



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103969647 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 06

(21) 申请号 201410231806. 1

(22) 申请日 2014. 05. 29

(71) 申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)西源大道 2006 号

(72) 发明人 崔国龙 姚雪 易川 刘剑刚
孔令讲 贾勇 杨晓波 殷光强
张征宇

(74) 专利代理机构 电子科技大学专利中心
51203

代理人 邹裕蓉

(51) Int. Cl.

G01S 13/90 (2006. 01)

G06F 17/14 (2006. 01)

G01S 7/41 (2006. 01)

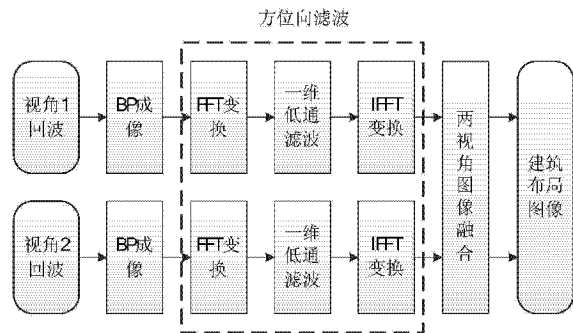
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

基于图像域滤波的稀疏阵列建筑布局成像方法

(57) 摘要

本发明提供基于图像域滤波的稀疏阵列建筑布局成像方法,包括步骤:使用合成孔径方式和后向投影 BP 算法得到垂直、水平两个视角分别对应的建筑布局成像的原始图像平面;对原始图像平面分别沿其方位向进行傅里叶变换,得到频域平面;使用低通空域滤波器对频域平面进行滤波处理再沿方位向进行逆傅里叶变换得到滤波后的图像;把两个视角滤波后的图像进行相加融合处理得到整体建筑布局图像。本发明根据墙体图像区域和栅瓣造成干扰的图像区域相位变化的差异通过频域空间上的一维低通滤波处理,实现了栅瓣的有效抑制,提高了图像质量。



1. 基于图像域滤波的稀疏阵列建筑布局成像方法,包括以下步骤:

步骤 1) 使用合成孔径方式和后向投影 BP 算法得到垂直、水平两个视角分别对应的建筑布局成像的原始图像平面 $I_1(X, Y)$ 、 $I_2(X, Y)$;

步骤 2) 对原始图像平面 $I_1(X, Y)$ 、 $I_2(X, Y)$ 分别沿其方位向进行傅里叶变换,得到频域平面 $I_1(X, F)$ 、 $I_2(F, Y)$;

步骤 3) 使用低通空域滤波器对频域平面 $I_1(X, F)$ 、 $I_2(F, Y)$ 进行滤波处理得到 $I_1(X, F')$ 、 $I_2(F', Y)$;

步骤 4) 对经滤波处理后的频域平面 $I_1(X, F')$ 、 $I_2(F', Y)$ 沿方位向进行逆傅里叶变换得到滤波后的图像 $I_1'(X, Y)$ 、 $I_2'(X, Y)$;

步骤 5) 把两个视角滤波后的图像 $I_1'(X, Y)$ 和 $I_2'(X, Y)$ 进行相加融合处理得到整体建筑布局图像 $I'(X, Y)$ 。

基于图像域滤波的稀疏阵列建筑布局成像方法

技术领域

[0001] 本发明属于穿墙雷达成像技术领域,涉及穿墙雷达系统的建筑布局成像技术。

背景技术

[0002] 穿墙雷达是在反恐、侦查、救援和巷战等应用领域通过发射电磁波,接收墙体回波信号和建筑物内目标的散射回波信号实现对建筑布局成像和建筑物内隐蔽目标探测的特种装备。建筑布局成像对掌握建筑物内部态势、精确打击恐怖犯罪分子、保障人质等生命财产安全具有重要意义,它是穿墙探测的主要研究领域之一。

[0003] 建筑布局成像技术主要采用合成孔径方式和后向投影 BP 算法。目前,国内外对建筑布局进行成像时,根据 BP 算法理论,为避免等效阵列天线栅瓣影响,采用等效线性接收天线阵列中阵元间距小于载波的半波长的合成孔径阵列。如:美国陆军研究实验室 C. Le 等人对两层建筑物成像时,宽波束的线性阵列雷达的阵元间距仅为 5cm。然而,在穿墙探测领域,上述条件会带来两个主要问题。第一,合成大孔径阵列时阵元过于密集。这是由于穿墙雷达工作频段一般为 0.5GHz-3GHz,载波波长为厘米量级,密集的合成孔径阵元导致实现困难,合成孔径时间长,不利用于实时成像;第二,数据量大,不利于后续算法处理,成像速度慢。

