

基于北斗卫星信号的无源雷达可行性研究

范梅梅 廖东平 丁小峰

(国防科技大学空间电子信息技术研究所 湖南长沙 410073)

摘 要: 基于机会辐射源的无源雷达由于其良好的隐蔽性、反隐身能力及抗干扰性,简单的系统结构,低廉的造价等优点,近年来在国内外掀起了新的研究热潮。辐射源的选择是这种无源雷达的关键技术之一。本文首先分析了各种星载辐射源的优缺点,通过对比北斗卫星定位系统与其他卫星导航定位系统,得出基于北斗的无源雷达系统的优势。然后分析了北斗卫星询问信号的最大探测距离并仿真了其单/双站模糊函数,结果表明北斗卫星更适合用于部署在我国境内的无源雷达的机会辐射源。

关键词: 无源雷达; 星载辐射源; 北斗卫星定位系统; 模糊函数

中图分类号: TN958.97 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2010)04-0631-06

Feasibility Research of Passive Radar Based on Beidou Navigation and Position System

FAN Mei-mei LIAO Dong-ping DING Xiao-feng

(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, 410073)

Abstract: Interest in passive radar has risen up in recent years for the following advantages of this kind of radar, such as cover ability, anti-stealth, anti-jamming capability, simple structure, low cost and so on. Selection of the illuminator is one of the critical technologies. First, the advantages and disadvantages of various of spaceborne illuminator was discussed, and the superiority of Beidou illuminator was attained by comparing Beidou and other GNSS. And then the detection ability and the single/bistatic ambiguity were analyzed. The result shows that Beidou satellites are more suitable as opportunity illuminators in China.

Key words: passive radar; spaceborne illuminator; Beidou satellite Navigation and Position system; ambiguity function

1 引言

无源雷达本质上属于双(多)基地雷达,具有普通双基地雷达的优点:(1)接收机是被动的,使其不易受到电子对抗措施(ECM)的攻击;(2)具有很强的反隐身能力,是隐身技术的克星;(3)可采用多个接收机,使得雷达有更广阔的覆盖范围和更丰富的信息源,从而能够实现更精确的定位和高分辨成像^[1]。根据探测对象的不同,无源雷达可以分为利用被探测目标自身的辐射进行探测和跟踪和利用外辐射源(机会辐射源)发射的电磁波进行探测和跟踪两大类。而后者最近几年受到了人们的广泛关注,国际著名雷达专家 Peter Swerling 曾指出这种体制的雷达将成为今后 10~20 年内雷

达系统的一个重要发展方向^[2]。

利用机会发射源的无源雷达也称为被动雷达,又具有普通双(多)基地雷达不具有的优点:(1)只需设计雷达接收系统,降低了硬件成本;(2)不需要频率分配,可使用如电视、手机、无线电广播等空间传播的多种电磁信号,延拓了雷达应用的时、空限定;(3)隐身目标是针对雷达频率设计的,其在机会辐射源频率上的隐身效果要差一些,使得被动雷达系统具有更好的反隐身能力。

辐射源的选择是无源雷达系统的关键技术之一。卫星导航系统是近年来研究的比较多的一种机会辐射源,国内外学者对 GPS 等都进行了研究,但出于战时的安全考虑,本文认为研究基于我国的导航卫星的无源

雷达具有深远的意义。文章的第2部分介绍了辐射源选择的原则及目前采用的机会辐射源,重点分析了各种星载辐射源的特点,给出了选择“北斗一号”卫星定位系统作为辐射源的优势;由于辐射源选择主要依据两个因素:最大作用距离和模糊函数,因此本文的第3部分分析了基于北斗卫星信号的无源雷达的最大作用距离,并与基于GPS的无源雷达进行了对比;第4部分分析了使用北斗卫星信号的无源雷达的单/双站模糊函数,给出了计算基于星载辐射源的星地双站模糊函数的公式;第5部分为本文的结论部分。

