象或区域的初始图。图 3A 是图 2 中示出的射线照相图像的初始分割图 300,其示出了基于需要进一步分析的局部极大衰减 305 的潜在高 Z 对象或区域。

[0057] 再次参照图 1,接着,在基于几何的模块 111 中,多个滤波器施加到分割的射线照相图像,以通过施加几何限制降低用于进一步分析的分割区域的数量。在一个实施例中,所施加的几何限制是形状、对称性、尺寸和同质性方面的预定界限和边界。通过使用从存储器装置 (硬盘、RAM、ROM、RAID 阵列、闪存驱动器、USB 装置、或其它存储器) 加载表示射线照相图像的分割图像并使该数据受制于执行如这里所述的尺寸、形状和同质性计算的程序的处理器施加所述滤波器。

[0058] 在一个实施例中,在步骤 115 中,尺寸滤波器排除要么小于要检测的对象的最小尺寸、要么大于穿透对象的辐射束变得不够的对象尺寸的范围。本发明的方法可以用各种能量和性能能力的射线照相系统来使用,所述射线照相系统的范围从高分辨率、低穿透力的包裹检查系统至设计用于检查卡车中装载的密集货物、海运容器和其它密集货物的较低分辨率但较高穿透力的系统。在选择要在本发明的方法中使用的尺寸时,应该考虑获取图像数据的射线照相系统 (尤其是系统的空间分辨率和穿透力) 的性能。一般地,要被检测的对象的最小尺寸应设定为比系统的空间分辨率大近似四倍的值;更大的尺寸应该是实现合理的检测器信噪比水平 (3 比 1 的信噪比量级) 以及发生有限的图像饱和的尺寸。例如, Rapiscan Systems 的 Eagle™ Portal (6MV 的货物成像系统) 实现 0.25 英寸的空间分辨率以及 425mm 钢铁的穿透极限。因此,高 Z 对象的最小尺寸将是 1 英寸 (比空间分辨率大 4 倍),并且最大尺寸将是约 400mm 的钢铁。虽然可以将尺寸设定为不同值,但必须考虑系统的穿透力和分辨率的竞争关系,因为它们结合起来在很大程度上决定了在操作期间经历的检测的概率以及错误警报率。在不充分穿透的情况下,为检查者对分割的对象或区域标上了边界框。

[0059] 在步骤 116 中,形状滤波器去除具有大于预定的预设值的高宽比的对象,并保留具有通常的基本形状 (诸如,立方体、圆柱体和球形) 的对象。在一个实施例中,预定的高宽

比设定为 4 至 20 之间。通过计算对象的主轴与副轴的长度比获得对象的高宽比。因此,在一个实施例中,在应用本发明的形状滤波器时,抛弃具有大于 20 的高宽比的任何对象。对于更复杂的形状,即基本形状的组合,可以对形状确定使用对称性特征。对至少一个分割的区域应用对称性分析,以将该区域的二维边界特性为从分割的区域的质心 (centroid) 起的极角的一维函数。分析该一维函数,以通过函数的幅度和周期性量化该分割的区域的形状及其对称度。作为示例,可以通过径向傅立叶展开、以及通过机器视觉对形状进行自动特性化的领域的技术人员公知的其它技术来生成对称性滤波器。

[0060] 在步骤 117 中,同质性滤波器排除包含仅由几个像素连接的分散像素簇的模式任何范围。在一个实施例中,同质性滤波器由分割的区域中的像素数目与包含在围绕分割的区域的边界框中的像素数目的比率定义。在一个实施例中,根据期望的灵敏度,将预定同质性滤波器设定在 40% 与 80% 之间。在一个实施例中,同质性滤波器的预定最小比率设定为 50%。因此,在应用此预定同质性滤波器时,抛弃分割的区域中的像素数目与包含在围绕分割的区域的边界框中的像素数目的比率小于 50% 的任何范围。虽然可以采用不同比率值,但使用小比率可能造成更多数量的错误警报。

[0061] 可选地,可以对射线照相图像中的潜在高 Z 对象区域应用附加滤波器。它们包括使用纹理 (texture) 识别作为潜在高 Z 对象的区域用于进一步分析,以及可以用于识别壳形的高 Z 对象并建立形状或边界矢量的对称性滤波器。接着可以将边界矢量与基于对平移、旋转和缩放不变的形状的预定边界矢量以及描述感兴趣的特定高 Z 对象的预定几何界标 (landmark) 进行比较。其它几何滤波器可以包括形态 (form) 因素,其是对象的拉长、粗糙度和紧凑性的度量。在存在假象时,可以与几何滤波器结合应用设计用于去除某些图像假象的一些滤波器 (诸如方向条纹滤波器和噪声平滑滤波器)。此外,可以并行或串行地使用滤波器。

[0062] 在步骤 125 中,所产生的包括至少一个潜在高 Z 区域的经几何滤波的图像传递给特性化模块 129,以分析特性图内的每个范围并生成特征矩阵,其包括特性化模块内的所有函数的输出,用于最终决定分析。在特性化模块 129 内,在步骤 130 中通过使用对象图作为掩模切出射线照相图像而获得围绕每个可疑区域的感兴趣的范围 (ROI)。通过使用从存储器装置 (硬盘、RAM、ROM、RAID 阵列、闪存驱动器、USB 装置、或其它存储器) 加载表示射线照相图像的经滤波的图像的数据并使数据受制于执行这里所描述的矢量分析的程序的处理应用特性化模块 129。

[0063] 在步骤 135 中,至少一个模型用于估计感兴趣的对象周围的背景。图 3B 是本发明的一个实施例中的用于估计感兴趣的对象周围的背景的背景估计模型的图示。如图 3B 中所示,在步骤 135a 中,当将对象 352 叠加在非均匀背景 353 顶上时,创建图像 350,通过将感兴趣的范围对称地放大取决于感兴趣的范围的原始尺寸和周围货物的空间频率的量而选择所述非均匀背景 353。在步骤 135b 中,背景函数接着通过使用周围衰减信息来估计背景对象的衰减 (或透射),以在感兴趣的范围内逐像素地线性拟合衰减,如图 355 中所示。在步骤 135c 中,从原始图像 350 中减去步骤 135 中导出的背景衰减 (或图 355)。结果图像 360 是由于对象的净衰减。

[0064] 在步骤 145 中估计对象的尺寸 (例如,诸如宽度)。在一个实施例中,与步骤 135 基本同时执行此估计。在步骤 135c 中切出对象之后,如图 3B 中所示,通过使用对象上沿着

