

## 穿墙雷达多视角建筑布局成像

贾 勇 孔令讲\* 马 静 杨晓波  
(电子科技大学电子工程学院 成都 611731)

**摘 要:** 穿墙雷达成像主要包括建筑物的建筑布局成像和内部隐蔽目标成像, 其中, 建筑布局成像形成的建筑物墙体图像作为参照物能够确定隐蔽目标在建筑物内的相对位置, 进而辅助内部隐蔽目标成像实现墙体穿透相位补偿和多径杂波抑制。该文提出了一种多视角建筑布局成像算法, 针对多个视角的合成孔径探测回波, 首先采用后向投影成像算法形成多幅包含部分墙体图像的单视角建筑布局图像; 然后采用  $M-N-K$  检测器融合多幅单视角建筑布局图像, 形成一幅包含全部墙体图像的二值化建筑布局全景图像; 最后, 采用中值滤波和 Hough 变换抑制墙体图像的空洞残缺和边缘毛刺, 形成相对整齐的建筑布局全景图像。XFDTD 仿真数据和穿墙雷达实验数据验证了算法的正确性和可行性。

**关键词:** 穿墙雷达; 多视角; 建筑布局; 图像融合

**中图分类号:** TN957.52

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2013)05-1114-06

**DOI:** 10.3724/SP.J.1146.2012.01056

## Through-wall-radar Multi-view Imaging for Architectural Layout of Building

Jia Yong Kong Ling-jiang Ma Jing Yang Xiao-bo

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China)

**Abstract:** Through-wall-radar imaging is performed to image the architectural layout imaging and hidden target of building. Wall images formed through the architectural layout imaging are considered as the reference to define the relative position of the hidden target in building, which further contributes to implement wall phase compensation and multi-path suppression. In this paper, a multi-view imaging approach for the architectural layout is proposed. Firstly, multiple single-view layout images with the part of wall images are formed from multi-view synthetic aperture echoes through back-projection imaging algorithm. Then based on  $M-N-K$  detector, these single-view images are fused to one binary layout image with all wall images. Finally, median filter and Hough transformation are adopted to reduce the cavities and burrs in wall images to generate the near-tidy panorama image of architectural layout. XFDTD simulation and through-wall-radar experiment data validate the correctness and feasibility of the proposed approach.

**Key words:** Through-wall-radar; Multi-view; Architectural layout; Image fusion

### 1 引言

穿墙雷达成像在实际建筑物透视探测应用中主要用以形成建筑物的建筑布局图像和内部隐蔽目标图像, 能够广泛应用于城区巷战、反恐作战和灾难救援等军事和民用领域。最近十年以来, 国内外许多机构在穿墙雷达成像技术领域取得了一系列重要的研究成果<sup>[1-11]</sup>。

建筑物内部隐蔽目标成像面临两个主要问题, 首先, 未知墙体穿透导致目标图像散焦和偏移; 其

次, 建筑物封闭环境造成复杂多径杂波图像干扰。中国科学院电子学研究所提出了一种自聚焦成像算法, 修正未知墙体穿透相位误差造成的目标图像散焦和偏移<sup>[4,5]</sup>。美国 Villanova 大学提出了一种多径复用算法, 基于多径传播模型, 将多径杂波图像区域像素搬移叠加到目标图像区域, 抑制多径杂波图像的同时提升图像信噪比<sup>[6,7]</sup>。上述算法都要求确知目标在建筑物内部的相对位置信息, 其中, 自聚焦成像算法中聚焦时延的搜索范围由目标与雷达之间隔离墙体的数量决定, 多径复用算法中多径传播模型的建立决定于目标与墙体的相对位置关系。另外, 实际应用对隐蔽目标成像定位的期望是确定目标在建筑物内的相对位置, 而不是目标与雷达的相对位置。