2 辐射源的选择

关于辐射源的选择,文献[3]给出了一些通用的原则:即(1)辐射源的可用性及辐射功率;(2)辐射源信号的波形特征。条件(1)决定了雷达的覆盖范围和作用距离,条件(2)决定了雷达信号的分辨能力和模糊性能。基于以上原则,可用的机会辐射源包括FM广播信号,移动电话基站,数字音频广播(DAB),电视信号(模拟电视信号、地面数字电视广播(DTV-T)和卫星数字电视广播)^[2],导航卫星信号(GPS、GALIEO和GLONASS)^[4-6],通信卫星信号^[7],雷达信号(星载SAR^[8],敌方预警机信号^[9]等),无线局域网^[10]等。

近年来基于星载辐射源的无源雷达系统受到了广泛关注。一方面,星载辐射源信号主要在自由空间传播,接收天线仰角较高,因此受地杂波及多径干扰影响较小;另一方面,战时不易受到攻击,有较强的抗摧毁能力和战场生存能力。主要的星载辐射源有低轨道地球通信卫星,星载雷达(比如星载SAR)以及全球导航定位服务系统(GNSS)等。

低轨道地球通信卫星作为机会辐射源存在三个问题:(1)系统结构的时变性;(2)发射机在杂波中的运动引起多普勒频移;(3)对固定区域的辐射时间短。其中,前两个问题是所有非地球静止卫星辐射源所共有的问题。星载SAR在信号形式及辐射功率上具有优势,然而同样存在观测时间有限的问题^[7,8]。导航定位服务系统卫星虽然也是非地球静止卫星,但其可以很好地解决时间同步的问题,因而成为一种被人们广泛研究的机会辐射源。文献[11-14]研究了基于GPS的无源雷达系统的可行性及信号处理方法,文献[4-6]研究了基于GPS、GALIEO、GLONASS导航系统的无源雷达成像的问题。然而不管是GPS还是GLONASS,都不是我国自己的导航系统,在战时不能保证这些系统的可用性,因此本文研究基于北斗卫星导航定位系统的

无源雷达系统可行性。

北斗一号导航定位系统由三颗地球静止卫星组成(其中一颗是备份星),分别位于东经140°,110.5°和80°,其导航和定位工作程序如图1所示。首先是中央控制站通过北斗卫星发出给用户询问信号,当用户收到该询问信号后,它向北斗卫星(两个)发出请求定位的信号。中央控制站收到由北斗一号卫星转发的用户信号后,根据两颗北斗卫星传输至中央控制站的两个信号的时间差,就可以计算用户的二维点位。这个点位和控制站的DTM(数字地面模型)进行比较,就可以得到用户的三维点位,然后再通过北斗卫星告知用户^[15]。本文主要是研究利用北斗卫星发给用户的询问信号作为辐射源信号的可行性。

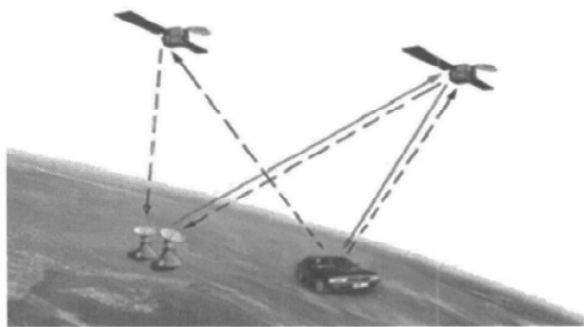


图1 北斗一号卫星定位示意图

与GPS、GALIEO、GLONASS卫星导航系统相比,北斗卫星定位系统具有以下几点优势:

(1)是我国自己的导航定位系统,战时具有更高的安全性和可靠性;

(2)北斗双星定位系统采用地球静止卫星,可以对我国区域实现连续覆盖。同时由于卫星相对地球运动较小,由其运动引起的多普勒频移不明显;而GPS卫星的高速运动使从地面反射的回波形成一个很大的多普勒频移,而且在某些空间结构下,杂波的多普勒可能会与目标的多普勒冲突;