水平和垂直方向的线轮廓导出对象的垂直和水平尺寸。

[0065] 在步骤 150 中,使用对象的厚度与其它尺寸(即对象在图像中可测量的水平和垂直尺寸)相似的假设,计算对象的衰减,犹如对象包括高 Z 材料。接着,在步骤 155 中将从步骤 150 得出的计算的结果衰减与关于图 3B 所述并如图像 360 所示的净衰减进行比较。该比较产生用于进一步决定分析的特征矢量中的元素。

[0066] 因此,滤波的结果是元素的集合,所述元素包括在射线照相图像中分割的每个可疑对象或区域的特征矢量。基本特征矢量中的元素包括最大衰减、净衰减、衰减与可疑对象的面积的比值以及可疑对象沿着边界的梯度、以及净衰减与所计算的衰减之间产生的差。接着在步骤 160 中针对所建立的决策规则评估所产生的用于每个潜在高 Z 区域的特征矢量,以确定高 Z 对象是否存在,并产生“没问题”或“高 Z”的决定。

[0067] 应该理解,如果在任何程序步骤中都没有发现满足图像分割、基于几何的滤波器、或特性分析的图像区域,则可以停止检查处理并可以认为货物已被检查且没有问题。

[0068] 图 3C 是结果特征矢量的子集和决策规则的集合的代表性示例。在一个实施例中,如上面讨论的特性化模块所导出的、图 3C 中所示的特征矢量仅用于从基于几何的模块分割的那些范围。如图 3C 中所示,5 个列出的对象 371、372、373、374 和 375 与它们的特征矢量一起发送给决策分析模块。图 3D 是代表性特征向量表,其中 V1 是最大衰减, V2 是净衰减、V3 是最大净衰减与面积的比值,以及 V4 是垂直梯度,具有用于对象 371、372、373、374 和 375(如图 3C 中所示)中的每个的值。在一个实施例中,以下内容表示用于基于衰减的检查系统的典型规则,其中最大衰减等价于 25,000。该决策分析用于决定系统是否应该警报以指示威胁条件:

[0069]

If $V1 \leq 24,500$, then If $V2 > 5000$ AND $V3 > 50$ AND $V4 > 600$, THEN

ALARM

Else

CLEAR

End

Else

SEND to Saturation Procedure

End

[0070] 当满足“if conditions(如果条件)”,即 V1 小于其预设值且所有其余特征矢量元素超过预设值时,对本发明的方法编程,以将该对象识别为高 Z,并接着在射线照相图像中该对象的周围画出标注“高 Z”的红方框。

[0071] 结果,在所提供的示例中,对象 373、374 和 375 将警报为潜在的威胁项。可以调整包含在此规则中的精确数值,以实现给定的检测概率和错误警报率。此外,可以对基于透射的系统以及对最大衰减或透射具有不同标尺的系统开发类似的规则。

[0072] 图 4 是从本发明的用于自动且快速检测高原子数(高 Z)材料的存在的上述方法得出的、可疑对象或区域的最终图(二值图像 400)。二值图像 400 由决策分析得到,并包括

表示潜在高 Z 警报的三个突显范围 405。

[0073] 接着使用这三个突显范围来使用图 5 中所示的框 505 识别射线照相图像中的高 Z 警报范围。因此,图 5 是使用本发明的用于自动且快速检测高原子数(高 Z)材料的存在的方法分析之后的、货物容器的射线照相图像。

[0074] 在一个实施例中,本发明的高 Z 检测方法能够使用信号分析技术来分析部分饱和的范围,并接着基于它们的空间相关性和噪声频率模式对像素进行分组。

[0075] 当对象本身具有足够高的衰减或被叠加在重衰减材料(诸如厚钢板)上时发生部分穿透或部分饱和,如图 6A 和图 6B 所示。图 6A 是辐射照相图像,示出了隐藏在 15 英寸的钢铁背后的高 Z 对象。如可以在图 6A 中看出的,在射线照相图像 600 中,某些像素饱和,并可被看作黑色区域 605。一旦达到饱和,估计净衰减变得有挑战性,因为这些饱和区域具有相同的最大像素值。黑像素的分布在圆对象(低频)与它们之上的区域(高频)之间不同,这是由于 15 英寸钢板的衰减。本领域的普通技术人员将理解,虽然人的视觉可以分辨此模式区别,但对于计算机上的自动方法将这些区域识别为分离对象却是有挑战性的。

[0076] 因此,为了在部分饱和情况中估计衰减值,执行降噪步骤 127。降噪步骤与图 1 的分割步骤 110 类似,之前描述了分割步骤 110 来生成用于进一步处理的可疑区域的图。一旦以与关于图 1 所描述的分割步骤类似的方式将所述对象分割出,则对对象和背景都应用本领域的普通技术人员公知的降噪技术,诸如使用小波。通过使用从存储器装置(硬盘、RAM、ROM、RAID 阵列、闪存驱动器、USB 装置或其它存储器)加载表示射线照相图像的分割的图像的数据并使数据受制于执行本领域的普通技术人员公知的降噪计算的程序的处理器应用降噪技术。

[0077] 对于这些部分饱和的情况,可以在降噪步骤 127 之后估计衰减值。应该注意,对于部分饱和情况,降噪是必要步骤,并且在分割之后和基于物理的特性化步骤之前执行。所估计的衰减值与其它特征(诸如背景衰减、对象内的饱和像素的百分比、以及对象尺寸)一起馈送到用于分类的检测决定规则中。在可选实施例中,一旦执行了分割和降噪步骤,则突显隐藏在屏蔽材料背后的包含高 Z 材料(例如钨)的对象或区域。在一个实施例中,通过在可疑区域周围画出框而突显包含高 Z 材料的对象或区域。

[0078] 当货物中的材料对 X 射线束的衰减大于 X 射线成像系统的动态范围时发生不充分穿透。在这些区域,图像完全饱和且被图像噪声支配。因此,不能将对象从背景中分辨出来。在这样的情况中,本发明的威胁检测方法诸如通过突显所述区域或在它们周围画框来将这些区域分割并标注它们,以指示它们在射线照相图像中饱和。

[0079] 在一个实施例中,本发明的威胁检测方法实施为软件,该软件安装在与射线照相威胁检测系统关联的计算机上并在其上执行。在一个实施例中,该射线照相威胁检测系统是货物扫描系统。图 6 是示出货物 X 射线扫描系统 600 的使用的图示图,该货物 X 射线扫描系统 600 包括 X 射线源 605 和透射检测器 610。衰减的 X 射线束 607 在透射穿过货物容器 615 之后由检测器 610 捕获。检测器信号接着被数字化且在计算系统 620 上的显示器或监视器上呈现为射线照相图像(未示出)。计算系统 620 包括本发明的软件应用,其使用初始射线照相图像作为其输入,以自动检测和确定高 Z 对象,如参照图 1 所描述的。

