



论 文

短基线前向散射雷达系统运动目标分辨率分析

胡程*, 龙腾

北京理工大学信息与电子学院雷达技术研究所, 北京 100081

* 通信作者. E-mail: cchchb@gmail.com

收稿日期: 2012-10-19; 接受日期: 2013-03-26

国家自然科学基金项目 (批准号: 61172177) 资助

摘要 针对短基线前向散射雷达系统特性, 基于阴影逆合成孔径原理和模糊函数, 分别推导了系统沿基线方向和垂直基线方向运动目标的分辨率, 解析得到了系统分辨率计算公式; 发现垂直基线方向分辨率正比于波长, 并首次验证了前向散射雷达沿基线方向分辨目标的可能性; 最后利用实测数据验证了沿基线方向和垂直基线方向分辨率分析的正确性.

关键词 短基线 前向散射雷达 阴影逆合成孔径 运动目标 分辨率

1 引言

前向散射雷达(forward scatter radar, FSR)系统是双基地角度接近 180 度的双基地雷达系统^[1~4], 其系统结构如图 1 所示^[4]. 双基地雷达系统的许多特性依赖于双基地角度的大小, 前向散射区是指双基地角在 135 ~ 180 度之间的区域, 该区域的目标雷达截面积 (radar cross section, RCS) 迅速增强, 比单基地 RCS 一般大十几到几十 dB 左右, 且不依赖于目标的材料和形状, 从而使得隐身技术在前向散射区域完全失效.

空间分辨率是衡量雷达系统性能非常重要的一个指标, 定义为系统能够辨别某一方向上两个大小相等点目标之间的最小可区分距离^[1]. 前向散射雷达作为一种非常特殊的双基地雷达系统, 在距离方向由于双基地角度因子的调制, 使得此系统在距离方向 (沿基线方向) 的分辨能力丧失^[4], 但是对于穿越基线 (垂直基线) 区域的运动目标, 由于目标相对收发平台的相对转动, 可以利用阴影逆合成孔径原理 (shadow inverse synthetic aperture radar, SISAR) 对目标形成高分辨, 在方位方向具有一定的分辨能力^[5,6].

目前对前向散射雷达的研究主要集中在空中运动目标检测、跟踪与识别^[5~12]及地面运动目标的检测、跟踪与识别^[13~22]. 对于用于空中运动目标检测的 FSR 系统, 由于系统基线长, 目标速度大, 其距离向 (沿基线方向) 的分辨能力只取决于距离向带宽和双基地几何因子, 因此在前向散射区域距离分辨率能力几乎丢失. 对于用于地面运动目标检测的 FSR 系统, 由于系统基线短^[18~22], 使得系统在参数估计方面需要采用与空中目标完全不同的方法^[17,21,22], 从而使得在距离方向 (沿基线方向) 也不是传统的无距离分辨能力, 而是具有了一定的距离方向分辨能力; 并且由于系统本身的特殊性, 其方位方向的分辨能力与传统的逆合成孔径原理得到的分辨率也有较大的差异.

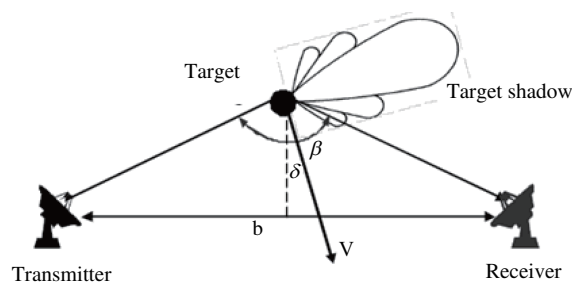


图 1 FSR 系统结构

Figure 1 Topology of FSR system

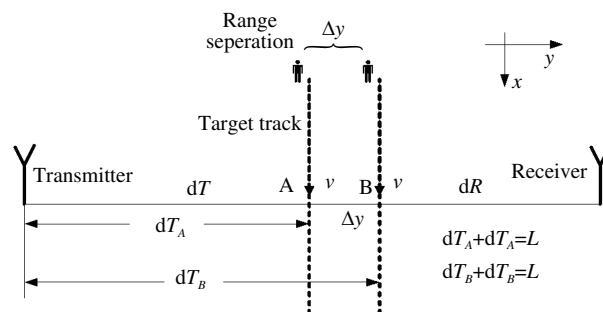


图 2 两运动目标平行轨迹穿越基线不同位置的几何结构

Figure 2 Baseline crossing points of parallel tracks of two moving targets

本文将在传统的逆合成孔径原理基础上对地面运动目标的方位分辨能力进行推导分析, 并就实际情况中同样大小编队行进的目标之间的分辨能力进行研究, 并给出实测数据的处理结果; 同时结合模糊函数的概念和前向散射雷达地面运动目标参数联合估计方法, 对距离方向的分辨能力进行推导分析; 最后通过仿真数据和实测数据的处理对地面运动目标的分辨能力进行了验证。

