

文章编号: 2095-4980(2019)01-0001-07

太赫兹近场成像雷达系统误差补偿方法

陈小霞, 李玉钊, 安建波, 朱建平, 张 伟, 程思敏

(北京遥感设备研究所, 北京 100854)

摘 要: 太赫兹成像雷达具有合成孔径时间短、分辨力高的优点, 适用于近场探测, 但由于器件成熟度相对不高, 雷达系统常存在较大的系统失真, 会降低信号质量; 同时, 系统固有延时的存在会引起距离测量误差, 二者均会恶化雷达成像的质量。针对系统失真和固有延时, 提出了最小二乘法估计的幅相误差补偿方法和固有延时补偿方法, 并给出了系统误差的测量方法。试验测试结果表明, 用该方法对系统进行补偿后能有效提高图像空间分辨力, 改善图像质量。

关键词: 太赫兹; 近场成像; 系统误差; 补偿

中图分类号: TN951

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201901.0001

Error compensation methods of terahertz near-field imaging radar system

CHEN Xiaoxia, LI Yuzhao, AN Jianbo, ZHU Jianping, ZHANG Wei, CHENG Simin

(Beijing Institute of Remote Sensing Equipment, Beijing 100854, China)

Abstract: The terahertz imaging radar is suitable for near field detection because of the advantages of short synthetic aperture time and high resolution. Nevertheless, due to the limitation of device maturity, large distortion of the radar system reduces the signal quality. At the same time, system inherent delay causes the deviation of target range. All of these problems will degrade the imaging quality. In order to solve these problems, the amplitude and phase error compensation method which is estimated by the least square method, and the inherent delay correction method are put forward, and the measurement method of the system distortion is given. The test results show that after compensation, the resolution of image is improved and the quality of imaging is enhanced effectively.

Keywords: terahertz; near-field imaging; system distortion; compensation

太赫兹 (THz) 信号是指频率介于毫米波与红外光之间的电磁波, 兼有微波毫米波与红外光两个频段的特性。相比于微波、毫米波频段的信号, 太赫兹频段的波长较小, 更适合极大信号带宽和极窄天线波束的实现, 获得目标的精细成像, 从而有利于目标的识别。这些特点为太赫兹雷达提供了非常大的应用潜能^[1-3]。太赫兹成像雷达具有合成孔径时间短、分辨力高的优点, 非常适用于近场探测^[3-6]。

宽带系统中, 由于器件成熟度相对不高等限制, 不可避免地存在各种系统失真。这些失真的存在, 造成脉压旁瓣的升高和主瓣的展宽, 从而降低雷达的距离分辨力, 影响目标图像的距离维分辨力^[7]。另外, 由于器件转换耗时和线路传输等原因, 必然存在系统固有延时, 引起测距固有误差。在近场成像时, 测距固有误差和目标距离往往可比拟, 如果不做补偿, 探测的目标距离误差较大, 进而会对近场目标成像质量造成影响。本文针对系统失真和固有延时提出了合理的补偿算法, 暗室试验实测的成像结果表明, 补偿方法是正确有效的。

1 太赫兹雷达近场成像原理

为了提高雷达的距离分辨力, 需要采用大带宽的波形, 宽带回波的直接中频数字采样实现对硬件的要求很高。因此, 在接收支路上采用去调频 (dechirp) 的方式进行脉冲压缩是一种常用的方法^[8-12], 利用回波信号与参考信号混频得到中频信号, 降低系统的复杂度和信号处理实时性压力, 如图 1 所示。在近场雷达的实现中, 可以将发射信号的耦合支路用作参考信号, 降低系统的复杂度和成本^[13]。

收稿日期: 2017-12-24; 修回日期: 2018-02-09

基金项目: 装备预先研究基金资助项目 (41419010106-3)

假设目标处于成像场景的近场区, 雷达系统发射的线性调频信号(Linear Frequency Modulation, LFM)载波频率为 f_c , 脉冲持续时间为 T_p , 线性调频率为 γ , 某点目标到雷达的距离为 R_i , 则目标回波差拍信号可以表示为:

$$s_{if}(t, t_m) = A \cdot \text{rect}\left(\frac{t - 2R_i/c}{T_p}\right) \exp\left[-j\left(\frac{4\pi f_c R_i}{c} + \frac{4\pi\gamma R_i t}{c} - \frac{4\pi\gamma R_i^2}{c^2}\right)\right] \quad (1)$$