2012-08-17 收到, 2012-12-20 改回

国家自然科学基金(61178068)和四川青年基金人才培养计划(2011JQ0024)资助课题

\*通信作者: 孔令讲 lingjiang.kong@gmail.com

确定目标在建筑物内部相对位置的前提条件是确知建筑物的建筑布局,然而实际应用中,建筑物的建筑布局通常是未知的,因此,国际上众多科研机构开展了建筑布局成像关键技术的研究。美国陆军实验室基于 Xpatch 仿真数据和同步脉冲重建雷达实验数据,采用图像叠加方法融合两个垂直视角对应的两幅单视角建筑布局图像,形成一幅粗糙的建筑布局全景图像<sup>[8,9]</sup>。美国 Villanova 大学提出了一种混合波束形成算法,针对 NEC-BSC 仿真软件模拟的两个相互垂直视角的合成孔径回波,分别处理形成两幅单视角建筑布局图像,同样采用图像叠加融合形成一幅粗糙的建筑布局全景图像<sup>[10]</sup>。上述研究成果公布的建筑布局全景图像,能够基本反映建筑物的墙体分布,但是未知的墙体分布、结构和参数造成墙体图像散焦扩展,墙体图像呈现出一定的空洞残缺和边缘毛刺,不利于准确描述建筑物的建筑布局。针对多个视角的合成孔径探测回波,本文提出了一种多视角建筑布局成像算法,采用  $M-N-K$  检测器融合多幅单视角建筑布局图像,抑制墙体图像的空洞残缺和边缘毛刺以保证墙体图像的完整性和平滑性,形成一幅二值化的建筑布局全景图像,同时采用中值滤波和 Hough 变换进一步减少墙体图像中残余的空洞残缺和边缘毛刺,形成相对整齐的建筑布局全景图像。本文采用 XFDTD 仿真数据和穿墙雷达实验数据验证了算法的正确性和可行性。

## 2 多视角建筑布局成像回波模型

针对国内典型的四方形建筑物,由于墙体对于电磁波反射近似为镜面反射,为了获取建筑物所有墙体的回波以形成包含所有墙体图像的建筑布局全景图像,要求穿墙雷达沿多个视角实施合成孔径探测,其中,最简单的探测方式为沿着与相邻两面墙体垂直的两个垂直视角实施合成孔径探测,如图 1 所示。

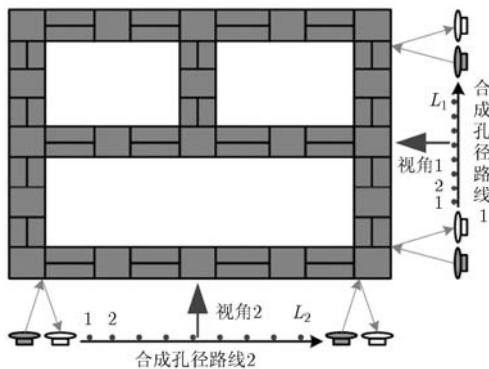


图1 多视角建筑布局合成孔径探测示意图

假设穿墙雷达采用单发单收天线配置,依次沿两条相互垂直的合成孔径路线实施多视角探测,其中,在视角 1 对应的路线 1 中设置  $L_1$  个探测位置,每个探测位置获取单个脉冲回波,  $L_1$  个探测位置的合成孔径回波主要包括与视角 1 垂直的多层墙体回波,表示为

$$\mathbf{Y}_1(t) = [y_{11}(t), y_{12}(t), \dots, y_{1L_1}(t)]^T \quad (1)$$

其中  $y_{1l}(t)$  为在第  $l$  个探测位置的单个脉冲回波,  $l = 1, 2, \dots, L_1$ 。在此  $L_1$  个探测位置的合成孔径回波中,同一墙体的后向散射系数和回波时延存在一定的非均匀起伏,同时可能包含不同墙体的回波。同理,在视角 2 对应的  $L_2$  个探测位置,收集的合成孔径回波表示为  $\mathbf{Y}_2(t) = [y_{21}(t), y_{22}(t), \dots, y_{2L_2}(t)]^T$ ,主要包括与视角 2 垂直的多层墙体回波。

## 3 多视角建筑布局成像算法

针对上述两个探测视角对应的两组合成孔径回波  $\mathbf{Y}_1(t)$  和  $\mathbf{Y}_2(t)$ ,本文提出一种多视角建筑布局成像算法,通过单视角布局成像、多视角图像融合和图像优化 3 步处理,形成一幅包含建筑物全部墙体图像的建筑布局全景图像。