(3)仅有两颗卫星,且位置固定、已知,临近信道干扰较单一,容易对其进行抑制;

(4)辐射功率大,地面接收天线处得到的接收功率较大,使得其作用距离较GPS远;

(5)若采用机载接收机,由于飞机运动可形成双站合成孔径雷达,可对目标成像。

3 最大作用距离

由前文可知,最大作用距离是选择机会辐射源的重要指标,因此本节研究基于北斗卫星信号的无源雷

达最大作用距离。文献[11]给出了基于卫星辐射源的双基地雷达的最大作用距离,如式(1)所示。文献[7]给出了该式的具体推导过程。

$$R_{\max} = \left\{ (\rho_0 A \sigma \Delta F \pi \tau_k) / (\rho_r \lambda^2 G) \right\}^{1/2} \quad (1)$$

其中, ρ_0 为全向天线的输入端平均信噪比,它为接收机灵敏度、预处理增益和天线增益之和。 A 为接收天线的有效面积, σ 为目标的 RCS, ΔF 为接收机的带宽, τ_k 为用窄带多普勒滤波器的相干积累时间,其最大值可达到目标的相干时间, λ 为测距信号波长。 ρ_r 为在给定的检测概率 D 和虚警概率 F 约束下要求的信噪比,其计算公式为:

$$\rho_r = \rho_1(D, F) - 10 \log N_N + L_i(\rho_1, N_N) + L_f(D, F) / N_N \quad (2)$$

其中 ρ_1 为要检测信号的单脉冲信噪比, N_N 为最大非相干采样点数, L_i 为非相干积累损耗, L_f 为慢目标起伏损耗。

为了与基于 GPS 的无源雷达进行比较,本文也选定 $D = 0.9$, $F = 8.3 \times 10^{-6}$, 在该检测概率和虚警概率下,最大作用距离主要取决于 τ_k 和 ρ_r 和 ρ_0 。

目标的相关时间可估计为

$$\tau_k = \frac{\lambda}{2\omega_a L_x} \quad (3)$$

式中, ω_a 为目标绕视线旋转的速率, L_x 为垂直于视线和旋转轴的目标尺寸。对于一般的飞机, ω_a 大概有每秒百分之几弧度, L_x 大概有十到几十米^[16], 由此选择 $\tau_k = 0.0884\text{s}$ 。

由式(2)可见,当 D, F 确定后, ρ_r 的值由 $N_N = T_d / \tau_k$ 决定。 T_d 为非相干积累时间,其值最大可为目标的观察时间(波束驻留时间 $T_{d\max}$)。下面研究 T_d 的取值。

由于接收机采用全向天线,仅在垂直方向上表现为有一定宽度的波束,因此观察时间为目标在垂直方向的波束内的时间。设天线波束宽度为 θ , 目标高度角为 ε , 水平距离、高度和目标速度分别用 r, h, V 表示,则 $T_{d\max} = L/V$, 如图 2 所示。

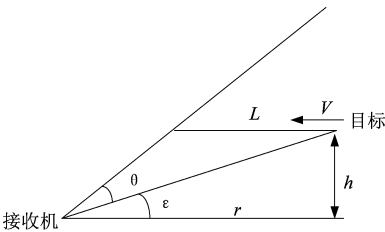


图 2 垂直天线波束内的几何图形

由图 2 可得如下几何关系:

$$\begin{cases} L = \frac{\sqrt{r^2 + h^2} \sin \theta}{\sin(\theta + \varepsilon)} \\ \varepsilon = \arctan\left(\frac{h}{r}\right) \end{cases} \quad (4)$$

北斗接收天线垂直方向波束宽度为 $10^\circ \sim 75^\circ$, 选择 $\theta = 10^\circ$, 设感兴趣的目标位置参数为 $r = 100\text{km}$, $h = 10\text{km}$, 则由(4)式得 $L = 64.45\text{km}$, 假定目标的水平速度 $v = 200\text{m/s}$, 则 $T_{d\max} = 322.25\text{s}$ 。