式中: $\text{rect}(u) = \begin{cases} 1, & |u| \leq 1/2 \\ 0, & |u| > 1/2 \end{cases}$; c 为光速; t 和 t_m 为快、慢时间变量。对式

(1)快时间 t 进行傅里叶变换, 得到基带信号在差频域的表达式:

$$S_1(f_i, t_m) = \text{FFT}_t\{s_{if}(t, t_m)\} = AT_p \cdot \text{sinc}\left[T_p\left(f_i + \frac{2\gamma}{c}R_i\right)\right] \cdot \exp\left[-j\left(\frac{4\pi f_c}{c}R_i + \frac{4\pi\gamma}{c^2}R_i^2 + \frac{4\pi f_i}{c}R_i\right)\right] \quad (2)$$

式(2)中第一个相位项为多普勒项, 第二个相位项为剩余视频相位项(Residual Video Phase, RVP), 第三个相位项当 $R_i \neq 0$ 时, 会带来回波包络的“斜置”。后 2 个相位项对成像无贡献且在一定程度上会影响成像质量, 应去除。得到新的表达式:

$$S_2(f_i, t_m) = AT_p \cdot \text{sinc}\left[T_p\left(f_i + \frac{2\gamma}{c}R_i\right)\right] \exp\left[-j\frac{4\pi f_c}{c}R_i\right] \quad (3)$$

从式(3)可以看出, 回波信号在快时间域进行傅里叶变换后, 点目标在距离向得到了压缩。在频率轴上, 与距离相对应的位置处被压缩为具有 sinc 函数形状的峰, 峰值位于 $f_i = -\frac{2\gamma}{c}R_i$ 处。对单个点目标来说, 当方位向慢时间变化时, sinc 函数峰值点的位置也会随之变化。在压缩后的回波数据中则表现为沿着方位向, 该点目标对应的峰值点在不同的距离上进行游动。

由于 RVP 项和“斜置”项均与距离 R_i 有关, 对不同 R_i 应作不同的相位补偿, 达到去除的目的。然后对脉压数据中点目标在不同方位向的数据进行相关累加作为该目标的散射强度值, 即可完成对成像场景的重建^[8,11,14], 其表达式为:

$$\sigma = \int_{t_m} S_2(f_i, t_m) \exp\left(j\frac{4\pi f_c}{c}R_i\right) dt_m \quad (4)$$

式(4)即为太赫兹雷达近场探测时的后向投影成像算法。

2 系统失真补偿

2.1 系统失真分析

由于器件的限制、数字量化、正交调制、滤波和放大等模拟环节的引入^[15], 给宽带系统带来各种误差, 造成幅频失真、相频失真。另外, LFM 信号的调频规律可能偏离理想, 造成这种情况的主要原因有 2 种: 一种由宽带信号产生器引起; 另一种是为了使 LFM 信号的技术参数, 如带宽、中心频率等符合要求而进行倍频、变频的过程中引起的^[7]。这些失真的存在, 造成脉压旁瓣的升高和主瓣的展宽, 从而降低雷达的距离分辨力, 影响目标图像的距离维分辨力^[16-19]。

2.2 补偿方法

由去斜原理^[7,10]可知, 理想的本振信号和理想的点目标信号混频后的输出信号为标准的复正弦信号。设实际得到的信号可表示为:

$$x(n) = I(n) + jQ(n) = a(n)\exp[j\phi(n)] \quad (5)$$

式中: $I(n), Q(n)$ 为 2 路正交信号; $a(n), \phi(n)$ 分别为幅度和相位。

若系统无失真, 则 $a(n)$ 为与 n 无关的恒值, $\phi(n)$ 为 n 的线性函数:

$$\phi(n) = \omega n + \varphi \quad (6)$$

由于系统失真的存在, 实际的 $a(n)$ 与 n 有关, $\phi(n)$ 一般不是 n 的线性函数, 但是可以通过 $a(n)$ 和估计值得到 $\hat{A}, \hat{\varphi}$ 和 $\hat{\omega}$ ($\hat{A}, \hat{\varphi}$ 和 $\hat{\omega}$ 分别为 $a(n), \varphi$ 和 ω 的估计值)。