[0080] 可以用所有成像系统配置来使用本发明的方法,而不论在辐射源与被检查的对象之间产生相对运动所采用的方法。这些成像系统配置包括但不限于入口(portal)(即驾驶

穿过)、移动(例如,卡车、跨骑载体等上的成像系统)、构台(gantry)(即沿着铁轨或轨道移动)、以及汽车冲洗(wash)(采用车辆传输系统以移动车辆通过X射线建筑或隧道)。

[0081] 在一个实施例中,系统600是高能穿透X射线系统,诸如采用具有百万伏(MV)加速电势的线性加速器X射线源的系统。在一个实施例中,在Rapisan Systems的6MV Eagle™入口货物检查系统上实施本发明的高Z检测方法,并将其直接扩展到Rapisan Systems的Eagle™经典(Classic)和Eagle™构台系统(Gantry systems),它们采用同一个6MV成像系统。此外,本发明的高Z检测方法还应用到(port)Rapisan Systems的4.5MV检测系统线(其包括Eagle移动)、以及Rapisan Systems的4.5MV入口和构台系统,其使用类似的X射线成像系统。此外,还利用Rapisan Systems的9MV入口、构台或移动系统实施本发明的高Z检测方法。

[0082] 还可以在双能量货物检查系统(其包括高于约3MV的X射线源)中实施本发明的高Z检测方法。本发明贯注于用于检测射线照相图像内的特定种类材料(即高Z)的方法,而不论所采用的用于获得X射线或伽玛射线源的图像或能量的方法。类似地,可以与检查货物的其它技术和实施例一起使用本发明的高Z检测方法。

[0083] 在替代实施例中,如果第一次扫描指示在检查中的对象中存在高Z项,则对检查中的对象扫描两次,但角度不同。本发明的方法在某些情况下可能由于材料沿着辐射路径长度的随机叠加而产生警报。在一个实施例中,针对两个或更多个视图收集数据,从而可以解决该警报并进一步消除错误的确认。

[0084] 再次参照图6,在一个实施例中,在第一步中,X射线束607相对于检查中的对象(其是容器615)的运动方向以第一角度扫描容器615。在一个实施例中,第一扫描角度是90度。接着使X射线源605和探测器610相对于容器615的运动方向以第二角度(在一个实施例中,其与第一扫描角度不同)对齐,并接着获得第二扫描。此后,本发明的方法通过分析以不同角度拍摄的第一和第二射线照相扫描图像两者来给出“没问题”或“高Z”的决定。因此,如果两个图像都确认高Z对象的存在,则给出警报。

[0085] 在一个配置中,X射线扫描系统600装配在移动检查车辆上,从而通过相对于容器615移动检查车辆而生成第二扫描。在另一配置中,X射线扫描系统600装配在构台上,并通过相对于容器615移动构台来生成第二扫描。

[0086] 在另一实施例中,X射线扫描系统600包括相对于彼此以一角度定位的两个检测器阵列。例如,在一个实施例中,这两个检测器阵列相对于彼此形成10度角。在此实施例中,X射线源605照射容器615,使得两个检测器捕获不同位置的衰减X射线信号。接着,本发明通过分析来自这两个检测器阵列的信号给出“没问题”或“高Z”的决定。

[0087] 在一个实施例中,在移动检查车辆上安装使用相对于彼此存在角度的两个检测器阵列的修改的X射线扫描系统600。

[0088] 在第二实施例中,在构台上安装包括相对于彼此存在角度的两个检测器阵列的扫描系统600。

[0089] 在第三实施例中,包括相对于彼此存在角度的两个检测器的扫描系统600,在其源605处具有准直器,所述准直器限制X射线束607,同时照射这两个检测器阵列。在一个实施例中,设计准直器,使得一个X射线源能够产生两个分开一角度窄X射线束;并且准直器阻挡来自发射源的其余X射线。此配置的优点在于可以同时获得两个视图,消除了第二

次扫描的需要（和时间）。

[0090] 在再一实施例中，X 射线扫描系统 600 利用相对于容器 615 的移动方向具有第一角度的 X 射线束 607 完成第一扫描。在一个实施例中，第一扫描角度是 90 度。如果本发明的自动威胁检测方法在第一扫描图像中检测到至少一个威胁对象，则利用提高的或降低的 X 射线源 605 进行第二扫描，以获得第二扫描角度的图像，其中第二扫描角度与第一扫描角度不同，并且与容器 615 和检测器 610 的移动方向有关。然后，本发明的方法通过分析以不同角度拍摄的、来自第一扫描和第二扫描的两个射线照相扫描图像而给出“没问题”或“高 Z”的决定。例如，如果两个图像都确认存在高 Z 对象，则给出警报。

[0091] 本领域的普通技术人员将理解，前述双角度扫描系统使得能够在使用本发明的高 Z 检测方法时进一步减低错误警报率，而对系统吞吐量和成本没有实质损害。

[0092] 本发明的高 Z 检测方法也可以用于增强双能量和多能量货物检查系统的性能。首先，上面关于图 1 描述的方法可以应用于高能射线照相图像，以提供对该图像的分析，其与材料的有效 Z 的双能量确定不相关 (orthogonal)。这将有助于消除双能量成像的某些限制。具体的，对大货物容器的一个限制是由于具有不同密度和原子数的材料的叠加效果，结果可能是有效 Z 的不准确估计。此外，低能束通常比高能束具有更低的密度和穿透力。因此，低能图像可能由于低能束被货物重重衰减而变得饱和。结果，信噪比低，且不能成功应用双能量处理。在这样的情况下，本发明的高 Z 检测方法将继续对高能图像操作，从而扩展双能量货物检查系统可以用于检测高 Z 材料的穿透范围。

[0093] 其次，本发明的高 Z 检测方法可以用于双能量成像提供的、在低能量图像的穿透限制之下的附加信息。图 7 是示出本发明的基于双能量的自动高 Z 检测方法的步骤的框图。在一个实施例中，本发明的基于双能量的高 Z 检测方法在步骤 705 中从双能量 X 射线成像系统 706 接收两个射线照相图像：低能图像和高能图像。

[0094] 低能和高能射线照相图像 705 都用作对本发明的基于双能量的高 Z 检测方法的输入。接着在分割模块 710 内处理图像。在衰减分割块内，在步骤 707 中，通过以下两个分别的衰减标准，使用图 1 的步骤 110 中描述的同一种方法预先处理低能和高能图像，以确定潜在包含高 Z 对象的范围：