2 运动目标沿基线方向分辨率分析

当目标与发射机及接收机之间的夹角等于 180° 度, 也即目标处于前向散射基线时, 距离向 (沿基线方向) 分辨率丢失. 此种情况下的分辨率分析是基于回波信号延迟差测量得到的; 而如果目标运动, 利用目标在一段持续时间里面的多普勒信号差异, 就能获得目标在距离上的分辨. 其原理是利用目标在不同穿越位置点的多普勒信号差异, 同理对于多个平行轨迹穿越不同基线位置的目标, 利用相同的原理可以得到不同目标的穿越位置, 实现对不同目标在距离方向的分辨。

图 2 中, 目标 A 穿越基线位置点为 A, 目标 B 穿越基线点位置为 B, A 点到发射机和接收机的距离分别为 dT_A 和 dR_A ; B 点到发射机和接收机的距离分别为 dT_B 和 dR_B ; A 点和 B 点在基线上的距离间隔为 Δy . 发射机到接收机之间的基线距离为 L , 两目标以相同的速度 v 垂直穿越基线, 运动轨迹为直线模型。

从时域上无法在距离向直接分辨两个目标, 但可以借助目标之间的多普勒差异或其它信号特征方面的差异来对目标进行分辨. 在距离向上间距 Δy 的两个目标, 两者之间在调频斜率上存在微小的差

异, 在一段持续的积累时间里面. 两者之间的多普勒频率也会产生足够的差异, 此差异就是获取目标距离向分辨率的关键.

对系统分辨能力进行描述最常见的分析工具就是模糊函数, 根据模糊函数的定义有

$$\chi(dT_A, dT_B) = \int S_A(t, dT_A) S_B^*(t, dT_B) dt, \quad (1)$$

其中 $S_A(t, dT_A)$ 为接收机对目标 A 的接收信号, $S_B(t, dT_A)$ 为接收机对目标 B 的接收信号, 由文献 [20] 的目标信号模型. 目标 A 的回波信号可简化为

$$S_A(t) = M_A(*) \exp\{j2\pi f_{dA} t\}, \quad (2)$$

其中 $M_A(*)$ 为目标 A 的包络信号, f_{dA} 为目标 A 相对发射机和接收机的多普勒频率, 包络信号为慢变信号, 多普勒信号为快变信号; 对目标 B 而言其信号表示类似. 根据图 2 的几何关系. 目标 A 和目标 B 的多普勒信号可以表示为

$$f_{dA} = -\frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{\sqrt{dT_A^2 + v^2 t^2}} - \frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{\sqrt{(L - dT_A)^2 + v^2 t^2}}, \quad (3)$$

$$f_{dB} = -\frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{\sqrt{dT_B^2 + v^2 t^2}} - \frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{\sqrt{(L - dT_B)^2 + v^2 t^2}}. \quad (4)$$

由于目标运动信号的观测角度有限 (前向散射区域角度在 180 度附近), 下面的近似条件成立 $dT_A \gg vt$, $dT_B \gg vt$, $L - dT_A \gg vt$, $L - dT_B \gg vt$, 对公式 (3) 和公式 (4) 进行泰勒展开, 多普勒频率可以近似的表示为

$$f_{dA} = -\frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{dT_A} - \frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{(L - dT_A)} = -\frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{(1 - dT_A/L) dT_A}, \quad (5)$$

$$f_{dB} = -\frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{dT_B} - \frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{(L - dT_B)} = -\frac{1}{\lambda} \frac{v^2 t}{(1 - dT_B/L) dT_B}. \quad (6)$$