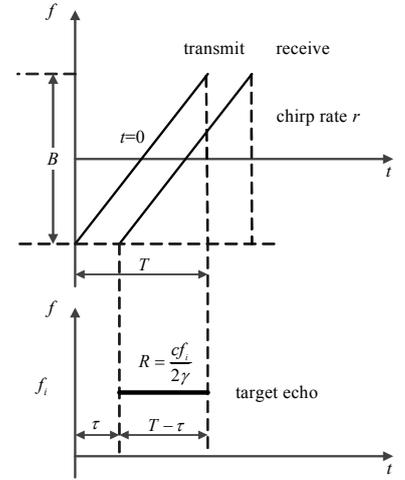


Fig.1 Terahertz radar dechirp processing
图1 太赫兹雷达去调频处理

采用曲线拟合的最小二乘法估计信号的幅度和相位^[5]:

$$\begin{cases} \hat{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a(i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{I^2(i) + Q^2(i)} \\ \hat{\phi} = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (2N+1-3i)\phi(i) \\ \hat{\omega} = \frac{6}{N(N^2-1)} \sum_{i=1}^N (2i-N-1)\phi(i) \end{cases} \quad (7)$$

得到信号每一点的幅度误差为:

$$\delta_{\text{amp}}(n) = \hat{A} - a(n) \quad (8)$$

每一点的相位误差为:

$$\delta_{\text{ph}}(n) = (\hat{\omega}n + \hat{\phi}) - \phi(n) \quad (9)$$

试验前, 先利用统计平均法提取系统相位误差和幅度误差。测试方法为: 放置标准反射体作为目标, 雷达正常工作, 累积采集 256 个回波脉冲后, 取平均计算得到系统相位误差和幅度误差作为试验时的补偿参数。

图 2(a)为点目标一维距离像, 由于系统失真严重, 噪声较大, 信号主瓣展宽, 主瓣和第一副瓣已不能区分。图 2(b)是只补偿幅度误差的脉冲压缩波形, 信号质量并未有明显改善。图 2(c)是只补偿相位误差的脉冲压缩波形, 主瓣变窄, 主副瓣分离, 旁瓣降低到 -5.8 dB 以下, 噪声降低。图 2(d)是经过幅相误差补偿的脉冲压缩波形, 旁瓣继续降低至 -7 dB 以下, 噪声进一步减小, 信号质量改善。这证明了本文的误差分析方法和误差补偿方法是正确有效的。

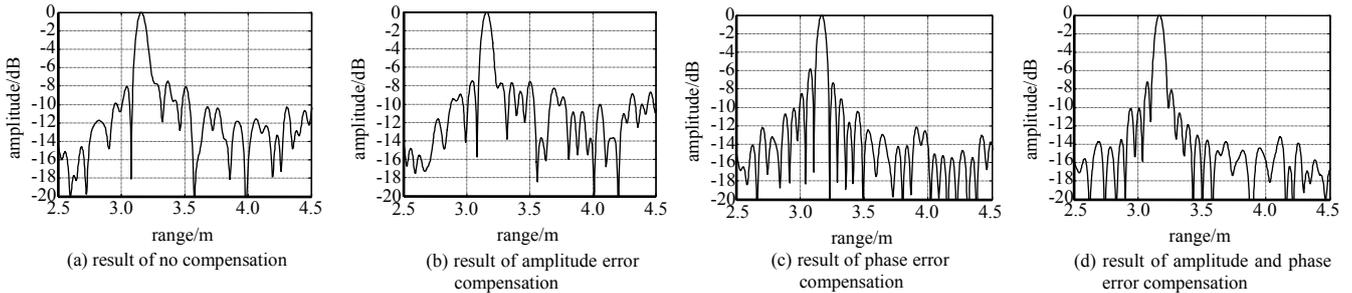


Fig.2 1D range image of point target after compensation
图 2 对点目标进行补偿后的一维距离像

3 固有误差补偿

3.1 测距固有误差分析

近场雷达的参考信号为发射信号的耦合, 有利于收发波形的一致性, 但由于线路和器件的延时, 混频信号与天线端口的发射信号之间有固有延迟, 造成混频输出的中频信号与实际目标反射信号距离有偏差。