北斗信号的波长 $\lambda = 0.12\text{m}$, 带宽 $\Delta F = 8\text{MHz}$ 。选择灵敏度为 -157.6dBW 的北斗接收机,其接收天线有效面积为 0.07m^2 , 增益 $G = 17.8\text{dB}$ 。而北斗信号到达用户接收机功率为 -144.5dBW , 则 ρ_0 可超过 36dB 。取 $T_d = 43.84\text{s}$, 则 $N_N = 496$, 由式(2)计算得到 $\rho_r = -4.95\text{dB}$ ^[16, 17]。代入(1)式可得 $R_{\max} = 149.35\text{km}$ 。

为了得到一个直观的印象,表 1 将基于 GPS 的无源雷达系统^[11, 14]与基于北斗信号的无源雷达系统对同一个飞机目标($\sigma = 10\text{m}^2$)的最大作用距离进行了对比。其他接收机参数参见文献[11, 14, 18, 19]。

表 1 基于 GPS 与北斗信号的无源雷达最大作用距离对比

参数 \ 辐射源	GPS	北斗
载波频率 (MHz)	1575.42	2491.75
接收机带宽 (MHz)	2	8
用户机接收功率 (dBW)	-160	-144.5
接收天线面积 (m ²)	0.092	0.07
ρ_0 (dB)	36	36
相关时间 (s)	0.14	0.0884
非相干积累时间 (s)	380	43.84
最大作用距离 (km)	149.7	149.35

可见,采用北斗卫星作为辐射源的无源雷达仅用 43.84s 的积累时间就能使探测距离达到 149.35km , 而采用 GPS 卫星作为辐射源的无源雷达要达到同等探测距离,则需要 380s 的积累时间。

4 模糊函数分析

北斗系统的出站信号形式为伪码直接序列扩频、双信道 OQPSK 调制信号。码速率为 4.08MHz , I 支路为 255 位的 kasami 序列小集码(不同的码地址区别不同的出站波束), Q 支路为 $2^{19}-1$ 位的 Gold 码。由于 I 支路对民用的公开性,本文研究 I 支路信号。如前文所述,研究一种信号是否适合作无源雷达信号,模糊函数是一项重要指标,所以首先研究 kasami 码的模糊函数。

Kasami 序列集是二进制序列集的重要类型之一,

它具有互相关值小的特性。Kasami 小集合序列是周期为 $2^n - 1$ (n 为移位寄存器的阶数) 的二进制序列。其互相关函数值都在集合 $\{-1, -(2^{n/2} + 1), 2^{n/2} - 1\}$ 中, 因此 kasami 小集合序列的最大互相关值 $ck_{\max} = 2^{n/2} + 1$ 几乎是 Gold 序列和 Gold-like 序列 ($cg_{\max} = 2^{(n+2)/2} + 1$) 的一半。图 3 给出了长为 255 的 kasami 小集合码的单站模糊函数, 可见该信号呈“图钉形”, 具有良好的距离和速度分辨力, 因此适合做雷达信号。

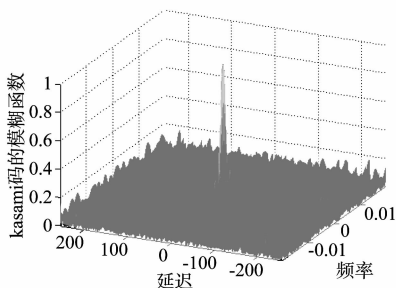


图3 kasami 码的单站模糊函数

基于北斗卫星的无源雷达系统属于双站雷达的范畴, 因此有必要研究该系统的双站模糊函数。文献[20]推导了指北坐标系下的双站模糊函数, 文献[14]在研究基于 GPS 信号的无源雷达的双基地模糊函数的时候, 直接引用了该文献的结果, 并据此给出了目标视角与双站模糊函数的结论。事实上, 文献[14]中的无源雷达系统结构代表了基于卫星辐射源的星地无源雷达的典型空间几何位置, 其双站模糊函数与指北坐标系中的不完全相同, 需要进行一定的坐标变换。