根据公式 (1) 中模糊函数的定义. 模糊函数可以进一步写为

$$\begin{aligned} \chi(dT_A, dT_B) &= \int_{-T_{\text{obs}}/2}^{T_{\text{obs}}/2} [M_A(*) M_B^*(*)] \exp(j2\pi(f_{dA} - f_{dB})t) dt \\ &\approx \int_{-T_{\text{obs}}/2}^{T_{\text{obs}}/2} [M_A(*) M_A^*(*)] \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\Delta y (2dT_A/L + \Delta y/L - 1)}{(1 - dT_A/L)(1 - dT_A/L - \Delta y/L)} \frac{v^2}{dT_A(dT_A + \Delta y)} t^2\right) dt. \end{aligned} \quad (7)$$

在公式 (7) 中, 由于目标 A 和目标 B 相距分辨单元的距离, 所以目标幅度的差异可以忽略不计, 近似用目标 A 的幅度信号代替目标 B 的幅度信号. T_{obs} 为目标的观测时间, 观测时间里面目标的幅度信号衰减有限, 起着窗函数的作用, 但是对上述积分主瓣扩展的影响有限, 因此在公式 (7) 中可视为常数, 经过代数化简和变量代换, 公式 (7) 可以重写为

$$\chi(dT_A, dT_B) = \sqrt{\frac{\pi}{k \cdot v^2}} \int_{-X_1}^{X_2} M^2 \exp\left(j \frac{\pi}{2} x^2\right) dx, \quad (8)$$

其中积分上下限为

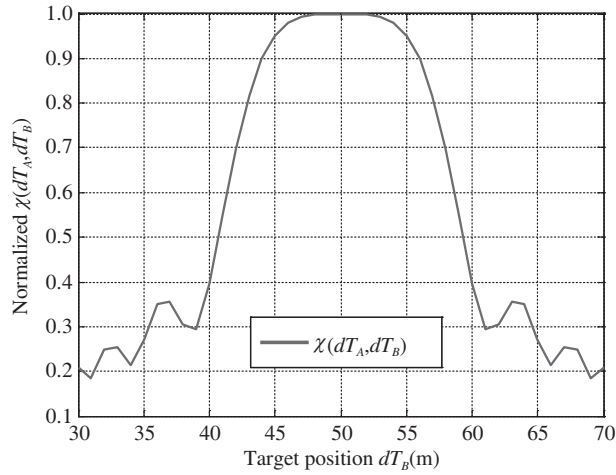


图 3 式 (11) 的模糊函数输出结果

Figure 3 Ambiguity function in Eq. (11)

$$X_1 = \sqrt{\frac{k}{\pi}} \cdot \frac{vT_{\text{obs}}}{2} = \sqrt{\frac{k}{\pi}} \cdot \frac{L \cdot \tan(\alpha_h/2)}{2}, \quad (9)$$

$$X_2 = \sqrt{\frac{k}{\pi}} \cdot \frac{vT_{\text{obs}}}{2} = \sqrt{\frac{k}{\pi}} \cdot \frac{L \cdot \tan(\alpha_h/2)}{2},$$

$$k = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\Delta y (2dT_A/L + \Delta y/L - 1)}{(1 - dT_A/L)(1 - dT_A/L - \Delta y/L)} \frac{1}{dT_A(dT_A + \Delta y)}, \quad (10)$$

其中 α_h 为目标的有效观测角度, 根据菲涅尔积分公式, 公式 (8) 可以进一步简化为

$$\chi(dT_A, dT_B = dT_A + \Delta y) = M^2 \sqrt{\frac{\pi}{k \cdot v^2}} \{C(X_1) + jS(X_1) + C(X_2) + jS(X_2)\}, \quad (11)$$

其中

$$C(X) = \int_0^X \cos\left(\frac{\pi y^2}{2}\right) dy \quad S(X) = \int_0^X \sin\left(\frac{\pi y^2}{2}\right) dy. \quad (12)$$

从特殊函数列表, 公式 (12) 的数值解可以查到, 每个相应的隔离度 Δy 处都能计算得到模糊函数的输出, 从而确定分辨能力的大小; 由于菲涅尔积分的存在, 模糊函数主瓣宽度的公式无法解析的获得, 只能通过数值的方法求解.