### 3.1 单视角布局成像

第 1 步单视角布局成像,通过后向投影成像算法,分别处理两组单视角合成孔径回波  $\mathbf{Y}_1(t)$  和  $\mathbf{Y}_2(t)$  形成两幅单视角建筑布局图像  $I_1(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  和  $I_2(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ ,用来表征成像区域中墙体散射体的空间分布。

成像区域覆盖整个建筑物区域以形成建筑物全部墙体的图像,成像区域被划分为有限数目的像素单元,其中,位于  $(x, y)$  处像素单元的像素值表示为

$$I_i(x, y) = \left| \sum_{l=1}^{L_i} w_{il} \cdot y_{il}(t + \tau_{(x,y),l}) \Big|_{t=0} \right|, \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

其中  $w_{il}$  为加权系数,通常设置为 1;  $\tau_{(x,y),l}$  为聚焦延迟,定义为电磁波在收发天线与像素点之间的传播延迟。遍历成像区域中所有像素单元,最终形成单视角建筑布局图像  $I_1(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  和  $I_2(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ 。

由于墙体的分布、结构和参数都是未知的,造成聚焦延迟  $\tau_{(x,y),l}$  无法准确计算,导致墙体图像存在一定程度的散焦和偏移。现有的解决方法如穿墙自聚焦算法,主要通过遍历聚焦延迟搜索具备最佳聚焦程度的图像作为输出图像,由于最佳聚焦延迟的确定条件是整幅图像达到最佳聚焦程度,而对于图 1 所示的具有多层墙体的建筑物,不同墙体图像达到最佳聚焦程度对应不同的最佳聚焦延迟,因此穿墙自聚焦算法无法修复图像  $I_1(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  和  $I_2(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  中多层墙体图像的散焦和偏移,表现形式为墙体图像的空洞残缺和边缘毛刺。

两组单视角合成孔径回波  $Y_1(t)$  和  $Y_2(t)$  分别包含与对应视角垂直的多层墙体的回波，导致形成的两幅单视角建筑布局图像  $I_1(X, Y)$  和  $I_2(X, Y)$  包含不同墙体的图像，分布呈现互补特性，其中， $I_1(X, Y)$  主要包含与视角 1 垂直的多层墙体图像， $I_2(X, Y)$  主要包含与视角 2 垂直的多层墙体图像。为了保证两幅单视角图像在后续图像融合中的一致性，需要分别进行像素值归一化处理。

3.2 多视角图像融合

第 2 步多视角图像融合，基于两幅单视角建筑布局图像  $I_1(X, Y)$  和  $I_2(X, Y)$  中墙体图像的分布互补特性，通过  $M-N-K$  检测器实现两幅图像的检测融合，同时减少墙体图像的空洞残缺与边缘毛刺，形成一幅包含全部墙体图像的二值化建筑布局图像  $P(X, Y)$ 。

$M-N-K$  检测器来源于  $N-K$  检测器<sup>[11,12]</sup>，在保留  $N-K$  检测器抑制图像散焦扩散影响这一优点的同时，扩展适用于多幅图像联合检测，实现多幅图像到一幅图像的融合。 $M-N-K$  检测器的基本原理如图 2 所示，其中， $M$  表示联合检测融合的图像数目， $N$  表示参考像素单元数目， $K$  表示计算像素单元数目。计算像素单元是  $N$  个参考像素单元中前  $K$  个最大像素值对应的  $K$  个像素单元，用以计算检测统计量。对于位于  $(x, y)$  处的像素单元，对应的检测统计量表示为

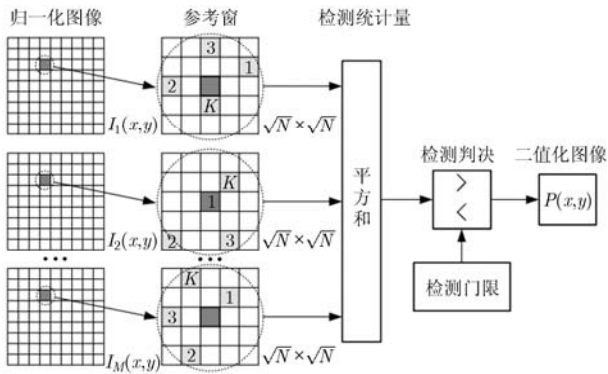


图 2  $M-N-K$  检测器示意图

$$T(x, y) = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K I_i^2(k)_{(N,K)} \quad (3)$$