图 4 给出了指北坐标系中双站几何关系和基于卫星辐射源 (比如北斗卫星) 的星地无源雷达系统的空间几何配置关系。

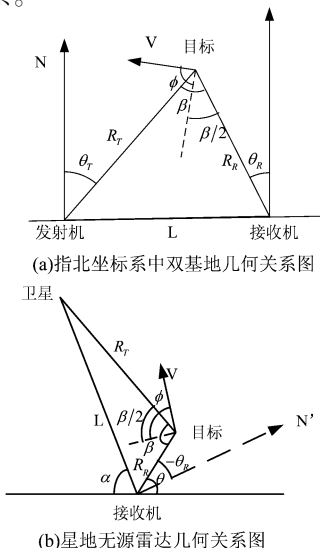


图4 指北坐标系和星地无源雷达系统几何关系图

图 4(a) 中, L 为基线长度, R_r, R_R 分别表示从发射机到目标的距离和目标到接收机的距离。 θ_r, θ_R 分别为发射机和接收机的视角, 以正北方向顺时针为正。 β 为双站角, ϕ 为双站角二分之一与目标速度的夹角。可见, 图 4(b) 相当于图 (a) 的发射机-目标-接收机三角形以接收机为顶点, 顺时针旋转 α 角, 指北方向由 N 旋转到 N' , α 为卫星相对于接收机的仰角。此外, 图 4(b) 除了 θ, θ_R 与图 (a) 意义不同, 其他参数均相同, θ 为接收机视角, θ_R 为目标与 N' 方向的夹角。由图 (a) 与图 (b) 的几何关系, 可知

$$(\theta - \theta_R) + \alpha = \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

则有

$$\theta_R = \alpha + \theta - \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

对于给定的视角 θ_R , 文献[20]给出了直接反应距离 R_R 和目标速度 V 的双站模糊函数:

$$|\chi(R_{R_H}, R_{R_a}, V_H, V_a, \theta_R, L)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \times e^{-j(\omega_{D_H}(R_{R_H}, V_H, \theta_R, L) - \omega_{D_a}(R_{R_a}, V_a, \theta_R, L))t} dt \right|^2 \quad (7)$$

其中,

$$S(t) = s\left(t - \tau_a(R_{R_a}, \theta_R, L)\right) s^*\left(t - \tau_H(R_{R_H}, \theta_R, L)\right)$$

R_{R_H}, V_H 为假定的目标距离和速度, R_{R_a}, V_a 为目标实际的距离和速度, 则实际目标信号的延迟和多普勒频移 τ_a, ω_a 为

$$\tau_a(R_{R_a}, \theta_R, L) = \left[R_{R_a} + \sqrt{R_{R_a}^2 + L^2 + 2R_{R_a}L\sin(\theta_R)} \right] / c$$

$$\omega_{D_a}(R_{R_a}, V_a, \theta_R, L) = 2 \frac{\omega_c}{c} V_a \cos(\phi)$$

$$\sqrt{1/2 + \frac{R_{R_a} + L\sin(\theta_R)}{2\sqrt{R_{R_a}^2 + L^2 + 2R_{R_a}L\sin(\theta_R)}}} \quad (8)$$

假定的目标信号的延迟和多普勒频移 τ_H, ω_H 为

$$\tau_H(R_{R_H}, \theta_R, L) = \left[R_{R_H} + \sqrt{R_{R_H}^2 + L^2 + 2R_{R_H}L\sin(\theta_R)} \right] / c$$

$$\omega_{D_H}(R_{R_H}, V_H, \theta_R, L) = 2 \frac{\omega_c}{c} V_H \cos(\phi)$$

$$\sqrt{1/2 + \frac{R_{R_H} + L\sin(\theta_R)}{2\sqrt{R_{R_H}^2 + L^2 + 2R_{R_H}L\sin(\theta_R)}}} \quad (9)$$