假设基线 L 长度为 100 m, 目标穿越位置 dT_A 为 50 m, 载波频率为 151 MHz, 有效观测角度为 30 度 (目标运动产生的相对于发射机的转角大小), 目标 B 的穿越位置为 dT_B , 基于公式 (11) 不同的穿越位置 dT_B 对应的模糊函数仿真输出结果如图 3.

图 3 中模糊函数主瓣宽度非常大, 这是因为参考目标处于基线中点的原因, 当参考目标越偏离基线中点, 其模糊函数越尖锐, 主瓣宽度越窄. 但不管主瓣宽度如何, 至少表明了具有在基线方向分辨目标的潜力, 这在以前是没有相关文献提到过的.

3 运动目标垂直基线方向分辨率分析

在前向散射区域收发平台静止, 目标垂直穿越基线区域, 形成逆合成孔径从而获取垂直基线方向 (方位方向) 的分辨能力, 其系统几何结构示意图如图 4.

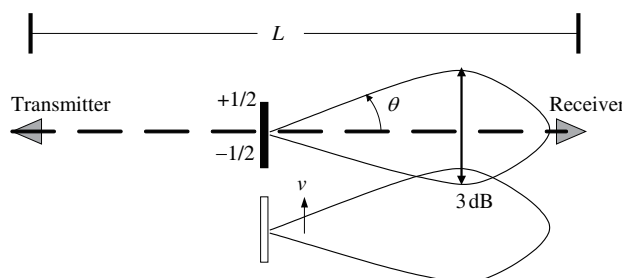


图 4 前向散射区域目标运动几何结构图

Figure 4 Geometry of target motion in forward scattering region

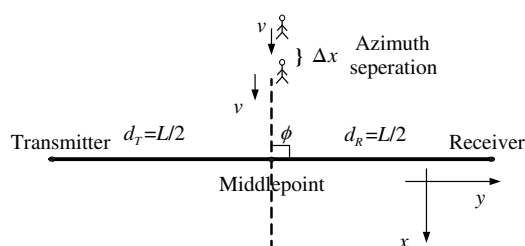


图 5 相同大小两目标隔离度

Figure 5 Azimuth separation of two moving targets with the same size

图 4 中 L 为收发平台之间的基线长度, 目标的长度为 l , 在前向散射区域, 目标本身可以等效于一个辐射源, 其辐射天线方向图与具有相同目标轮廓的天线的辐射天线方向图是一致的, 假设有效的观测区域局限在天线的 -3 dB 宽度里面, 运动目标的多普勒信号带宽近似为

$$B_d \approx \frac{4v^2}{\lambda L} \cdot \frac{\lambda}{2l} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{v} = \frac{v}{l}. \quad (13)$$

在目标辐射方向图 -3 dB 宽度里面, 运动目标的多普勒信号只取决于目标的运动速度和目标的长度, 而与基线长度没有关系. 根据公式 (13), 不难得到目标的方位方向分辨率大小可以近似表示为

$$\Delta x_{\text{res}} \approx v \cdot \frac{1}{B_d} = l. \quad (14)$$

上式表明运动目标的方位方向分辨率等于目标长度, 只与目标本身的特性参数有关, 而与系统参数无关. 但是公式 (14) 暗含着在 -3 dB 天线方向图宽度里面目标多普勒信号的时间带宽积足够大, 从图 4 中目标多普勒信号的时间带宽积可以表示为

$$\text{TBP} \approx \frac{v}{l} \cdot \frac{\lambda}{2l} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{v} = \frac{\lambda L}{4l^2}. \quad (15)$$

时宽带宽积正比于发射信号波长和基线长度的乘积, 反比于目标长度的平方.

对于短基线前向散射雷达系统, 短的基线长度和大的目标尺寸使得大多数情况下目标的时间带宽积非常小 (10 左右的量级), 也即目标信号经过压缩之后有着非常高的旁瓣, 对相邻目标的压缩主瓣有着非常明显的影响, 因此公式 (14) 在此应用有着一定的限制, 应当考虑实际两个大小相同的目标以一定的隔离度穿越基线时能够被分辨出来, 此时的这个隔离度定义为系统的真实方位分辨率 (垂直基线方向), 其几何结构如图 5 所示.