图 3 为系统信号到达时间的示意图。由于器件级延时和传输线路延时的影响, 天线发射的信号波形和混频参考信号已存在延时 τ_1 , 当目标到雷达的距离为 R_i 时, 则 $\tau_2 = 2R_i/c$, 天线接收回波到进入混频器时信号延时 τ_3 , 所以, 最终混频时回波信号延时为 $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3$, 即相对于真正的目标回波信号引入了固定延时 $\tau_1 + \tau_3$, 最终检测得到的目标信号距离 R'_i 相应引入了固有误差

$\Delta R = R'_i - R_i = \frac{c(\tau_1 + \tau_3)}{2}$ 。当雷达工作于近场成像时, 由于目标作用距离较近, ΔR 和 R_i 可比拟。

可见, 用检测到的目标信号距离 R'_i 直接进行成像算法处理, 会造成后向投影算法中对 R_n 处提取散射强度值时, 引入了新的相位偏差 $\exp(j4\pi f_c \Delta R/c)$, 导致该点目标不能正确得到不同方位向的数据相关累加和作为该目标的散射强度值, 对成像质量造成较大影响。下面是仿真的点扩散函数(Point Spread Function, PSF)及结果。

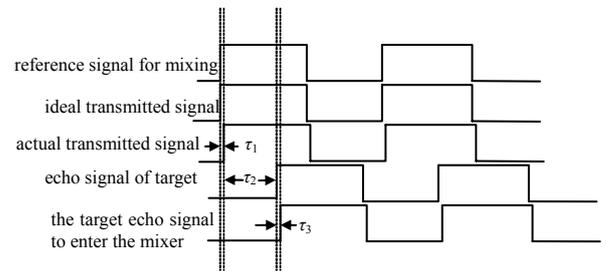


Fig.3 Schematic diagram of system signals arrival time
图3 系统信号到达时间示意图

假设目标点位于距离 2.5 m 处, x 轴为目标到雷达的垂直距离。图 4(a)为没有固有延时的点目标成像等值线图, 目标成像中心在(2.514,0)处, -3 dB 等值线在 x 轴宽度为 0.009 m, 在 y 轴宽度为 0.016 m。图 4(b)为有固有延时的点目标成像等值线图, 当引入 0.1 m 的固有延迟距离时, 目标成像中心在(2.612,0)处, -3 dB 等值线在 x 轴宽度为 0.010 m, 在 y 轴宽度为 0.028 m。可见, 当引入 0.1 m 固有延迟后, 成像距离误差从 0.56% 增加到 41.79%, 成像精确度 x 轴下降 11.11%, y 轴下降 75%。

3.2 补偿方法

为了补偿系统固有延时对成像造成的影响, 首先需测试系统测距固有误差 ΔR 。测试方法为: 将标准反射体放在距雷达天线 R_1 位置处, 雷达工作, 采集混频后得到的中频信号, 做傅里叶变换并计算得到目标距离为 R_2 , 则系统测距固有误差为 $\Delta R = R_2 - R_1$ 。

试验时, 将目标的原始回波数据 $s_i(t, t_m)$ 对快时间进行一维傅里叶变换得到 $S_1(f_i, t_m)$ 数据矩阵, 由于固有误差的存在, 此时得到的 $S_1(f_i, t_m)$ 峰值点位于 $f_i = -\frac{2\gamma}{c}(R_i + \Delta R)$ 处。去除 RVP 项和包络“斜置”项得到 $S_2(f_i, t_m)$ 后, 峰值点仍位于 $f_i = -\frac{2\gamma}{c}(R_i + \Delta R)$ 处。

利用后向投影算法进行目标成像时, 需对重建成像场景的过程进行相应的相位补偿, 目标成像的算法表达式(4)修正为:

$$\sigma = \int_{t_m} S_2(f_i, t_m) \exp\left[j\frac{4\pi f_c}{c}(R_i + \Delta R)\right] dt_m \quad (10)$$

即修改相位乘积因子为 $\exp[j4\pi f_c(R_n + \Delta R)/c]$, 则可实现对不同方位向的数据相干累加, 提取正确的点目标散射强度值。