其中  $I_i(k)_{(N,K)}$  表示第  $i$  幅图像  $I_i(X, Y)$  中以  $(x, y)$  处像素单元为中心，包含  $N$  个参考像素单元的矩形窗内第  $k$  大的像素值。

检测判决门限表示为

$$\beta_{gate} = \frac{\alpha \cdot \sum_{i=1}^M (\sum I_i^2(X, Y))}{M \cdot NI} \quad (4)$$

其中  $NI$  和  $\sum I_i^2(X, Y)$  分别为图像  $I_i(X, Y)$  全部像素单元的数目和像素值平方和， $\alpha$  为调节因子。

基于上述检测统计量和判决门限，判决准则表示为

$$P(x, y) = \begin{cases} 1, & T(x, y) > \beta_{gate} \\ 0, & T(x, y) \leq \beta_{gate} \end{cases} \quad (5)$$

即融合后图像在  $(x, y)$  处的像素单元根据判决准则设置像素值为 1 或 0。对全部像素单元依次进行检测判决后，输出一幅二值化图像  $P(X, Y)$ ，即融合两幅包含部分墙体图像的单视角建筑布局图像  $I_1(X, Y)$  和  $I_2(X, Y)$ ，形成一幅包含全部墙体图像的二值化建筑布局图像  $P(X, Y)$ 。

在  $M-N-K$  检测器中，每个像素单元对应的检测统计量由其周围具备较大像素值的像素单元决定，也就是说，墙体图像中空洞残缺占据的像素单元被周围像素单元替换完成检测，同时，墙体图像中边缘毛刺周围像素单元被边缘毛刺占据的像素单元替换完成检测，因此，通过  $M-N-K$  检测器融合，减少了墙体图像的空洞残缺，平滑了边缘毛刺，保证了检测融合后墙体图像的完整性和平滑性。

3.3 图像优化

第 3 步图像优化，分别通过中值滤波和 Hough 变换，进一步减少二值化建筑布局图像  $P(X, Y)$  中残余的墙体图像残余空洞残缺和边缘毛刺，形成相对整齐的建筑布局全景图像。

由于二值化的建筑布局图像  $P(X, Y)$  中所有像素单元均被 1 和 0 填充，为了避免传统中值滤波产生 0.5 的中间值，本文采用的中值滤波分两步实现，如图 3 所示，第 1 步分别统计该像素单元邻域参考窗口内像素值为 1 和 0 的像素单元数目，第 2 步将该像素单元的像素值按照数目较多的像素单元的像素值设置。通过合理设置参考窗的大小，能够有效消除墙体图像中检测残余的较小空洞残缺和边缘毛刺。滤波后的建筑布局图像定义为  $P_m(X, Y)$ 。

本文利用 Hough 变换提取图像  $P_m(X, Y)$  中的直线成分，重构整齐的建筑布局全景图像，有效减少墙体图像中残余的较大的空洞残缺和边缘毛刺。Hough 变换的实质是将由参数  $(x, y)$  表征的图像空间，转换为由参数  $(\theta, \rho)$  表征的特征空间，即图像空

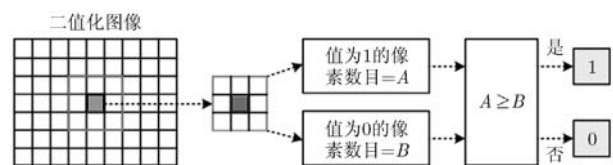


图 3 中值滤波示意图

间  $P_m(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  中任一像素单元被转换为特征空间  $P_c(\theta, \rho)$  中一条正弦曲线, 相应地, 特征空间的任一特征单元对应图像空间的一条直线, 特征单元的取值越大, 其对应的直线越长。因此, 特征空间中具备较大取值的特征单元表示图像平面中所要提取的直线成分, 通过在参数平面实施门限检测, 选取合适数目的特征单元进行逆 Hough 变换, 即可提取直线成分重构建筑布局全景图像。