[0095] 表达式 2： $\sum \mu L \geq A_{low}$ ；以及

[0096] 表达式 3： $\sum \mu L \geq A_{high}$

[0097] 其中，L 是厚度， μ 是检查中的对象的线性衰减系数，并且 A_{low} 和 A_{high} 分别是低能和高能图像中的预定衰减值。本领域的普通技术人员应该注意，因为低能和高能 X 射线在穿透力上存在差异，所以分别处理信息的两个前述标准在不充分穿透范围方面提供潜在的有用信息、以及其它特性信息。接着基于 X 射线的透射开发类似的规则。

[0098] 在步骤 708 中，双能量分割块利用以下标准处理预处理的图像的比率，以计算潜在高 Z 范围的有效 Z：

[0099] 表达式 4： $\sum \mu (E_{high}) / \sum \mu (E_{low}) \geq T_{low-high}$

[0100] 其中， $\mu (E_{high})$ 和 $\mu (E_{low})$ 是在高能和低能图像中估计的吸收系数，并且 $T_{low-high}$ 是有关对象和周围材料的有效 Z 的预定值。本领域的普通技术人员应该理解，虽然前述比率 $T_{low-high}$ 包含来自沿着 X 射线路径的所有材料的贡献，但该比率独立于通过使用表达式 2 和 3 中的衰减标准获得的比率。双能量分割步骤 708 指示与对象深度 (L) 无关的不同的物理

量。

[0101] 在一个实施例中,从一系列射线照相的校准图像中经验地确定双能量信息比率,射线照相的校准图像包括高、中和低 Z 对象以及高、中和低 Z 重叠材料的厚度的各种组合。该处理帮助补偿在低衰减和对比度图像中发现的情形,其中高 Z 对象和相邻货物具有相似的衰减值。

[0102] 在处理空间频率的步骤 709 中,可以使用诸如 Gabor 小波的低通滤波器检测具有与周围货物不同的特性的异常物。例如,使用 Gabor 小波,滤波标准是 Gabor 滤波的范围的绝对值:

[0103] 表达式 5: $|G(x, y, \theta) * I(x, y)| \geq T_G$

[0104] 其中 $G(x, y, \theta)$ 和 $I(x, y)$ 分别是 Gabor 滤波器和高能衰减或透射图像,并且 T_G 是在滤波处理期间预定或动态设定的阈值。Gabor 小波的可利性质是对于给定频率范围,其对局部空间频率的灵敏性以及由于函数带覆盖尺度 (scaling) 和角度空间而导致的角度和尺度空间上的不变性。也可以采用其它特性的滤波器。

[0105] 通过使用从存储器装置 (硬盘、RAM、ROM、RAID 阵列、闪存驱动器、USB 装置或其它存储器) 加载表示两个射线照相图像的数据并使该数据受制于执行如这里所述的图像分割计算的程序的处理器执行图像分割。

[0106] 图像分割模块 710 在此阶段生成经分割的低能和高能射线照相图像的中间图像掩模 715,其进一步在步骤 716 和 717 中分别经受一组几何滤波器和梯度边缘滤波器,目标在于在高度混乱的货物中嵌入的相对低衰减的威胁对象。步骤 716 和 717 与已经参照步骤 110 和本发明的图 1 的块 111 描述的步骤类似,在此将不再讨论。

[0107] 接着,将所产生的、包括至少一个可疑区域的最终图像掩模 720 传递给特性化模块 725。特性化模块 725 分析图像图 720 内的每个范围,并生成特征矩阵,其包括特性化模块 725 内的多个函数的输出,如已经参照图 1 的单能量方法所描述的。然而,本发明的基于双能量的威胁检测方法在以下意义上不同:为了进一步改进 Z 估计,确定由于重叠材料而对有效 Z 的贡献,并使用其在步骤 723 中估计潜在高 Z 对象的净有效 Z。此外,在步骤 724 中,如果确定参照低能图像数据存在太低的信噪比 (SNR),则仅高能图像数据用于使用图 1 中所示的步骤给出对高 Z 威胁的决定。

[0108] 接着,通过决定块 730,针对所建立的决定规则,评估组合执行图 1 和图 7 中的步骤的结果而产生的用于每个潜在高 Z 区域的结果特征矢量,以确定是否存在高 Z 对象,并给出“没问题”或“高 Z”决定 735。这里,应该注意,虽然此实施例的决定方法与单能量的情况类似,但实施特定的规则来处理来自双能量数据的特征矢量。

[0109] 虽然本发明描述采用双能量射线照相的方法,但本方法可以扩展到其它射线照相方法,诸如采用多能量和双核素射线照相的方法,其中采用中子和 X 射线或伽玛射线两者。应该理解,已经根据多个不同的实施例描述了本发明。意图在于,等同于这里所公开的特征、功能或结构的其它特征、功能或结构或者对于本领域的普通技术人员而言显而易见的替换是本发明的一部分,并包含在本发明中。