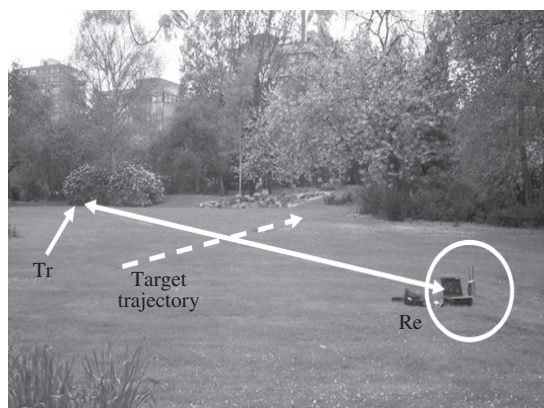


图 6 不同载波频率下的实验场景

Figure 6 Experimental scene in different carrier frequencies

考虑回波信号积累后旁瓣的影响, 因此要分辨方位方向的两个目标, 两目标的隔离度至少要在第一旁瓣之后, 利用 chirp 信号的特性, 并经过仿真和理论分析, 对于低载波频率 (69, 151, 433 MHz 等), 目标的空间隔离度可以表示为

$$\Delta x_{\text{res}} = \frac{5 \cdot k_s}{8 \cdot \tan \alpha_h} \cdot \lambda, \quad (16)$$

其中 k_s 为由于目标回波幅度信号加权引入的主瓣扩展因子, 不同的载波频率扩展因子不同, 但是都非常接近 1, 仿真得到在 69 MHz 载波频率下扩展因子约为 1.16. 151 MHz 载波频率下扩展因子为 1.12. 在目标水平观测角度 α_h 等于 30 度. 目标的分辨率可以表示为

$$\Delta x_{\text{res}} \approx 1.08\lambda \approx \lambda. \quad (17)$$

公式 (17) 表明对于实际的目标, 其能够在方位方向分辨的空间隔离度为波长的长度, 即不依赖系统结构参数, 也不依赖于目标参数, 当然这只是对于低载波频率的情况; 对于高载波频率的情况, 在长基线情况下时间带宽积可以满足低旁瓣要求, 方位向分辨率可以使用公式 (14). 对于短基线前向散射雷达当水平观测角度等于 30 度时, 69 MHz 载波频率和 151 MHz 载波频率相对应的目标分辨率应当使用公式 (17).

4 实验与仿真验证

a) 沿基线方向分辨率仿真与实验验证.

为了对沿基线方向分辨率的理论分析进行实验验证, 实验采用的基线长度为 50 m, 载波频率为 151 MHz, 目标分别垂直基线中点穿越基线和目标偏离基线中点穿越基线, 实验场景和实验参数如图 6 所示:

在分辨率实验验证中, 实验场景是大学的体育场, 场景非常空旷, 树和建筑物离发射机和接收机较远, 此时杂波信号功率较小, 对目标信号的干扰较小, 便于理论模型仿真得到的信号与实测信号进行对比. 实验频率是 151, 433 和 869 MHz. 为了保证对静止杂波的有效抑制. 接收机中设有一个高通滤波器 (截止频率 0.1 Hz) 用来滤除杂波, 一个低通滤波器 (截止频率 20 Hz) 用来减少噪声. 实验数据的处理结果如图 7.

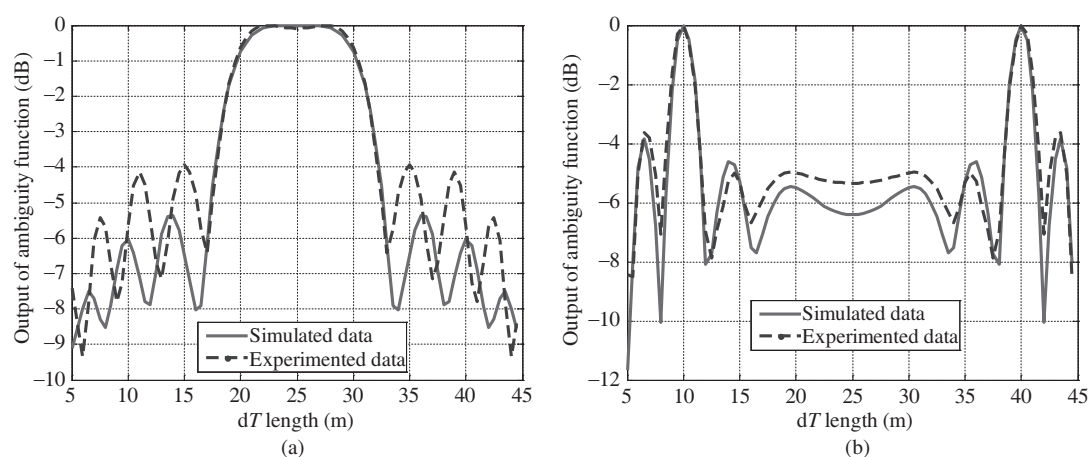


图 7 实验信号与仿真信号各自的距离向模糊函数输出 (151 MHz 载波频率)