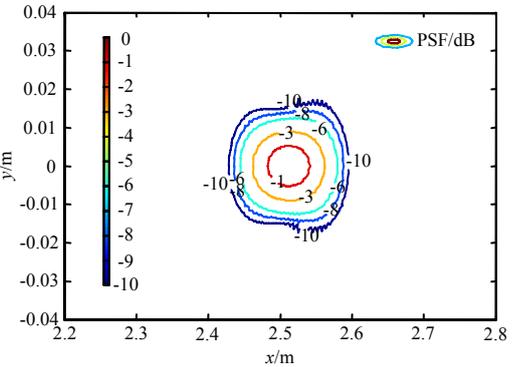
4 成像试验与结果分析

根据图 1 和图 3 的原理设计并研制太赫兹雷达, 利用太赫兹雷达对角反射器进行成像试验, 采集 3 次试验数据并做统计平均, 如图 5 所示, 雷达和试验参数见表 1。

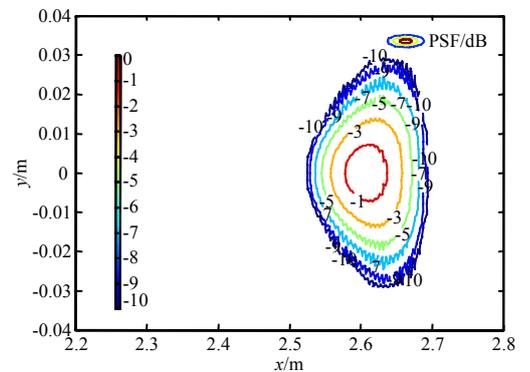
表 1 试验参数

Table 1 Test parameters

parameters	value
carrier frequency/THz	0.12
bandwidth of the pulse/GHz	2.4
pulse width/ μ s	0.8
echo sampling frequency/MHz	450
synthetic aperture length/m	0.4
spatial sampling interval/mm	0.1
RCS of the corner reflector/ m^2	0.05
target centroid/m	(2.479,0.9)



(a) contour map of point target without inherent delay



(b) contour map of point target with inherent delay

Fig.4 Simulation results of point diffusion function
图4 点扩散函数仿真结果



Fig.5 Corner reflector target in a darkroom
图5 暗室中的角反射器目标

图 6 是对试验数据进行失真和固有延时补偿前后的成像对比图。 x 轴方向代表距离维, y 轴表示方位维。图 6(a)为补偿前的目标图像, 星号处为实际目标质心位置, 成像的图像中心位置为(3.070,1.108), 即测量的目标距离为 3.070 m, 测量的目标距离误差为 0.591 m。目标像大小范围为 $0.167 \text{ m} \times 0.237 \text{ m} = 0.039579 \text{ m}^2$ 。 -3 dB 等值线在 x 轴宽度为 0.118 m, 在 y 轴宽度为 0.168 m。

图 6(c)为补偿后的目标图像，星号处为实际目标质心位置，成像的图像与星号部分重合，中心位置为 (2.422,0.822)，即测量的目标距离为 2.422 m，目标的距离测量误差为 0.057 m。目标像大小范围为 $0.141\text{ m} \times 0.065\text{ m} = 0.009165\text{ m}^2$ 。-3 dB 等值线在 x 轴宽度为 0.091 m，在 y 轴宽度为 0.038 m。