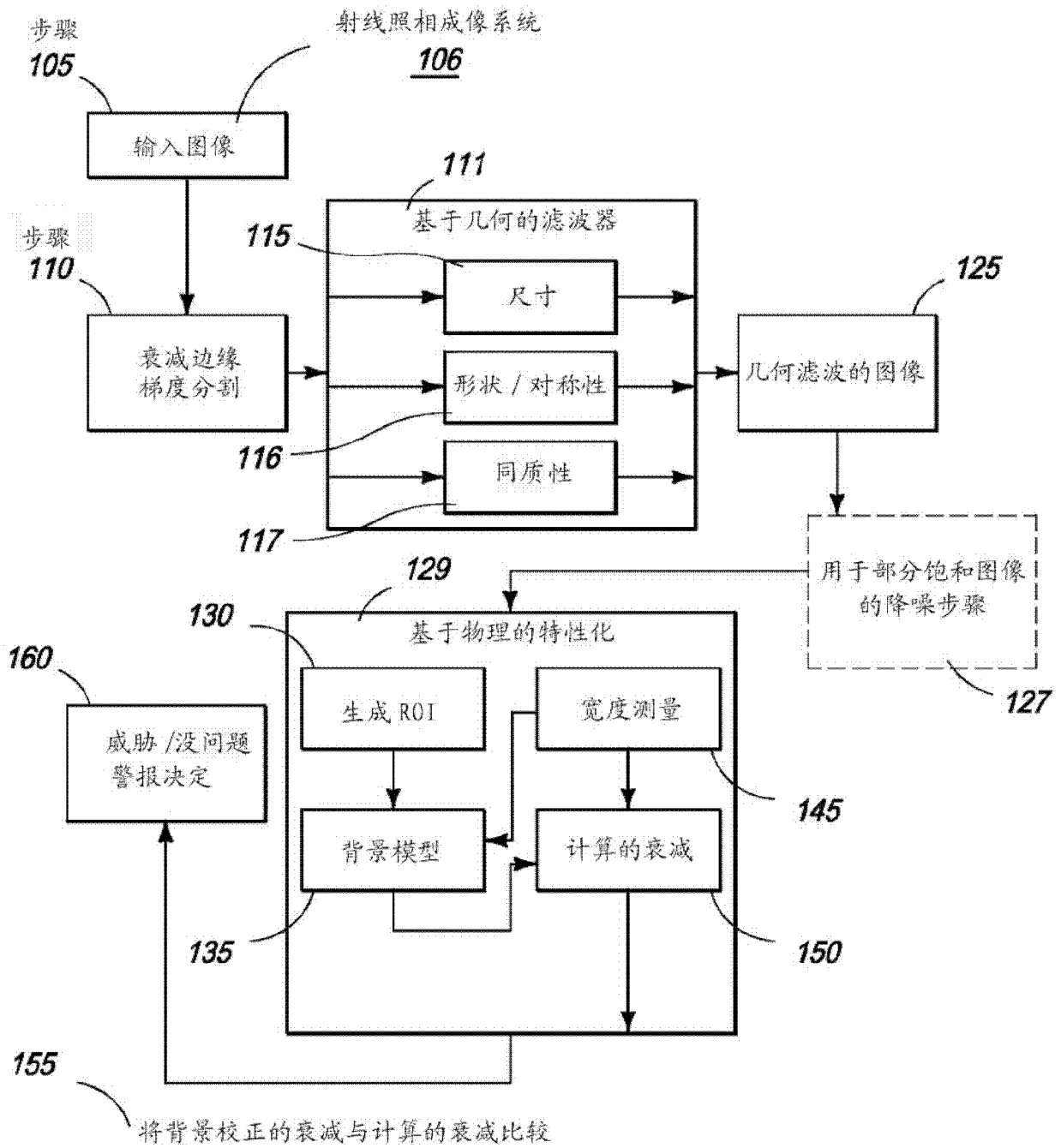
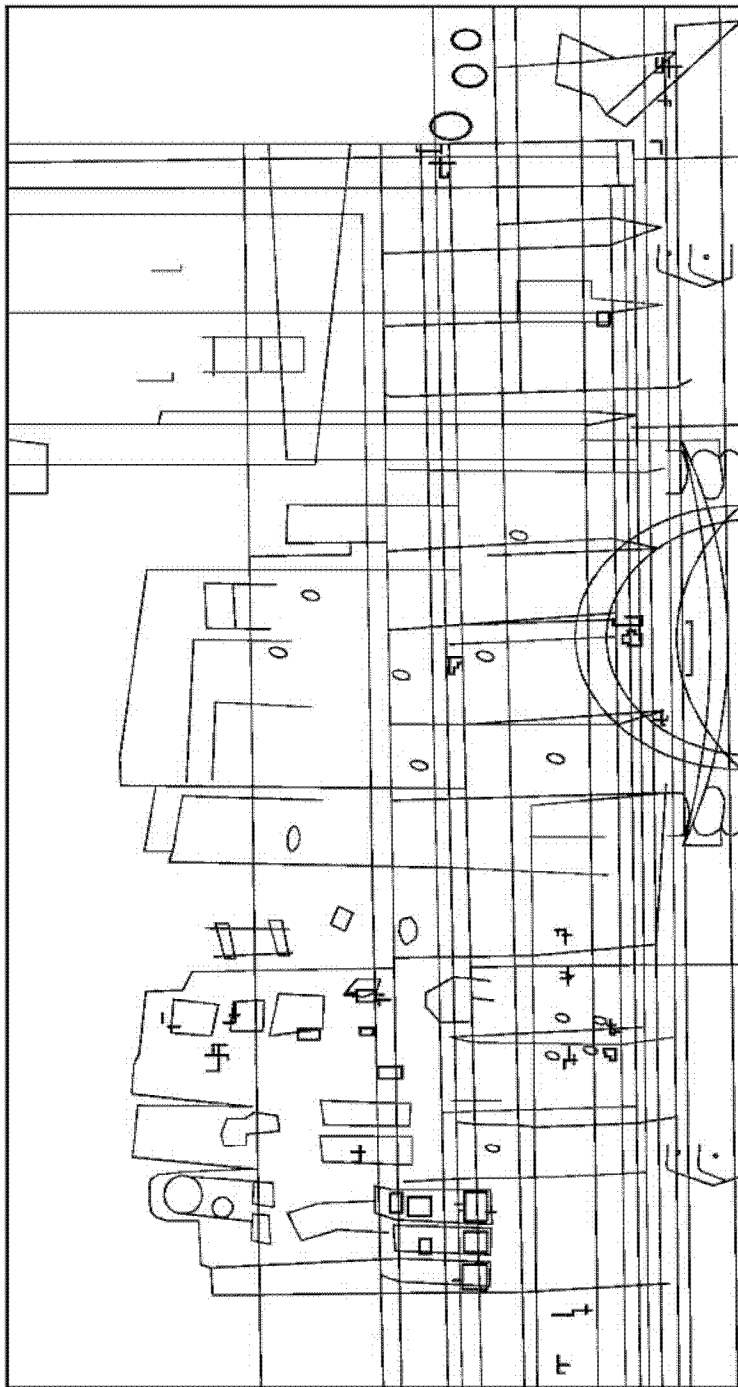