[0004] 为了降低上述密集阵元问题,一般采用稀疏布阵的方式。稀疏布阵方式在 MIMO 雷达成像领域里面得到了广泛的应用,如:顾福飞等人提出了一种压缩感知的稀疏阵列 MIMO 雷达成像方法;在穿墙领域,稀疏布阵也被用于动目标检测,如:电子科技大学袁翔等人提出了一种基于稀疏布阵的动目标定位的方法,利用稀疏阵列从建筑物的多个视角接收回波,通过对多通道回波数据进行互相关处理提高信噪比,利用双曲交叉定位方法实现了动目标定位。

[0005] 实际运用中,稀疏布阵虽然在保证图像分辨率的前提下大大降低了空间采样率与后向投影成像算法的运算量,但同时也引入了栅瓣,抬高了成像后图像的杂波和噪声水平,降低了图像质量。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是,提供能够抑制栅瓣的基于图像域滤波的稀疏阵列建筑布局成像方法。

[0007] 本发明为解决上述技术问题所采用的技术方案是,基于图像域滤波的稀疏阵列建筑布局成像方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤 1) 使用合成孔径方式和后向投影 BP 算法得到垂直、水平两个视角分别对应的建筑布局成像的原始图像平面 $I_1(X, Y)$ 、 $I_2(X, Y)$;

[0009] 步骤 2) 对原始图像平面 $I_1(X, Y)$ 、 $I_2(X, Y)$ 分别沿其方位向进行傅里叶变换,得到频域平面 $I_1(X, F)$ 、 $I_2(F, Y)$;

[0010] 步骤 3) 使用低通空域滤波器对频域平面 $I_1(X, F)$ 、 $I_2(F, Y)$ 进行滤波处理得到

$I_1(X, F')$ 、 $I_2(F', Y)$ ；

[0011] 步骤4) 对经滤波处理后的频域平面 $I_1(X, F')$ 、 $I_2(F', Y)$ 沿方位向进行逆傅里叶变换得到滤波后的图像 $I_1'(X, Y)$ 、 $I_2'(X, Y)$ ；

[0012] 步骤5) 把两个视角滤波后的图像 $I_1'(X, Y)$ 和 $I_2'(X, Y)$ 进行相加融合处理得到整体建筑布局图像 $I'(X, Y)$ 。

[0013] 本发明提出了基于图像域滤波的栅瓣抑制方法,该方法根据墙体图像区域和栅瓣造成干扰的图像区域相位变化的差异,即墙体图像区域的频谱低频特性和栅瓣干扰区域的频谱高频特性,通过频域空间上的一维低通滤波处理。

[0014] 本发明的有益效果是,实现了栅瓣的有效抑制,提高了图像质量。

附图说明

[0015] 图1为本发明穿墙雷达建筑布局图像优化流程图。

[0016] 图2为实施例步进频穿墙雷达探测场景示意图。

[0017] 图3为BP成像后视角1和视角2原始图像。

[0018] 图4为视角1和视角2的频域图像。

[0019] 图5为视角1和视角2滤波后的图像。

[0020] 图6从左到右分别为滤波后两视角融合后的建筑物布局图像和未滤波两视角融合后的建筑物布局图像。

具体实施方式

[0021] 如图1所示,本发明包括以下步骤:

[0022] 步骤1:把需要探测的图像空间,一般是由合成孔径雷达波束视线方向和合成孔径雷达运动方向确定的平面,划分为 $N_x \times N_y$ 个像素点,计算从视角1(雷达沿 y 轴移动)探测的图像空间中位于 (x_i, y_j) ($x_i \in \{1, 2, \dots, N_x\}$, $y_j \in \{1, 2, \dots, N_y\}$) 到每个阵元的聚焦延时

$$[0023] \quad \tau_{1l(x_i, y_j)} = \sqrt{(x_{1lt} - x_i)^2 + (y_{1lt} - y_j)^2} / c + \sqrt{(x_{1lr} - x_i)^2 + (y_{1lr} - y_j)^2} / c \quad (1)$$