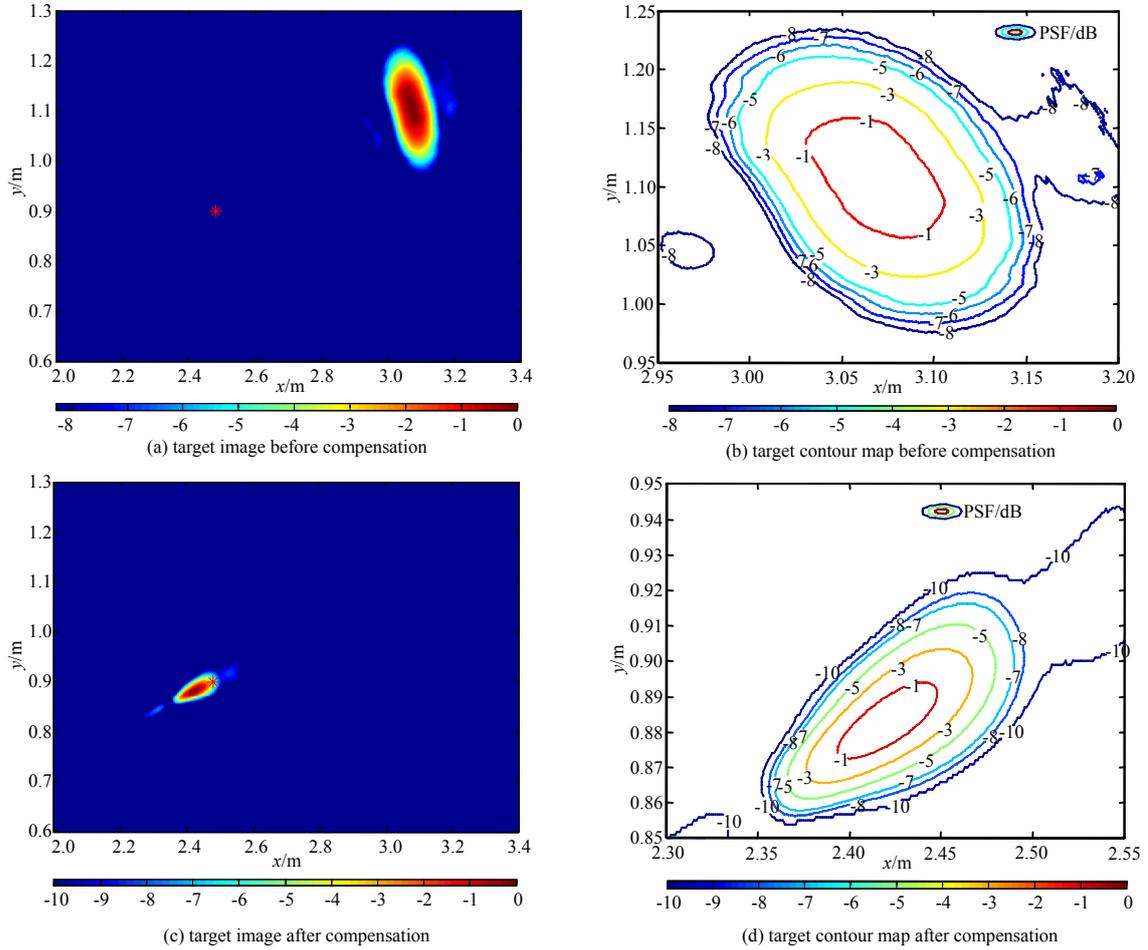


Fig.6 Imaging map of corner reflector

图 6 角反射器成像图

按照上述方法进行 3 次试验采集并分析数据，统计 3 次结果的均值作为最终的测量结果，如表 2 所示。

表 2 三次试验结果

Table2 Results of three trails

times	before compensation			after compensation		
	range error/m	width of the -3 dB equivalent line on the x axis/m	width of the -3 dB equivalent line on the y axis/m	range error/m	width of the -3dB equivalent line on the x axis/m	width of the -3 dB equivalent line on the y axis/m
1	0.591	0.118	0.168	0.057	0.091	0.038
2	0.593	0.115	0.169	0.059	0.093	0.039
3	0.589	0.119	0.167	0.053	0.090	0.041
mean value	0.591	0.117	0.168	0.056	0.091	0.039

经统计，补偿前，测量的目标图像距离误差为 0.591 m，-3 dB 等值线在 x 轴宽度为 0.117 m，在 y 轴宽度为 0.168 m。补偿后，测量的目标图像距离误差为 0.056 m，-3 dB 等值线在 x 轴宽度为 0.091 m，在 y 轴宽度为 0.039 m。可见，补偿后目标图像位置误差从 23.84%降低到 2.25%，距离维成像分辨率提高了 22.22%，方位维成像分辨率提高了 76.78%。补偿后的图像空间分辨率更高，图像更清晰，质量更高。

5 结论

由于太赫兹成像雷达近场探测时系统失真会降低信号质量，系统固有延时造成目标的距离测量固有误差较大，二者均影响了目标的成像质量。因此，针对系统失真和固有延时，本文分别提出了最小二乘法估计的幅相