为了保证重构的建筑布局全景图像更好地与实际相符, 通过 Hough 变换重构图像需要注意两点, 首先, 由于墙体通常与图像坐标轴平行或垂直, 参数平面中只有  $\theta = 0$  和  $\theta = \pi/2$  附近的大值点有效, 因此通过在参数平面滤除其他  $\theta$  值, 能够消除虚假重构的墙体图像; 其次, 由于墙体之间交叉连接构成封闭的建筑布局, 因此提取的直线需要基于变换前的墙体图像获取两个端点, 形成重构墙体图像的交叉边界。

#### 4 XFDTD 仿真结果与分析

仿真数据由 XFDTD 全波 3 维电磁仿真软件产生, 建筑物仿真模型如图 4 所示, 六面墙体由均匀砖质材料构成, 其厚度、电导率和相对介电常数分别为 0.2 m, 0.03 s/m 和 4.5。采用单发单收偶极子天线, 分别沿 4 个相互垂直视角实施合成孔径探测。在每一个探测视角, 发射天线距墙 2 m 固定于墙体中心线上, 接收天线距墙 1.64 m 沿与墙体平行的合成孔径路线移动, 每隔 6 cm 设置一个回波接收点, 共均匀设置 61 个接收点。发射信号采用脉宽为 1.6 ns, 中心频率为 1 GHz 的超宽带调制高斯脉冲信号。

根据上述多视角建筑布局成像算法流程, 4 个探测视角对应的 4 组合成孔径回波, 分别采用后向投影成像算法形成 4 幅单视角建筑布局图像, 如图 5 所示。由于无法准确计算聚焦延迟, 在 4 幅单视

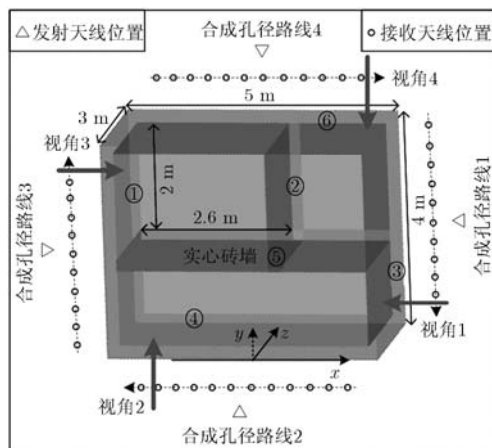


图4 XFDTD仿真模型图

角图像中墙体图像都存在一定程度的散焦扩展, 造成墙体图像中存在空洞残缺和边缘毛刺。本文采用  $M-N-K$  检测器融合 4 幅单视角图像, 以减少融合后图像中的空洞残缺和边缘毛刺, 形成的二值化建筑布局图像如图 6 所示, 具有较为完整和平滑的墙体图像, 残余一定的空洞残缺和边缘毛刺。

如图 7 所示, 中值滤波能够消除残余较小的空洞残缺和边缘毛刺, 而 Hough 变换用以抑制较大的空洞残缺和边缘毛刺, 重构整齐的建筑布局全景图像, 如图 9 所示。由于 Hough 变换提取的直线成分需要根据变换前墙体图像交叉边界进行端点截取, 以形成重构墙体图像的交叉边界, 因此, 图 9 中的墙体图像交叉边界存在一定的起伏。另外, 对于图 8 所示 Hough 变换后的参数平面, 由于墙体垂直与平行交错分布的特点, 只有在白色虚线框内目标区域中的大值点对应真实的墙体图像, 因此, 峰值点检测提取前, 首先滤除白色虚线框外非目标区域的参数, 以保证准确重构墙体图像。