Figure 7 Ambiguity functions in range direction of experimental and simulated data (carrier frequency 151 MHz). (a) $dT_A/L = 0.5$; (b) $dT_A/L = 0.2$

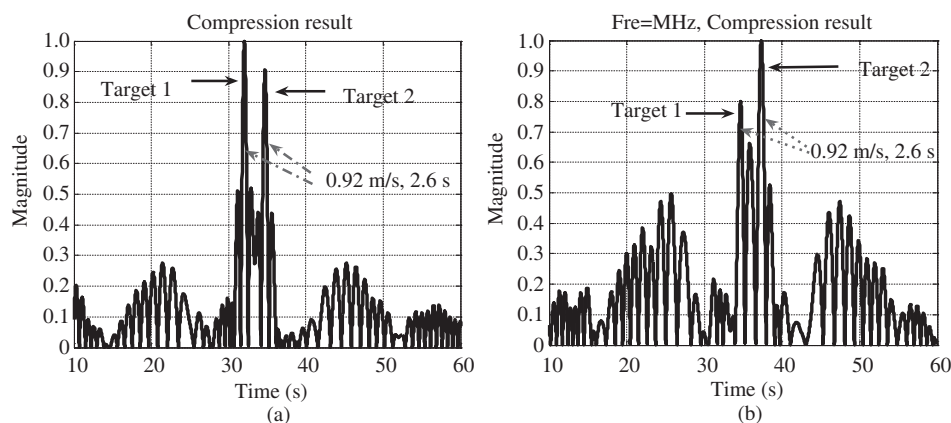


图 8 151 MHz 载波频率编队运动目标处理结果

Figure 8 Processing results of convoy moving targets in carrier frequency 151 MHz. (a) Compression result of simulated signal; (b) compression result of experimental signal

151 MHz 载波频率下实验信号和仿真信号的处理结果非常接近, 其距离向模糊函数 -3 dB 宽度与数值仿真计算得到的结果也非常匹配, 验证了距离向分辨率计算结果的正确性. 从上面的仿真结果和实测数据处理结果, 对于距离向模糊函数的 -3 dB 宽度 (也即距离向的分辨率大小), 可以得到如下的结论:

固定的基线长度下, 同样的载波频率情况, 参考目标穿越位置越接近发射机或者接收机, 距离向分辨率越好, 因为多普勒频率变化越敏感;

同样的载波频率情况下, 参考目标穿越位置与基线长度的比值固定 (即 dT_A/L 不变), 随着基线长度的增加, 距离向模糊函数的 -3 dB 宽度与基线长度的比值变小, 即距离向分辨率变好.

b) 垂直基线方向分辨率仿真与实验验证.

为了验证编队运动目标垂直基线方向分辨率分析的正确性, 对目标进行仿真数据和实测数据的处理验证, 仿真参数与实验参数一致, 基线长度都为 50 m, 目标垂直穿越基线中点, 两个同等大小的目标 (人) 一前一后相隔 2.4 m, 设定水平观测角度为 30° , 其仿真数据和实测数据处理结果如图 8 和图 9.