误差补偿方法和固有延时校正方法, 补偿后的一维距离像主瓣变窄, 副瓣降低 7 dB, 距离测量误差降低至 2.25%, 距离维和方位维成像精确度分别提高了 22.22%和 76.78%。暗室实测的成像结果表明, 用该方法对系统进行补偿后能有效提高图像的空间分辨力, 得到更清晰的目标图像, 提高了图像质量。

参考文献:

- [1] 雷利华,马冠一,蔡晓静,等. 基于 Chebyshev 映射的混沌序列研究[J]. 计算机工程, 2009,35(24):4-6. (LEI Lihua,MA Guanyi,CAI Xiaojing,et al. Study of chaotic sequence based on Chebyshev mapping[J]. Computer Engineering, 2009,35(24):4-6.)
- [2] 蔡英武,杨陈,曾耿华,等. 太赫兹极高分辨力雷达成像试验研究[J]. 强激光与粒子束, 2012,24(1):7-9. (CAI Yingwu, YANG Chen,ZENG Genghua,et al. Experimental research on high resolution terahertz radar imaging[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2012,24(1):7-9.)
- [3] 李晋. 太赫兹雷达系统总体与信号处理方法研究[D]. 成都:电子科技大学, 2010. (LI Jin. Research on terahertz radar system and its signal processing[D]. Chengdu,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2010.)
- [4] 梁美彦,邓朝,张存林. 太赫兹雷达成像技术[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013,11(2):189-198. (LIANG Meiyang, DENG Chao,ZHANG Cunlin. THz radar imaging technology[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013,11(2):189-198.)
- [5] 王新柯. 太赫兹实时成像中关键技术的研究与改进[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2011. (WANG Xinke. Studies and improvement of key techniques in THz real-time imaging[D]. Harbin,China:Harbin Institute of Technology, 2011.)
- [6] 张野,邓彬,秦玉亮,等. 近程目标太赫兹全息成像算法及仿真[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2016,14(4):513-519. (ZHANG Ye,DENG Bin,QIN Yuliang,et al. Terahertz holographic imaging algorithm and simulation for short-distance target[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2016,14(4):513-519.)
- [7] 邓楚强,李崇谊,刘振华,等. 太赫兹合成孔径雷达的运动补偿[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015,13(4):550-555. (DENG Chuqiang,LI Chongyi,LIU Zhenhua,et al. Motion compensation of the terahertz synthetic aperture radar[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2015,13(4):550-555.)
- [8] 高广坦,李明,龙伟军. 宽带 LFM 信号距离像补偿技术研究[J]. 现代雷达, 2005,27(11):51-53,74. (GAO Guangtan,LI Ming,LONG Weijun. A study on compensation of range image of wideband LFM signal[J]. Modern Radar, 2005,27(11):51-53,74.)
- [9] 张彪. 太赫兹雷达成像算法研究[D]. 成都:电子科技大学, 2015. (ZHANG Biao. Research on imaging algorithms of terahertz radar[D]. Chengdu,China: University of Electronic Science and Technology of China, 2015.)
- [10] 李海英,杨汝良. 去斜率线性调频合成孔径雷达成像研究[J]. 现代雷达, 2003,25(3):8-10,39. (LI Haiying,YANG Ruliang. SAR imaging based on dechirp processing[J]. Modern Radar, 2003,25(3):8-10,39.)
- [11] 保铮,邢孟道,王彤. 雷达成像技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2005:24-30. (BAO Zheng,XING Mengdao,WANG Tong. Radar imaging technology[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2005:24-30.)
- [12] 魏明贵,梁达川,谷建强,等. 太赫兹时域雷达成像研究[J]. 雷达学报, 2015,4(2):222-229. (WEI Mingui,LIANG Dachuan,GU Jianqiang,et al. Terahertz radar imaging based on time-domain spectroscopy[J]. Journal of Radars, 2015,4(2):222-229.)
- [13] 卢铮,李超,方广有. 调频连续波太赫兹雷达方案研究及系统验证[J]. 电子测量技术, 2015,38(8):58-63. (LU Zheng, LI Chao,FANG Guangyou. Scheme research and system verification of the terahertz LFMCW radar[J]. Electronic Measurement Technology, 2015,38(8):58-63.)
- [14] 蒋俊,梁影,韩永金,等. 高分辨率的太赫兹 ISAR 成像[J]. 制导与引信, 2014,35(3):27-31. (JIANG Jun,LIANG Ying, HAN Yongjin,et al. High resolution imaging of terahertz ISAR[J]. Guidance and Fuze, 2014,35(3):27-31.)
- [15] DEMIRCI S,CETINKAYA H,YIGIT E,et al. A study on millimeter-wave imaging of concealed object:application using back-projection algorithm[J]. Progress in Electromagnetics Research, 2012,128:457-477.
- [16] 陆必应,梁甸农. 大时带积线性调频信号源幅相误差分析与校正[J]. 现代雷达, 2004,26(10):38-40,60. (LU Biying, LIANG Diannong. Analysis and calibration of the amplitude and phase errors in high time bandwidth product LFM signal generators[J]. Modern Radar, 2004,26(10):38-40,60.)
- [17] 刘磊,周峰,陶明亮,等. 太赫兹逆合成孔径雷达相位误差分析和补偿方法[J]. 强激光与粒子束, 2013,25(6):1469-1474. (LIU Lei,ZHOU Feng,TAO Mingliang,et al. Phase error analysis and compensation method for terahertz inverse synthetic aperture radar[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2013,25(6):1469-1474.)
- [18] COOPER K B,DENGLER R J,THOMAS B,et al. THz imaging radar for standoff personnel screening[J]. IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, 2011,1(1):169-182.