#### 5 穿墙雷达实验结果与分析

实验场景如图 10 所示, 穿墙雷达采用间距 0.35 m 的单发单收天线, 发射信号为步进频率连续波信号, 频带为 1~2 GHz, 频率步进为 2 MHz。探测对象为楼房的一个封闭房间, 楼房的建筑布局限制雷达只能沿与 3 面房间墙体垂直的 3 个视角实施合成孔径探测。在 3 个探测视角(视角 1, 2 和 3)对应的 3 条合成孔径路线(路线 1, 2 和 3)中分别均匀设置 22, 21 和 23 个空间探测位置, 单条路线中两个相邻探测位置的间隔 0.2 m。

对于 3 个视角对应的 3 组合成孔径回波, 分别通过后向投影成像算法形成 3 幅单视角建筑布局图像, 如图 11 所示。由于电磁波穿透墙体衰减会造成墙体  $D$  图像强度远小于墙体  $B$  图像, 本文通过分区域成像再拼接的方式形成包含墙体  $B$  和  $D$  清晰图像的视角 2 图像, 图 12 为  $M-N-K$  检测器融合 3 幅单视角图像形成的二值化建筑布局图像, 包含房间全部的 4 面墙体图像, 但存在空洞残缺和边缘毛刺。通过中值滤波(图 13)和 Hough 变换, 能够有效消除墙体图像空洞残缺和边缘毛刺, 重构整齐的建筑布局全景图像, 如图 14 所示。

实验结果显示重构的建筑布局全景图像能够较好地反映房屋 4 面墙体的分布, 说明提出的多视角建筑布局成像算法具备现实可行性。同时, 沿视角 2 探测形成了与视角 2 垂直的前后两层墙体的图像, 在穿透多层墙体的条件下, 验证了图 1 中最简单的多视角探测方式(沿着与建筑物相邻两面墙体垂直