[0024] 其中 (x_{1lt}, y_{1lt}) 为路径1发射天线位置, (x_{1lr}, y_{1lr}) 为路径1接收天线位置 ($l \in \{1, 2, \dots, L\}$), L 为发射天线或接收天线的位置总数。

[0025] 步骤2:计算从视角1探测的图像空间中位于像素点 (x_i, y_j) 的值

$$[0026] \quad I_1(x_i, y_j) = \sum_{l=1}^L I_{1l}(x_i, y_j) = \sum_{l=1}^L Z_{1l} \left(t + \tau_{1l(x_i, y_j)} \right) \Big|_{t=0} \quad (2)$$

[0027] 其中 $Z_{1l}(t)$ 是路径1每个天线位置接收的回波, $|$ 表示参数赋值。

[0028] 步骤3:重复步骤1和步骤2,即使用现有合成孔径方式和BP算法计算图像空间中所有像素点的值,得到视角1原始图像平面 $I_1(X, Y)$ 。

[0029] 步骤4:对视角1原始图像平面沿其方位向(y 方向)的进行傅里叶变换,得到视角1的频域平面 $I_1(X, F)$,当 $x = x_m$ 时, x 为原始图像平面的横坐标,频域平面中各元素 $I_1(x_m, f_k)$ 可以表示为:

$$[0030] \quad I_1(x_m, f_k) = \sum_{y_n=1}^{N_y} I_1(x_m, y_n) e^{-j \frac{2\pi}{N} y_n f_k} \quad (3)$$

[0031] 步骤 5 :用低通空域滤波器对频域平面进行滤波处理得到 $I_1(X, F')$,低通滤波器的截止频率为 f_0 。

[0032] 步骤 6 :对经滤波处理后的频域平面 $I_1(X, F')$ 沿方位向进行逆傅里叶变换得到滤波后的视角 1 图像 $I_1'(X, Y)$,当 $x = x_m$ 时, $I_1'(x_m, y_n)$ 可以表示为

$$[0033] \quad I_1'(x_m, y_n) = \frac{1}{N_y} \sum_{f_k'=1}^{N_y} I_1(x_m, f_k') e^{j \frac{2\pi}{N} f_k' y_n} \quad (4)$$

[0034] 步骤 7 :对路径 2 的回波数据进行步骤 1 到步骤 6 相同的操作得到滤波后的视角 2 图像 $I_2'(X, Y)$,其中,视角 2 为雷达移动方向 x 方向,当对视角 2 原始图像平面沿其方位向 (x 方向) 的进行傅里叶变换后得到视角 2 的频域平面 $I_2(F, Y)$,用低通空域滤波器对频域平面进行滤波处理得到 $I_2(F, Y')$,对经滤波处理后的频域平面 $I_2(F, Y')$ 沿 x 方向进行逆傅里叶变换得到滤波后的视角 2 图像 $I_2'(X, Y)$,视角 2 的进行的傅里叶变换与逆傅里叶变换相似,不在此赘述。

[0035] 步骤 8 :把两个视角滤波后的图像 $I_1'(X, Y)$ 和 $I_2'(X, Y)$ 进行相加融合处理得到完整的整体建筑布局图像 $I'(X, Y)$ 。

[0036] 为了验证本发明的效果,下面给出一个仿真实验。

[0037] 一部一发一收配置的步进频穿墙雷达探测场景如图 2 所示,穿墙雷达系统紧贴墙壁放置在中间位置,发射 1GHz-2GHz 的步进频率连续波信号,步进间隔为 2M,脉冲周期为 50ms,从两个视角对 $7m \times 5.6m$ 的房间实施建筑物布局成像,沿 y 方向的视角 1 的合成孔径由 22 个阵元位置组成,阵元间距为 0.2m,沿 x 方向的视角 2 的合成孔径由 19 个阵元位置组成,阵元间距为 0.2m,收发天线间距 0.25m。

[0038] 基于上述所示的穿墙雷达系统探测场景,本发明的具体工作流程如下:

[0039] (1) 把需要探测的图像空间,划分为 256×256 个像素点,计算从视角 1 探测的图像空间中位于 (x_i, y_j) ($x_i \in \{1, 2, \dots, 256\}$, $x_j \in \{1, 2, \dots, 256\}$) 到 22 个阵元的聚焦延时 $\tau_{1(x_i, y_j)}$ ($1 \in \{1, 2, \dots, 22\}$)。