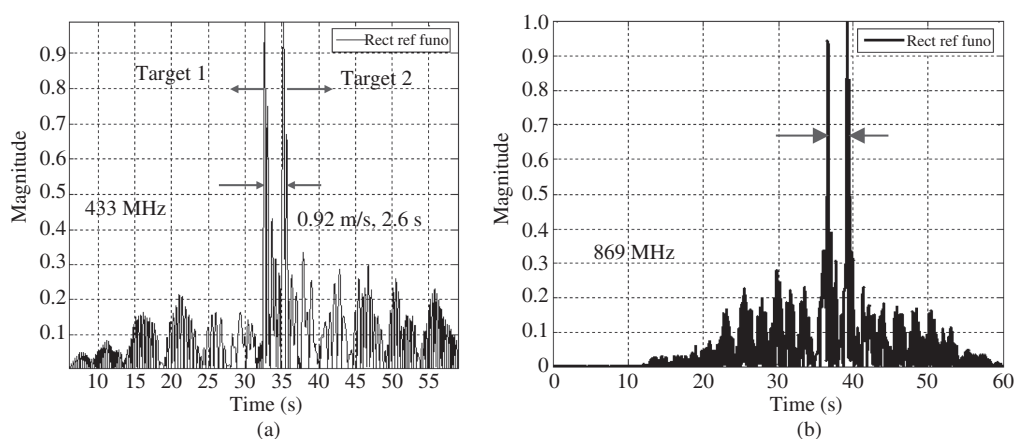


图 9 433 MHz/869 MHz 载波频率编队运动目标处理结果

Figure 9 Processing results of group returns (carrier frequency 433 MHz and 869 MHz). (a) Carrier frequency 433 MHz; (b) carrier frequency 869 MHz

对于 2.4 m 的隔离度, 上述两个载波频率都得到较好的分辨结果, 并且仿真结果与实测数据处理结果也非常接近. 载波频率越高, 在相同的观测角度情况下, 其分辨的性能越好. 对于 151 MHz 载波频率, 在图 8 (b) 中. 尽管隔离度达到了 2.4 m. 但是由于非理想的因素影响, 导致其中间的旁瓣影响较为严重 (比仿真结果稍高); 另外实测数据中两目标大小是有轻微差异的, 导致两目标输出幅度不一样高, 而仿真数据中假设两目标是同样的尺寸, 这也是造成仿真数据与实测数据有稍许差别的原因.

5 结论

本文针对用于地面运动目标检测的短基线前向散射雷达系统, 分析了沿基线方向和垂直基线方向编队运动目标的分辨率. 分析发现: 当运动目标回波具有大时间带宽积时, 其编队运动目标垂直基线方向分辨率接近目标长度甚至更高; 当运动目标回波为小时间带宽积信号时, 其编队运动目标垂直基线方向分辨率接近发射信号波长量级 (米级). 并且利用运动目标穿越不同基线位置时的多普勒信号特征对运动目标进行分辨, 推导了目标沿基线方向的模糊函数, 获取了编队运动目标沿基线方向的分辨能力. 最后利用实际测量数据验证了沿基线方向和垂直基线方向分辨率分析的正确性.

参考文献

- 1 Skolnik M. RADAR Handbook. 3rd ed. New York: McGraw Hill, 2008
- 2 Willis N J. Bistatic Radar. MA: Artech House, Inc., 1991
- 3 Chernyak V S. Fundamentals of multisite radar systems: multistatic radars and multiradar systems. Gordon and Breach Science Publishers, 1998
- 4 Cherniakov M. Bistatic radar: principles and practice. John Wiley&Sons, Ltd., 2007
- 5 Surikov B S, Khasina E A, Chapursky V V. Correlation and spectral functions of one-dimensional radio holograms synthesized at small diffraction angles. Radiotekhnika I Elektronika, 1989. 409–419
- 6 Chapurskiy V V, Sablin V N. SISAR: shadow inverse synthetic aperture radiolocation. In: Proceedings of the Record of the IEEE 2000 International Radar Conference, Alexandria, 2000. 322–328
- 7 Bayat S, Nayeji M M, Norouzi Y. Target detection by passive coherent FM based bistatic radar. In: Proceedings of IEEE International Radar Conference, Adelaide, 2008. 412–415