- [19] 成彬彬,江舸,陈鹏,等. 0.67 THz 高分辨力成像雷达[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013,11(1):7-11. (CHENG Binbin,JIANG Ge,CHEN Peng,et al. 0.67 THz high resolution imaging radar[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013,11(1):7-11.)

作者简介:



陈小霞(1987-), 女, 重庆市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为无线电雷达信号处理.
email:chen20050552@126.com.

李玉钊(1979-), 男, 石家庄市人, 在读博士研究生, 研究员, 主要研究方向为防空导弹引信.

安建波(1976-), 男, 山西省原平市人, 硕士, 研究员, 主要研究方向为无线电和光学雷达信号处理.

朱建平(1981-), 男, 江苏省盐城市人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为无线电和光学雷达信号处理.

程思敏(1989-), 女, 哈尔滨市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为无线电雷达信号处理.

张伟(1989-), 男, 济南市人, 博士, 工程师, 主要研究方向为激光信号处理.

中国电子学会电路与系统分会“第三十届学术年会” 暨“首届电路与系统周”征文通知

中国电子学会电路与系统分会“第三十届学术年会”暨“首届电路与系统周”将于 2019 年 10 月 18-22 日在北京大学召开。会议由中国电子学会电路与系统分会主办, 北京大学承办。首届电路与系统周会议主题包括电路与系统理论与技术、大规模集成电路设计与制造技术、神经网络、图论与系统优化、生物计算与生物信息处理、混沌与非线性电路等, 设置特邀报告、主题报告和专题报告。我们诚征电路与系统及相关领域最新研究进展的学术论文(中英文均可)。会议征文内容及投稿如下:

一、征文范围

会议征文方向主要包括(但不限于)以下主题:

1. 电路与系统理论与技术
2. 大规模集成电路设计与制造技术
3. 图论与系统优化
4. 生物计算与生物信息处理
5. 混沌与非线性电路
6. 传感器、无线传感网和物联网
7. 信号与信息处理系统

二、征文要求

1. 投稿须是未曾在国内外公开发表过的文章, 无弄虚作假, 无一稿多投, 不涉及国家秘密。
2. 投稿论文中英文均可。投稿首页请附作者信息页(包括题目、作者姓名、作者单位、摘要、关键词、正文、参考文献)。中文论文请包括英文题目、作者、作者单位、摘要和关键词; 英文论文请附上中文题目、作者、作者单位、摘要和关键词。论文摘要应包括目的、方法、结果、结论四部分。
3. 会议论文格式请参照会议网站上的附件-《论文模板》。

三、论文提交

采用中科院国际会议服务平台<http://cscas30.csp.escience.cn>投稿。登录网站后请先注册, 后投稿。也可以将论文发送到邮箱cscas@mail.ie.ac.cn, 注明电路与系统周论文投稿。

四、重要日期

论文投稿截止日期: 2019 年 8 月 31 日
论文正稿提交日期: 2019 年 10 月 8 日

论文录用通知日期: 2019 年 9 月 20 日