将(6)式代入(7), 则可得到目标相对于接收机不同视角下的星地双站模糊函数:

$$|\chi(R_{R_H}, R_{R_a}, V_H, V_a, \theta, L, \alpha)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \times e^{-j(\omega_{D_H}(R_{R_H}, V_H, \theta, L, \alpha) - \omega_{D_a}(R_{R_a}, V_a, \theta, L, \alpha))t} dt \right|^2 \quad (10)$$

其中,

$$S(t) = s\left(t - \tau_a\left(R_{R_a}, \theta, L, \alpha\right)\right) s^*\left(t - \tau_H\left(R_{R_H}, \theta, L, \alpha\right)\right)$$

$\tau_a, \omega_a, \tau_H, \omega_H$ 分别为:

$$\tau_a(R_{R_a}, \theta, L, \alpha) = \left[R_{R_a} + \sqrt{R_{R_a}^2 + L^2 - 2R_{R_a}L\cos(\theta + \alpha)} \right] / c$$

$$\omega_{D_a}(R_{R_a}, V_a, \theta, L, \alpha) = 2 \frac{\omega_c}{c} V_a \cos(\phi)$$

$$\sqrt{1/2 + \frac{R_{R_a} - L\cos(\theta + \alpha)}{2\sqrt{R_{R_a}^2 + L^2 - 2R_{R_a}L\cos(\theta + \alpha)}}} \quad (11)$$

$$\tau_H(R_{R_H}, \theta, L, \alpha) = \left[R_{R_H} + \sqrt{R_{R_H}^2 + L^2 - 2R_{R_H}L\cos(\theta + \alpha)} \right] / c$$

$$\omega_{D_H}(R_{R_H}, V_H, \theta, L, \alpha) = 2 \frac{\omega_c}{c} V_H \cos(\phi)$$

$$\sqrt{1/2 + \frac{R_{R_H} - L\cos(\theta + \alpha)}{2\sqrt{R_{R_H}^2 + L^2 - 2R_{R_H}L\cos(\theta + \alpha)}}} \quad (12)$$

假定目标位置参数, $R_{R_H} = 60\text{km}$, $V_H = 200\text{m/s}$, $\phi = 0$, 仿真不同视角 θ 下 kasami 码的双站模糊函数。若卫星相对接收机仰角 $\alpha = 37^\circ$, 仿真结果如图 5 所示。

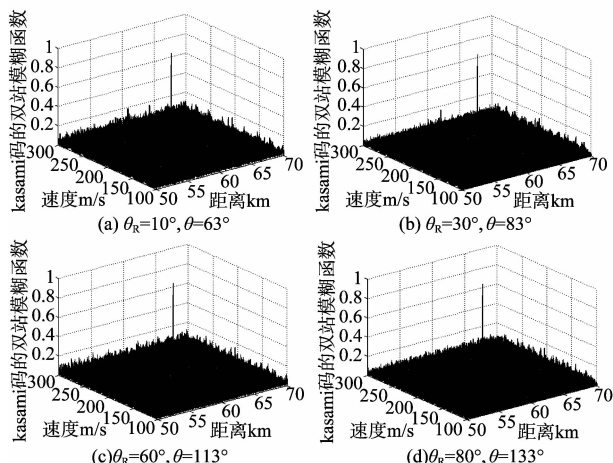


图5 不同视角下的双站模糊函数

仿真结果显示, 无论视角多大, kasami 码的双站模糊函数都具有良好的距离分辨率。这是由伪随机码的三值互相关特性所决定的, 公式(10)也可以证明这一结论。

5 结论

本文讨论了无源雷达中辐射源的选择问题, 尤其是对星载辐射源进行了详细的分析与比较。通过与 GPS 等其他卫星导航系统的对比, 分析了北斗卫星定位系统作为机会辐射源的优点, 然后从最大作用距离和模糊函数两个方面论证了北斗卫星信号作为辐射源