[0040] (2) 计算从视角 1 探测的图像空间中位于 (x_i, y_j) 像素点的值 $I_1(x_i, y_j)$ 。

[0041] (3) 重复步骤 1 和步骤 2,计算图像空间中所有像素点的值,得到视角 1 原始图像平面 $I_1(X, Y)$ 。为减小图像中前墙和后墙强度差异,我们把图像分为两个子图像,其中一个子图像包含前墙的成像区域,另一个子图像包含后墙的成像区域。分别对这两个子图像进行归一化处理然后再合成一个完整的图像。经处理后的视角 1 原始图像如图 3(a) 所示。

[0042] (4) 对视角 1 原始图像沿方位向进行傅里叶变换后得到的频域图像 $I_1(X, F)$,如图 4(a) 所示。

[0043] (5) 用低通空域滤波器对频域图像 $I_1(X, F)$ 进行滤波处理得到 $I_1(X, F')$,低通滤波器的截止频率为 0.2。

[0044] (6) 对经滤波处理后的频域平面 $I_1(X, F')$ 沿方位向进行逆傅里叶变换得到滤波后的视角 1 图像 $I_1'(X, Y)$,如图 5(a) 所示。

[0045] (7) 对路径 2 的回波数据进行步骤 1 到步骤 6 相同的操作得到滤波后的视角 2 图

像 I_2' (X, Y), 如图 5(b) 所示。由于视角二的后墙附近有空调, 可以看为点目标, 其图像相位变化没有墙体图像相位变化稳定, 选择低通滤波器的截止频率为 0.9 保留图像信息。视角 2 的原始图像如图 3(b) 所示, 其频域图像如图 4(b) 所示。

[0046] (8) 把两个视角滤波后的图像 I_1' (X, Y) 和 I_2' (X, Y) 进行相加融合处理得到完整的整体建筑布局图像 I' (X, Y), 融合后的图像如图 6(a) 所示, 为对比本发明中提出的方法的实际效果, 把未滤波的两视角图像也进行相加融合, 结果如图 6(b) 所示, 对比图 6 可以看出本发明能有效抑制栅瓣, 提高了图像质量。