图 1



200

图 2

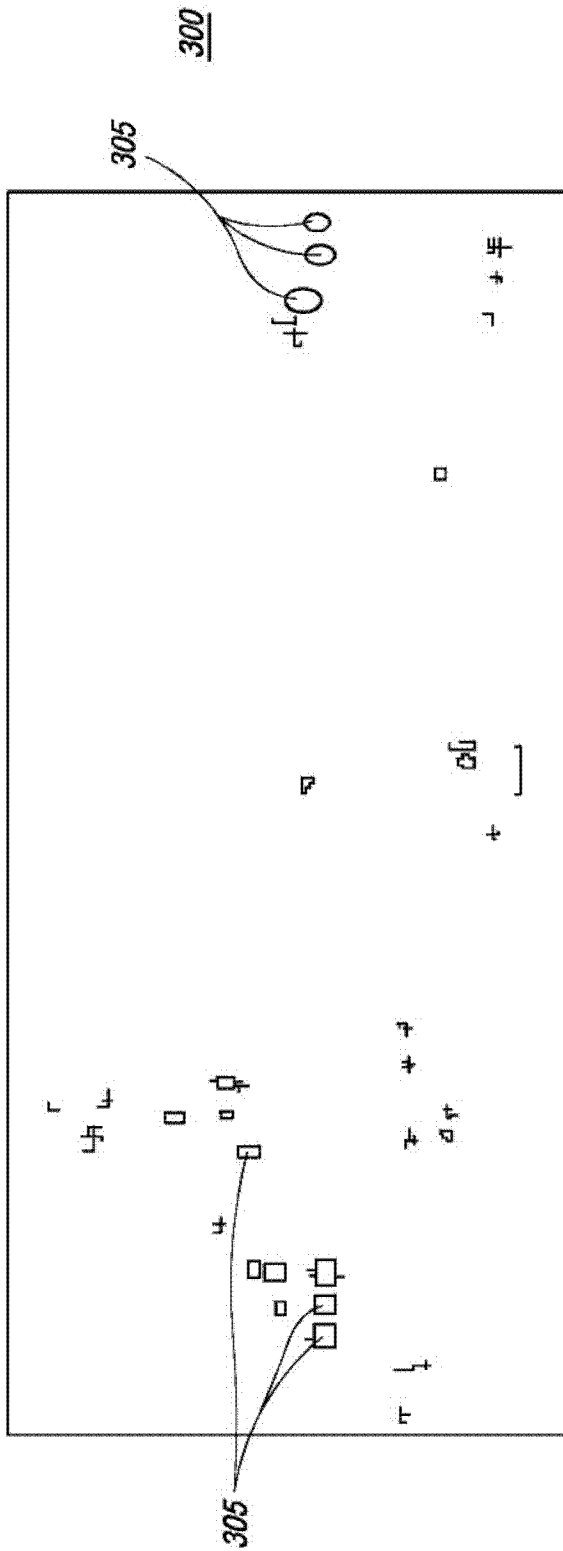


图 3A

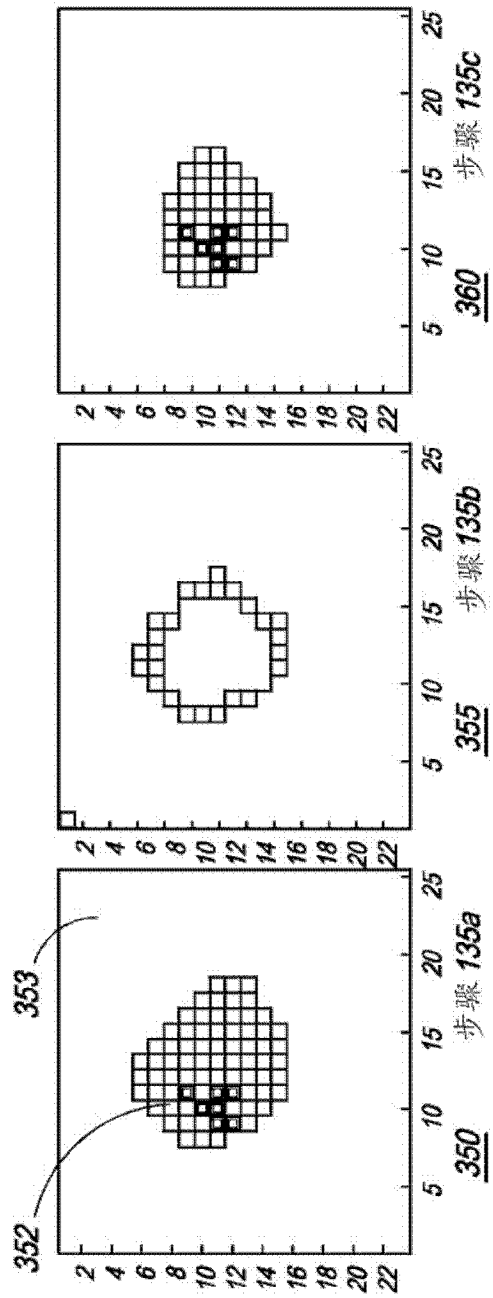


图 3B

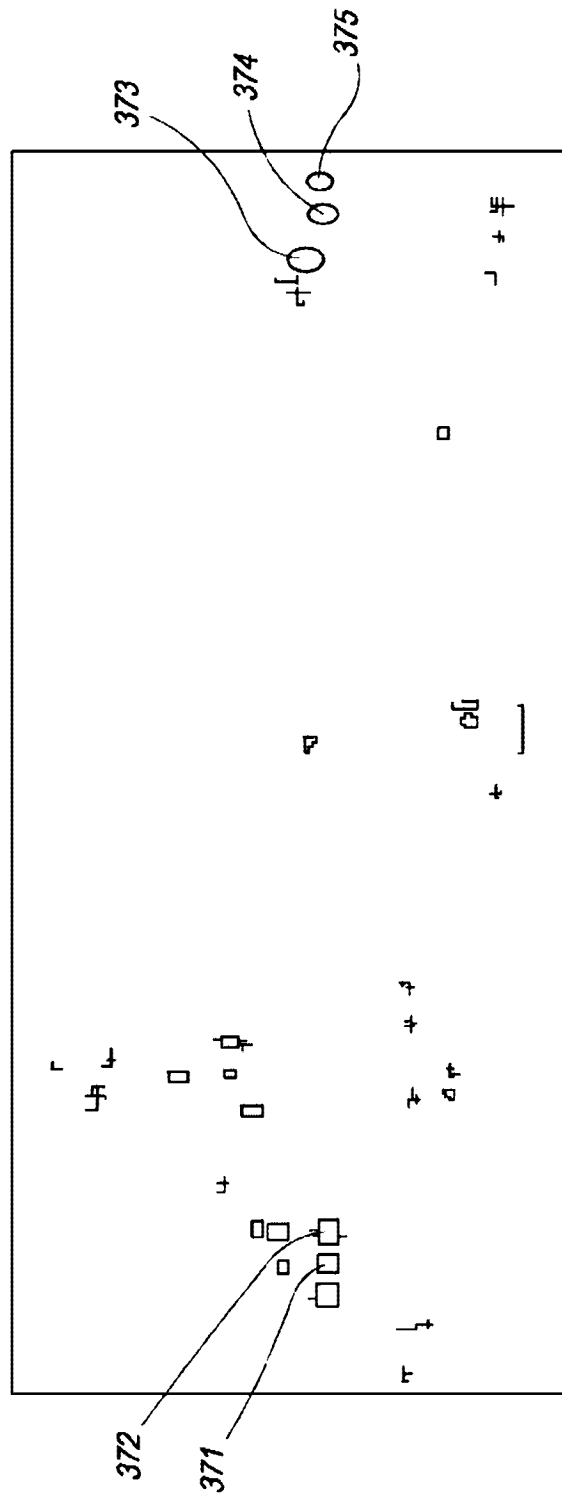


图 3C

对象	V1	V2	V3	V4
373	15147	13231	72	1499
372	11225	6088	54	666
374	12199	10412	107	1537
375	14696	12036	111	847
371	9708	3524	27	651