的可行性。

目前, 空间发射地面接收的合成孔径雷达(SS-BSAR)成为了一个新的研究热点, Mikhail Cherniakov 和 Tao Zeng 等人对基于导航卫星的 SS-BSAR 进行了研究, 并发表了大量的文章。由于北斗卫星的位置固定, 研究基于北斗辐射源的机载合成孔径雷达成像问题, 对于执行我国境内的区域监视、搜索营救、自然灾害评估等任务具有独特的优势, 因而具有重要的研究价值。

参考文献

- [1] Cherniakov M, editor Bistatic Radar: Emerging Technology, 2008.
- [2] 徐世友. 基于非合作辐射源的空间目标探测技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学博士学位论文, 2008.
- [3] 徐世友, 陈曾平. 机会照射源雷达系统中外辐射源的选择[J]. 现代雷达, 2007, 29(10): 16-19.
- [4] M. Cherniakov RS, R. Zuo, M. Antoniou. Space Surface Bistatic SAR with Space-Borne Non-Cooperative Transmitters. In: European Radar Conference, 2005: 9-12.
- [5] X. He MCaTZ. Signal detectability in SS-BSAR with GNSS non-cooperative transmitter[J]. IEE Proc. -Radar Sonar Navig., 2005, 152(3): 124-132.
- [6] X. He TZ, M. Cherniakov. Interference level evaluation in SS-BSAR with GNSS non-cooperative transmitter[J]. 2004, 40(19): 1222-1224.
- [7] M. Cherniakov DNaKK. Air target detection via bistatic radar based on LEOS communication signals[J]. IEE Proc-Radar Sonar Navig, 2002, 149(1): 33-38.
- [8] H. D. Griffiths CJB, J. Baubert, N. Kitchen, M. Treaugust. Bistatic Radar Using Satellite-borne Illuminations[J]. 2002: 1-5.
- [9] 杨广平. 外辐射源雷达关键技术研究[J]. 现代雷达, 2008, 30(8): 5-9.
- [10] H. Guo KW, and C. J. Baker. Evaluation of WiFi Beacon transmissions for wireless based passive radar[C]. IEEE Radar Conference, Rome, Italy, 2008: 500-505.
- [11] B. Mojarrabi JH, K. Kubik. Power budget study for passive target detection and imaging using secondary applications of GPS signals in bistatic radar systems. In IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002: 449-451.
- [12] John C. McIntosh CEC. An Adaptive algorithm for Enhanced target detection for bistatic SPACE-BASED radar.

In: IEEE Radar Conference, 2001:70-74.

[13] 刘立东,袁伟明,吴顺君,孙晓闻. 基于 GPS 照射源的天地双基地雷达探测系统[J]. 电波科学学报,2004,19(1):109-113.

[14] 杨进佩,刘中,朱晓华. 用于无源雷达的 GPS 卫星信号性能分析[J]. 电子与信息学报,2007,29(5):1083-1086.

[15] 陈俊勇. 中国第一代导航卫星系统北斗一号无线电波的频谱特征[J]. 测绘科学,2006,31(5):11-12.

[16] Barton DK, ed. Radar System Analysis and Modeling: 电子工业出版社, 2007:68-70.

[17] DAVID K. BARTON. Simple Procedures for Radar Detection Calculations [J]. IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, 1969, 5(5):837-846.

[18] 马瑞峰. 基于北斗导航定位系统的伪卫星技术研究[D]. 西北工业大学,2005:19-25.

[19] 谭述森, ed. 卫星导航定位工程. 北京: 国防工业出版社, 2007:50-58.

[20] T. Tsao MS. Ambiguity Function for a Bistatic Radar[J]. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System, 1997, 33(3):1041-1051.

作者简介



范梅梅(1984-),女,博士研究生。目前主要从事被动雷达信号处理、目标识别方面的研究工作。
E-mail:mmdingnuddt@sohu.com



廖东平(1977-),男,博士,讲师,目前主要从事雷达信号处理、目标识别方面的研究工作。
E-mail:ldpcho@tom.com



丁小峰(1981-),男,博士研究生。目前主要从事雷达目标识别、层析成像等领域的工作。
E-mail:pla0823@sina.com