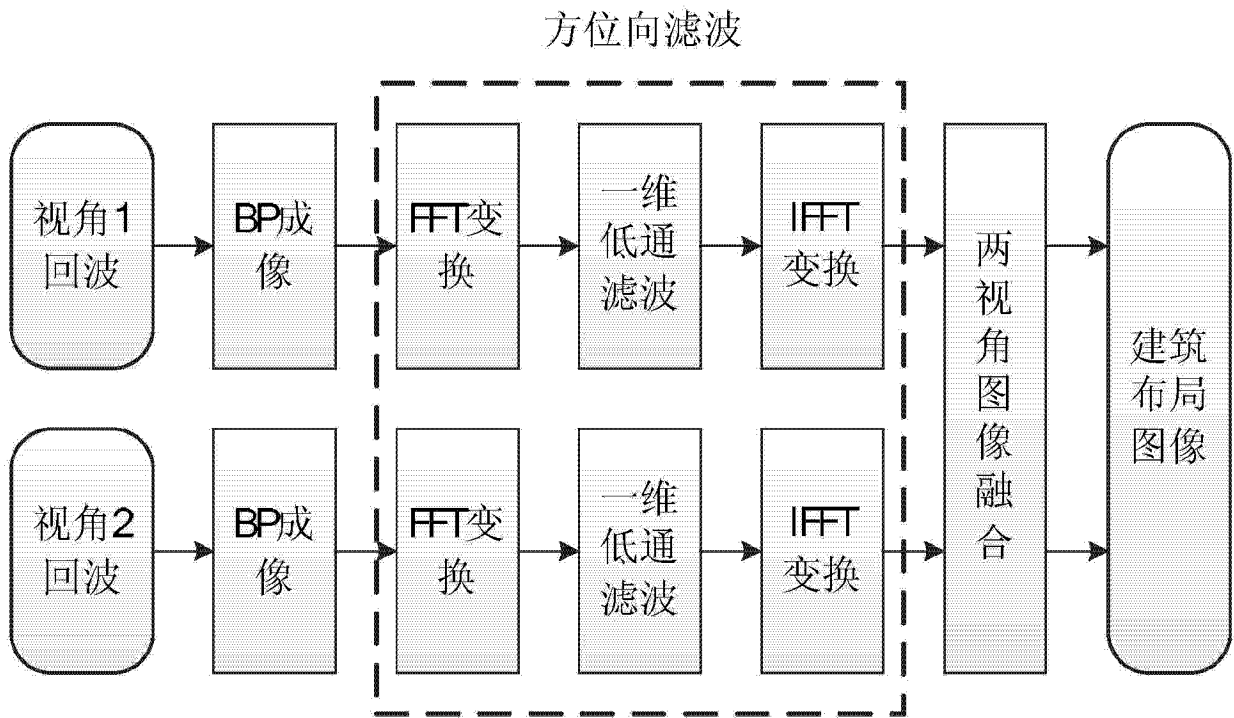


图 1

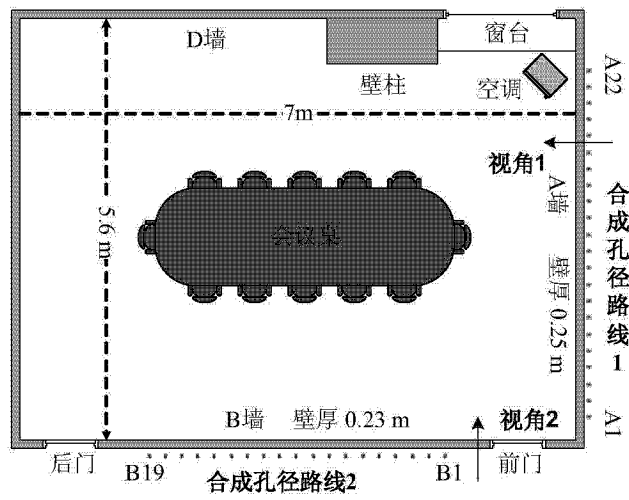


图 2

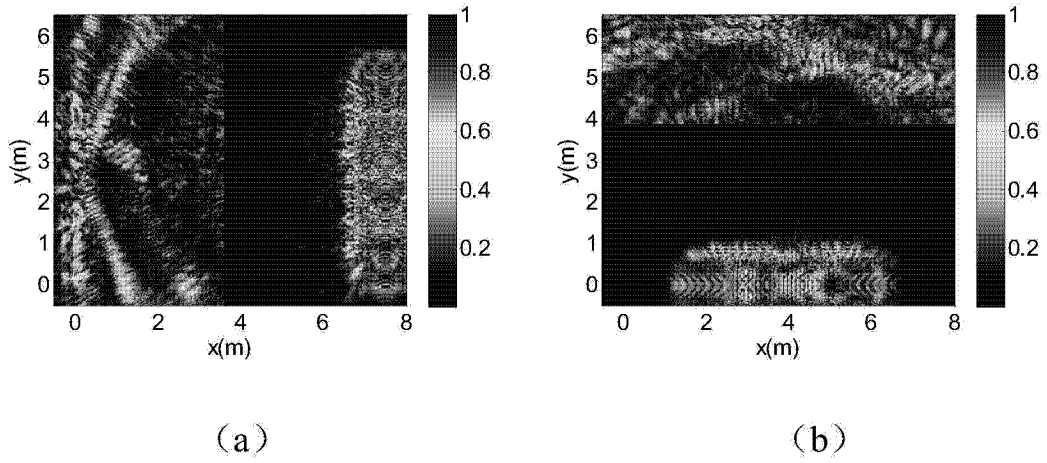


图 3