图 3D

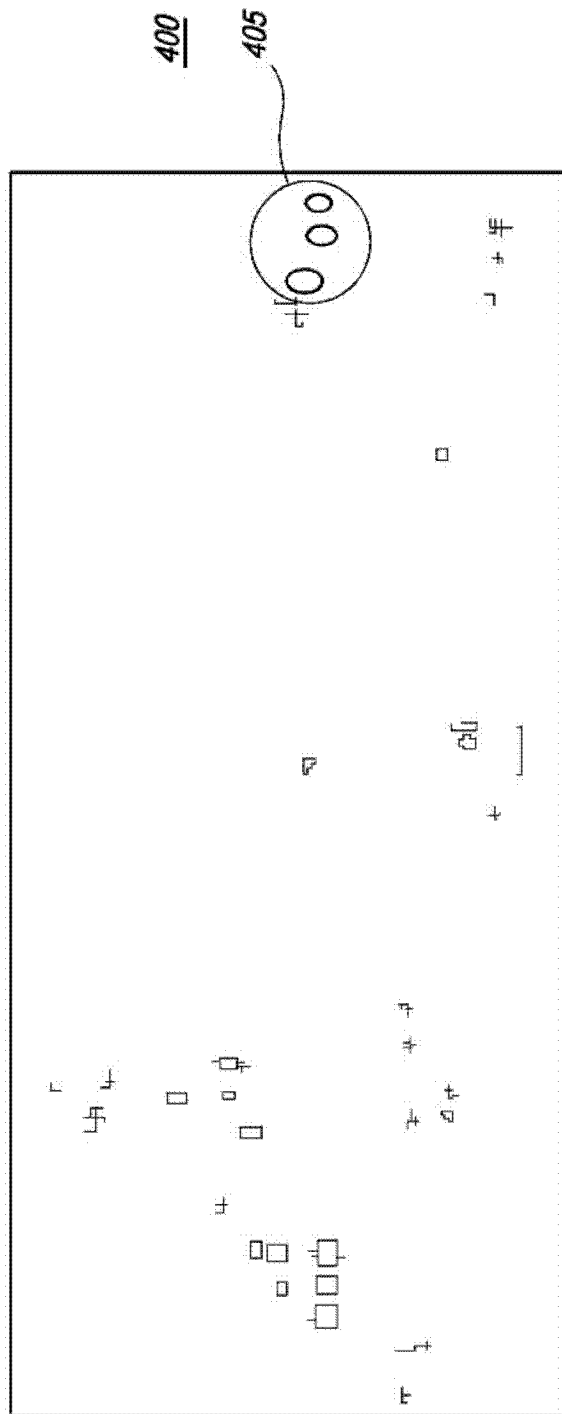


图 4

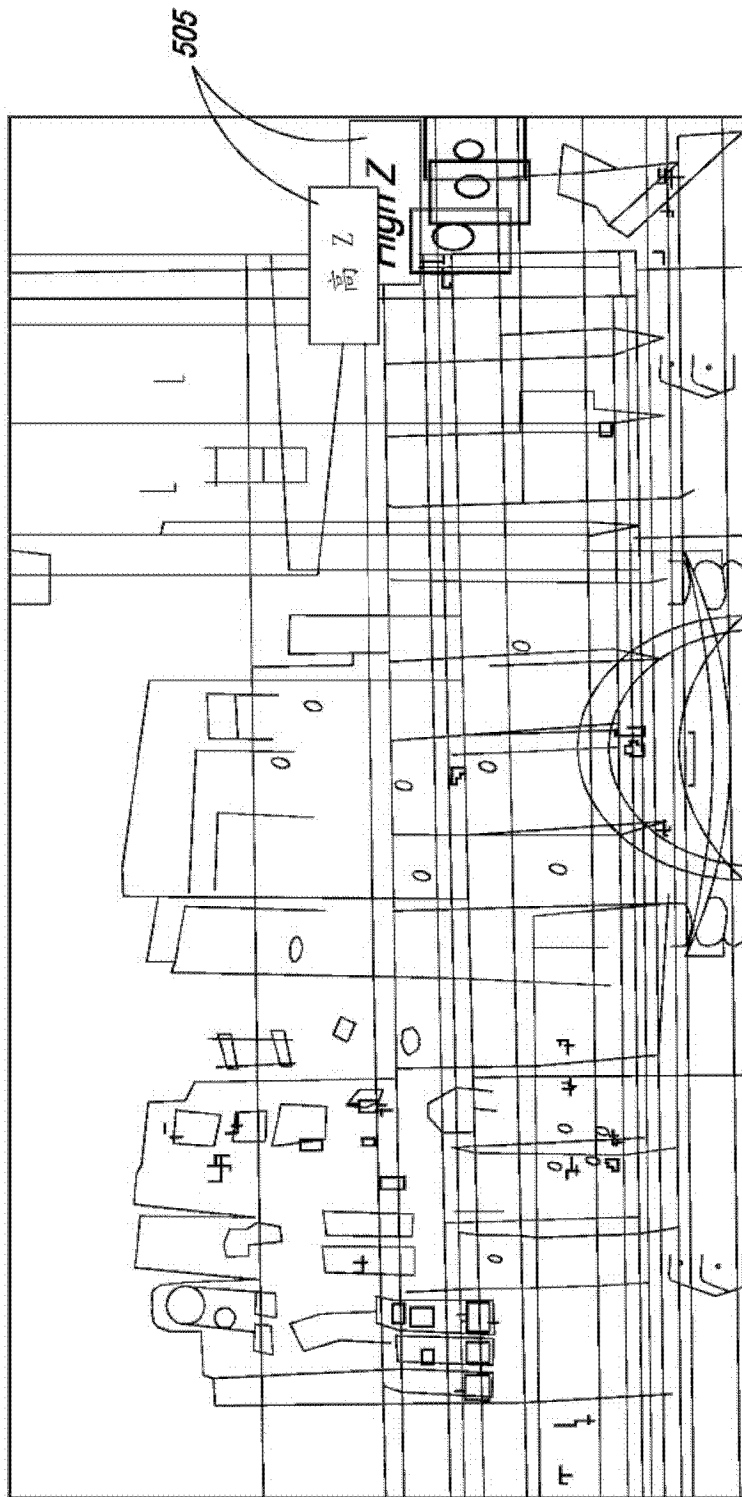