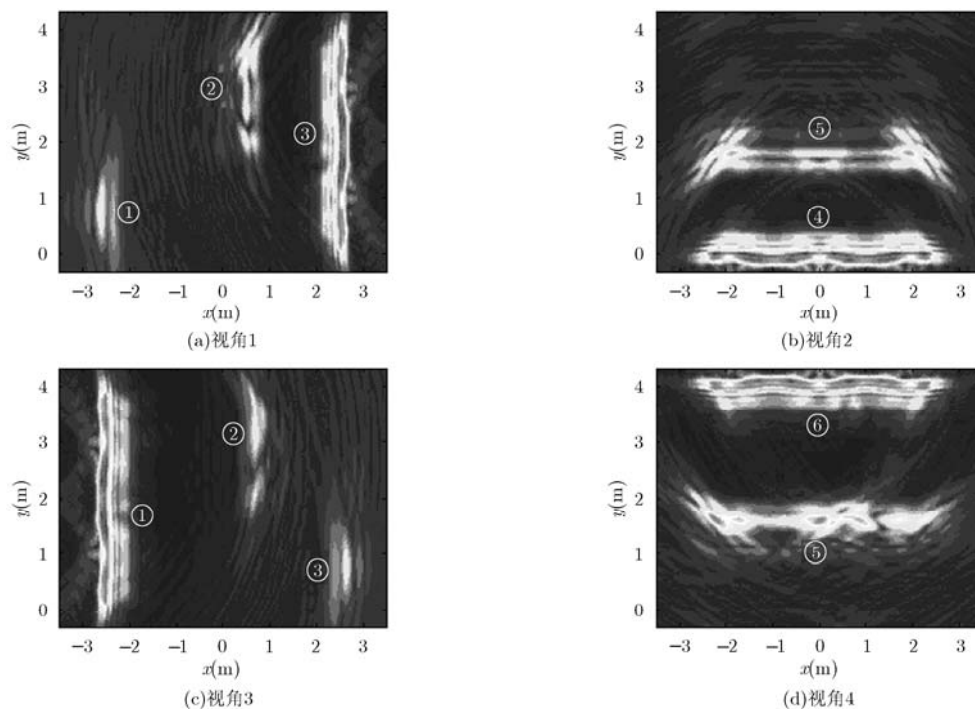


图5 4幅单视角建筑布局图像

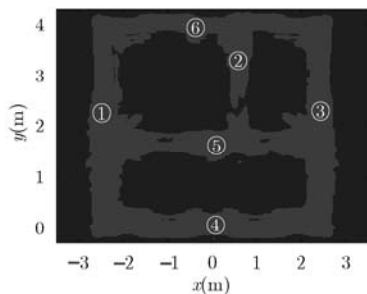


图6 M-N-K检测器融合后图像

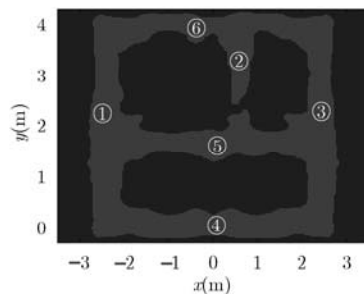


图7 中值滤波后图像

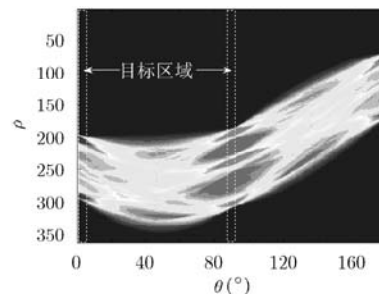


图8 Hough变换参数平面图

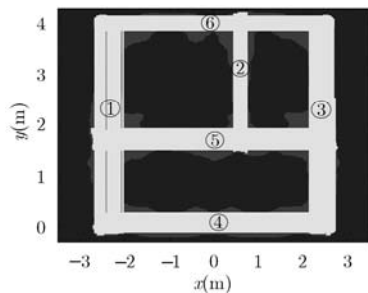


图9 Hough变换重构图像

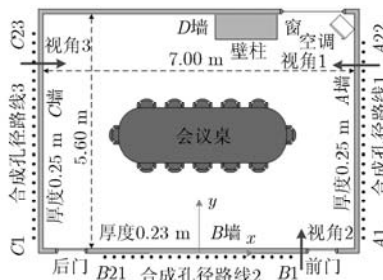
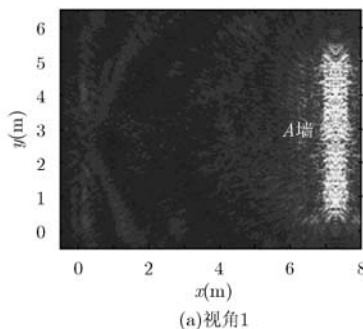
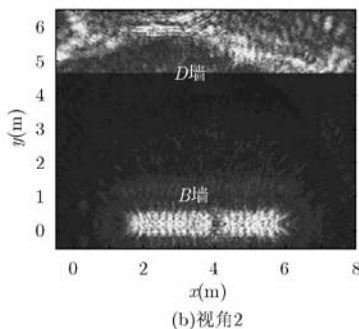


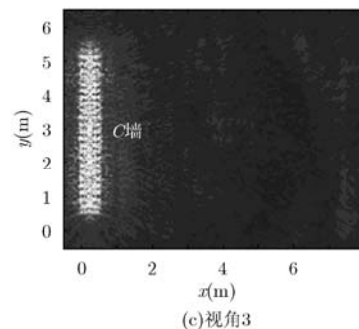
图10 实验场景示意图



(a) 视角1



(b) 视角2



(c) 视角3

图11 3幅单视角建筑布局图像

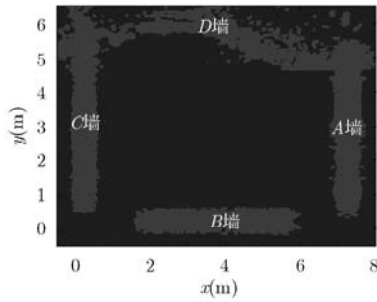
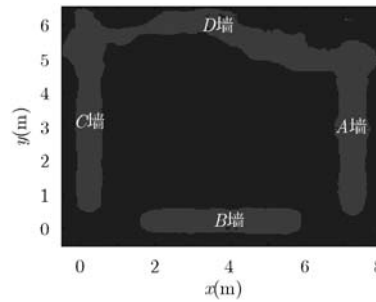
图12  $M-N-K$ 检测器融合后图像