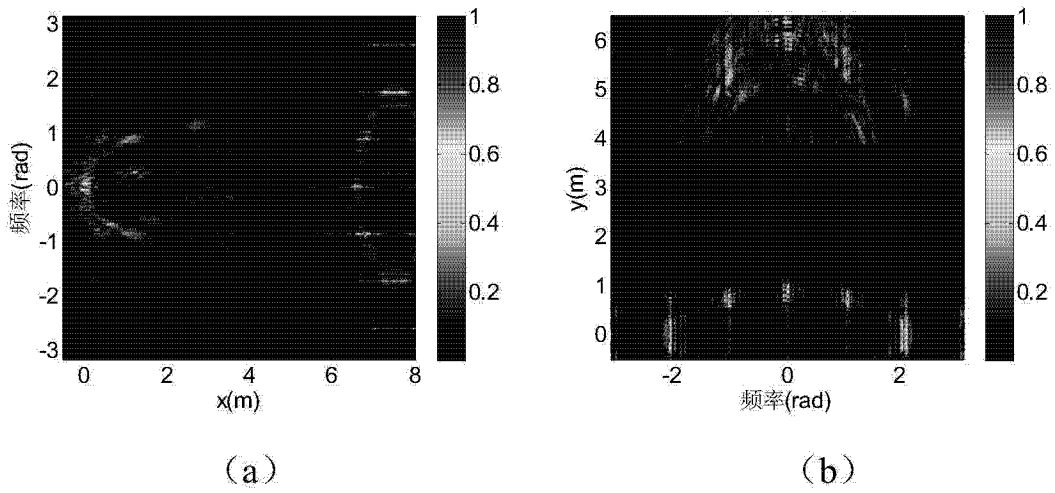


图 4

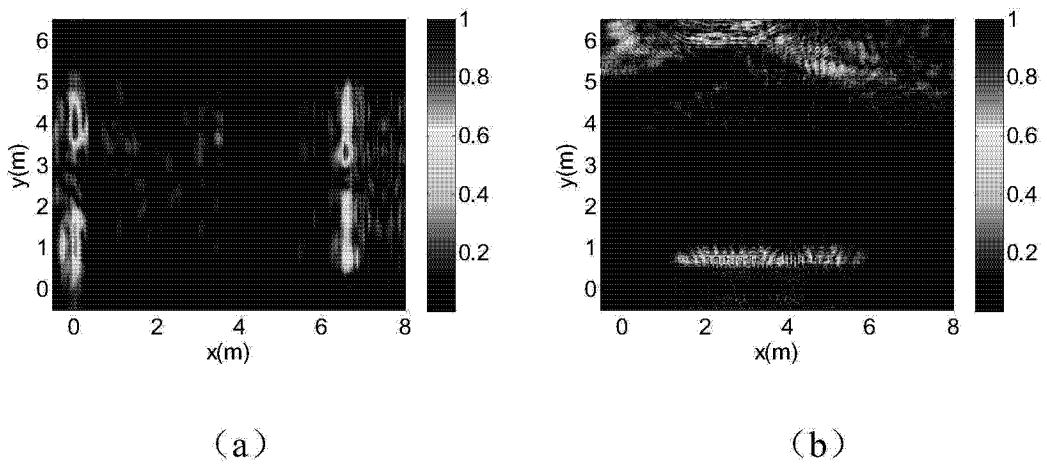


图 5

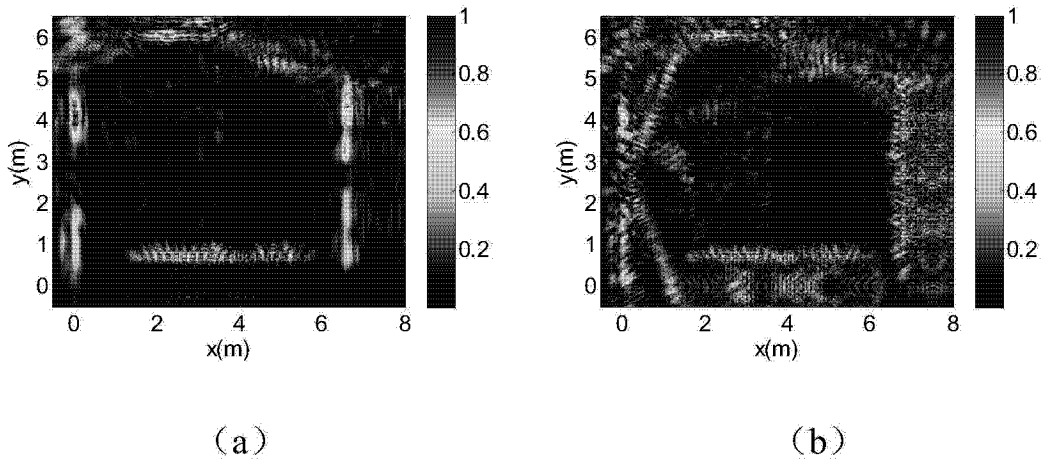


图 6