图 5

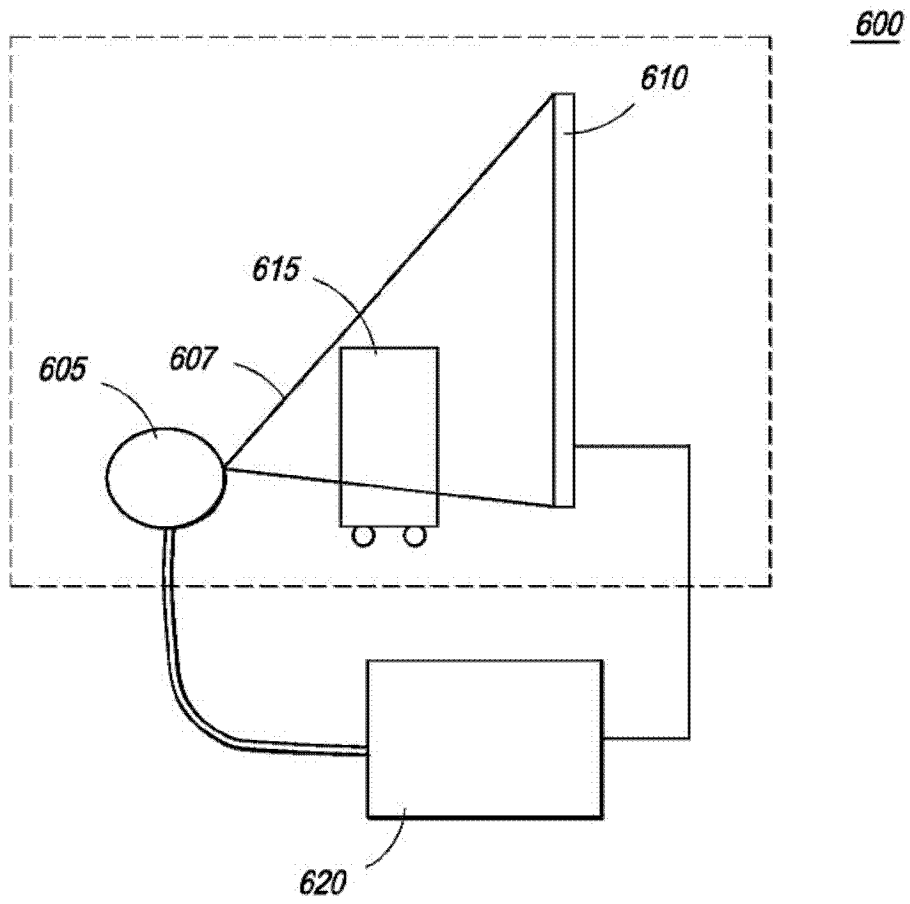


图 6

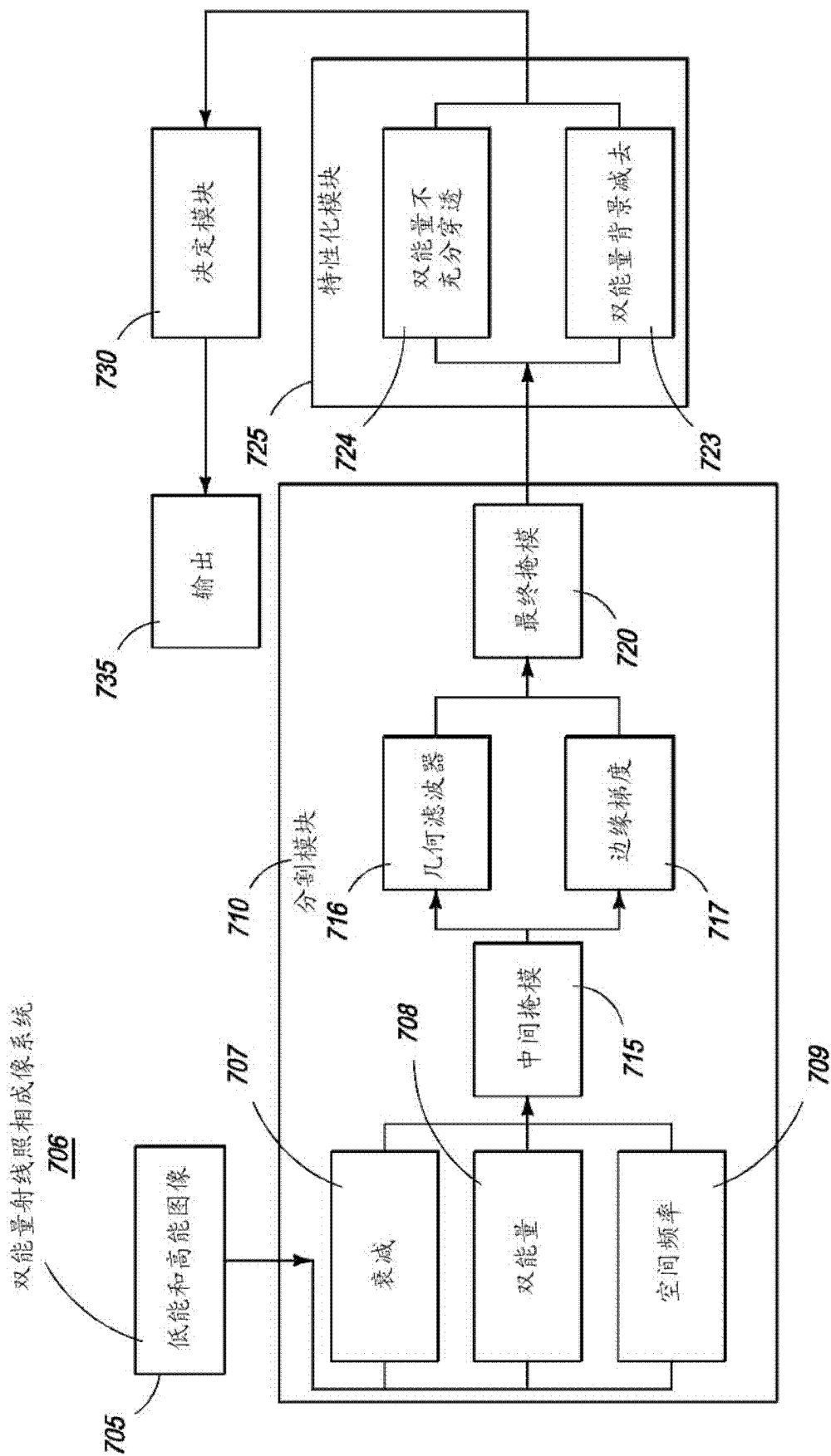


图 7