图13 中值滤波后图像

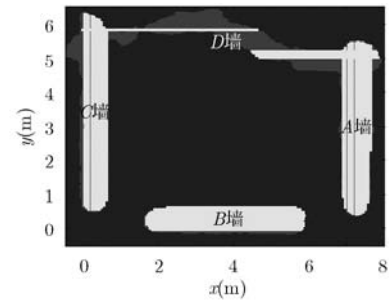


图14 Hough变换重构图像

的两个垂直视角实施合成孔径探测)获取包含建筑物所有墙体图像的建筑布局全景图像的现实可行性。

## 6 结束语

本文介绍了一种多视角建筑布局成像算法,联合采用基于后向投影的单视角成像、基于  $M-N-K$  检测器的多视角图像融合和基于中值滤波与 Hough 变换的图像优化,形成一幅包含墙体图像的、相对整齐的建筑布局全景图像。XFDTD 仿真结果和穿墙雷达实验结果表明,形成的建筑布局全景图像较好地反映了建筑物墙体的分布情况,是获取隐蔽目标在建筑物内的相对位置以及进一步实现目标成像中墙体穿透相位补偿和多径杂波抑制的重要参照。

## 参考文献

- [1] 吴世有, 陈浩, 孟升卫, 等. 一种新型超宽带穿墙雷达运动目标跟踪成像算法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(1): 134-139.  
Wu Shi-you, Chen Hao, Meng Sheng-wei, *et al.* A novel algorithm for tracking moving target based on ultra-wide-band through-wall-radar[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, 34(1): 134-139.
- [2] 晋良念, 欧阳缙, 肖海林. 超宽带穿墙雷达双稳健波束互相关加权的自适应成像方法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(7): 1644-1648.  
Jin Liang-nian, Ouyang Shan, and Xiao Hai-lin. An adaptive imaging algorithm with double-robust beam correlation weight for ultra-wide-band through-wall-radar[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2011, 33(7): 1644-1648.
- [3] 孟升卫, 黄琼, 吴世有, 等. 超宽带穿墙雷达运动目标跟踪成像算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(3): 500-505.  
Meng Sheng-wei, Huang Qiong, Wu Shi-you, *et al.* Research on moving target tracking and imaging algorithm for ultra wideband through-wall radar[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(3): 500-505.
- [4] Li Lian-lin, Zhang Wen-ji, and Li Fang. A novel autofocus approach for real-time through-wall imaging under unknown wall characteristics[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, 48(1): 423-431.
- [5] Zhang Wen-ji, Li Lian-lin, and Li Fang. Autofocusing imaging through the unknown building wall with EM inverse scattering algorithm[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2010, 52(3): 732-736.
- [6] Setlur P, Amin M, and Ahmad F. Multipath model and exploitation in through-the-wall and urban radar sensing[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011, 49(10): 4021-4034.
- [7] Setlur P, Amin M, and Ahmad F. Multipath model and exploitation in through-the-wall and urban radar sensing[C]. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Prague, 2011: 2676-2679.
- [8] Dogaru T, and Le C. SAR images of rooms and buildings based on FDTD computer models[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, 47(5): 1388-1401.
- [9] Le C, Dogaru T, Nguyen L, *et al.* Ultrawideband (UWB) radar imaging of building interior: measurements and predictions[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, 47(5): 1409-1420.
- [10] Zhang Wen-ji, Hoorfar A, and Thajudeen C. Building layout and interior target imaging with SAR using an efficient beamformer[C]. *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, Spokane, 2011: 2087-2090.
- [11] Kocur D, Gamec J, Švecová M, *et al.* Imaging method: a strong tool for moving target tracking by a multistatic UWB radar system[C]. *8th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, Herlany, 2010: 11-19.
- [12] Van der Spek Gerard A. Detection of a distributed target[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1971, 7(5): 922-931.

贾 勇: 男, 1985 年生, 博士生, 研究方向为超宽带雷达目标检测、定位、跟踪与成像技术等。

孔令讲: 男, 1974 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为新体制雷达系统和雷达信号处理算法等。

马 静: 女, 1987 年生, 硕士生, 研究方向为超宽带雷达成像技术等。