- 8 Blyakhman A B, Ryndyk A G, Sidorov S B. Forward scattering radar moving object coordinate measurement. In: Proceedings of the Record of the IEEE 2000 International Radar Conference, Alexandria, 2000. 678–782
- 9 Gould D M, Orton R S, Pollard R J E. Forward scatter radar detection. In: Proceedings of RADAR 2002, Edinburgh, 2002. 36–40
- 10 Blyakhman A B, Myakinkov A V, Ryndyk A G. Tracking algorithm for three-dimensional bistatic forward scattering radar with weighting of primary measurements. In: Proceedings of European Radar Conference, Paris, 2005. 153–156
- 11 Myakinkov A V, Ryndyk A G. Space-time processing in three-dimensional forward scattering radar. In: Proceedings of 4th International Conference on Antenna Theory and Techniques, 2003. 355–358
- 12 Myakinkov A V, Ryndyk A G. Active noise interference compensation in forward-scattering radar with array. In: Proceedings of 6th International Conference on Antenna Theory and Technique, 2007. 415–417
- 13 Cherniakov M, Abdullah R S A R, Jancovic P, et al. Automatic ground target classification using forward scattering radar. IEE P-Radar Son Nav, 2006, 153: 427–437
- 14 Cherniakov M, Salous M, Abdullah R, et al. Forward scattering radar for ground targets detection and recognition. In: Proceedings of 2nd EMRS DTC Technical Conference, Edinburgh, 2005. A14–A19
- 15 Sizov V, Cherniakov M, Antoniou M. Forward scattering radar power budget analysis for ground targets. IET Radar, Son Nav, 2007, 1. 437–446
- 16 Zeng T, Li X L, Hu C, et al. Investigation on accurate signal modeling and imaging of ground moving target in forward scattering radar. IET Radar Son Nav, 2011, 5: 862–870
- 17 Hu C, Sizov V, Cherniakov M, et al. Optimal signal processing in ground-based forward scatter micro radars. IEEE T Aero Elec Sys, 2012, 48: 3006–3026
- 18 Hu C, Long T, Zeng T. Statistic characteristic analysis of forward scattering surface clutter in bistatic radar. Sci China Ser F-Inf Sci, 2010, 53: 2675–2686
- 19 Long T, Hu C, Zeng T, et al. Physical modeling and spectrum spread analysis of surface clutter in forward scattering radar. Sci China Ser F-Inf Sci, 2010, 53: 2310–2322
- 20 Long T, Hu C, Mikhail C. Ground moving target signal model and power calculation in forward scattering micro radar. Sci China Ser F-Inf Sci, 2009, 52: 1704–1714
- 21 Hu C, Long T, Mikhail C. Forward scattering micro radars for situation awareness. In: Proceedings of the 2nd Asia-Pacific SAR Conference, Xi'an, 2009. 1–4
- 22 Hu C, Li X L, Mike C, et al. Analysis of signal characteristic and resolution in ground forward scattering radar. In: Proceedings of ICSP, 2010. 1969–1972

Resolution analysis of moving target in short baseline forward scatter radar

HU Cheng* & LONG Teng

Radar Research Lab, School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

*E-mail: cchchb@gmail.com

Abstract According to the system characteristic of short baseline forward scatter radar (FSR), using the principle of shadow inverse synthetic aperture radar and ambiguity function, the resolution along baseline direction and crossing baseline direction are derived and analytically obtained. It is found that the resolution of crossing baseline direction is proportional to signal wavelength, furthermore, the resolution possibility along baseline direction is demonstrated at first time. Finally, the correctness of resolution analysis is verified via the experimental data.

Keywords short baseline, forward scatter radar, shadow inverse synthetic aperture, moving target, resolution



HU Cheng was born in Hunan, China. He received the B.S. degree in electronic engineering from the National University of Defense Technology, Changsha, China, in 2003 and Ph.D. degree in target detection and recognition from the Beijing Institute of Technology, Beijing, China, in 2009. From March 2006 to June 2007, he was a Research Associate with the Microwave Integrate System Laboratory, University of Birmingham, Birmingham, U.K. Since 2012, he has been an associate professor with the School of Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology. He has published around 20 journal papers and over 40 conference papers, and applied over 20 patents. His research interests include the geosynchronous SAR imaging processing, bistatic SAR imaging processing, forward scatter radar signal processing.



LONG Teng (M'99) received the B.S. degree in electronic engineering from the University of Science and Technology of China, Hefei, China, in 1989 and the M.S. and Ph.D. degrees in electrical engineering from the Beijing Institute of Technology (BIT), Beijing, China, in 1991 and 1995, respectively. From January 1999 to August 1999, he was a Visiting Associate Professor with the Department of Electrical Engineering, Stanford University, Stanford, CA. From March to September 2002, he was a Visiting Scholar with the Department of Electric Engineering, London University, London, U.K. Since September 2000, he has been a Full Professor with the Department of Electronic Engineering and the Director of the Institute of Radar Technology, BIT. His research interests include radar system, array processing, and synthetic aperture radar.