

文章编号: 2095-4980(2016)03-0361-04

引信应对扩展目标起伏的设计方法

李玉钊, 刘 岩, 葛志强

(北京遥感设备研究所, 北京 100854)

摘 要: 引信应对的近场目标一般具有扩展目标的特性, 扩展目标存在的起伏特性是引信设计要考虑的重要方面, 现就扩展目标起伏的机理和应对措施进行了初步讨论。首先综述了引信目标回波起伏的诸多原因, 并分析指出了扩展目标存在相关起伏的必然性, 然后探讨了引信设计时应对目标起伏的方法措施, 进行了仿真和试验, 结果表明了应对目标起伏的方法的有效性。

关键词: 设计方法; 起伏; 扩展目标

中图分类号: TN957; TJ43⁺1

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201603.0361

Design methods to cope with the fluctuation of fuze's extended target

LI Yuzhao, LIU Yan, GE Zhiqiang

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

Abstract: The near-field target of fuze has commonly extended characters. The fluctuation characters of extended target should be considered deliberately when designing a fuze. In this paper, the theory of fluctuation and the methods to cope with the fluctuation are discussed primarily. At first, several reasons of the fluctuation are introduced. Analysis shows that the extended target has inevitably the fluctuation characters. Next, the design methods to cope with the fluctuation are discussed; simulation and experiment are conducted. The result proves the validity of design methods to cope with the fluctuation.

Key words: design methods; fluctuation; extended target

由于引信的作用距离一般比较近, 相对目标尺寸是可比拟的, 因此引信应对的近场目标一般具有扩展目标的特性^[1]; 此外, 引信面临的地海杂波, 无论距离远近, 都具有扩展目标的特性。在引信的实验中发现, 实际目标的回波都具有一定的起伏, 本文就扩展目标的起伏特性进行分析, 然后在引信设计时采用特定的方法来应对扩展目标起伏。

1 扩展目标起伏特性

1.1 扩展目标的相干起伏

一般分析认为, 低空引信接收到的地海杂波, 主要是地海面对发射电磁波的后向散射, 后向散射能量的强弱一般采用后向散射系数 σ_0 来表征, σ_0 通常是在统计平均意义上的^[2], 其实测样本具有明显的起伏特性^[3]。地海表面是不规则的且可能是时变的, 其后向散射回波理论上含有相干分量和随机分量, 主要是随机分量导致了 σ_0 的起伏^[4]。一般分析认为, 对于来袭的飞机类或导弹类目标, 可以用许多独立的散射中心的集合表示^[1], 某些散射中心具有强方向性^[5], 总的回波是各散射中心的反射电波的矢量和, 在高速相对运动中进行近场探测时, 目标的视在方向不断变化, 就会导致回波振幅的起伏^[6]。虽然上述分析的“雷达目标截面(Radar Cross Section, RCS)的随机性”确实是引信收到的目标回波起伏的原因之一, 但在此必须指出, 对于引信而言, 应对的几乎都是近场扩展目标, 而近场目标的 RCS 是距离的函数^[1], 所以, 引信面临的扩展类目标必然会产生起伏, 即使目标是不随机的、均匀的, 这种扩展目标的相干起伏是由 RCS 的远场条件不满足引起的。

RCS 的定义中要求远场条件,即要求距离 R 满足 $R \geq 2D^2/\lambda$ 的条件,其中 D 表示目标尺寸, λ 表示波长^[7],当低空窄波束引信面对地海测量时取 $D \approx R\theta$, θ 为天线波束宽度^[7],对于弹载引信而言该远场条件几乎是无法满足的,所以扩展目标各部分的回波相位随距离变化不一致,会产生干涉而造成起伏。在此,把这种干涉造成的振幅起伏特性称为相干起伏。

1.2 扩展目标的起伏和引信设计

影响到引信接收的扩展目标(包含地海和来袭目标)回波起伏的因素有很多,主要源于以下几个方面:a) 扩展面目标的相干起伏特性;b) 地海面粗糙部分的随机非相干分量引起^[4];c) 地海面的时变特性引起^[2];d) 扩展目标是不均匀的,例如陆地地形和雨雪覆盖物等的变化、海面的波浪和含盐度等变化、来袭目标材料和结构复杂多样^[2];e) 引信探测过程中入射角的变化,有时散射系数随入射角会明显变化^[3];f) 引信探测过程中天线指向变化、极化方式的“相对”变化;g) 随探测距离变化引起的距离衰减;h) 由相对速度变化引起的多普勒“等高线”变化;i) 引信接收机的距离不平坦或频率不平坦,不同距离上回波面积受脉宽限制和波束限制等。

上述这些因素都可能影响到扩展目标幅度,引信实际收到的回波是一个综合的效果。相干起伏只是引信实际收到回波起伏的原因之一,其在起伏中所占的“比例”也不尽相同,一般而言,对于复杂随机目标而言,其所占“比例”较小,对于简单均匀目标而言,所占“比例”高一些。

针对引信的扩展目标起伏特点,有很多的设计方法来应对,这在超低空引信对抗地海杂波的研究中很有代表性,大多数都是从随机起伏的统计方面来考虑的,例如通过空间分集、频率分集、极化分集等措施来消除随机起伏^[1]。很少有研究和设计方法是从相干起伏的角度考虑的,但相干起伏是引信面对的扩展目标特性之一,本文中的引信设计着重针对相干起伏。

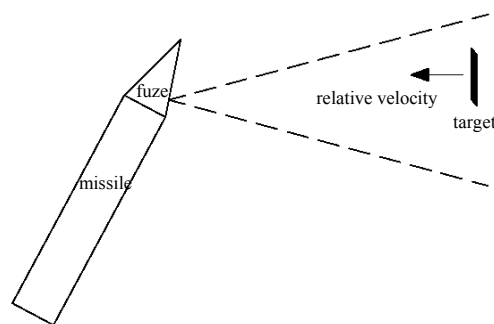


Fig.1 Simulation model of the missile-target encounter
图1 导弹和目标交会的仿真模型

2 引信接收机设计

2.1 扩展目标回波信号分析

为了分析相干起伏,不考虑目标的随机分量,假设目标是均匀的(全相干),且其散射系数不随角度变化。图1是一个1 m长的均匀小平板目标和引信交会的示意图,进行交会过程的仿真,图2是连续波引信收到的射频回波信号幅度,可见 RCS 的确是距离的函数。

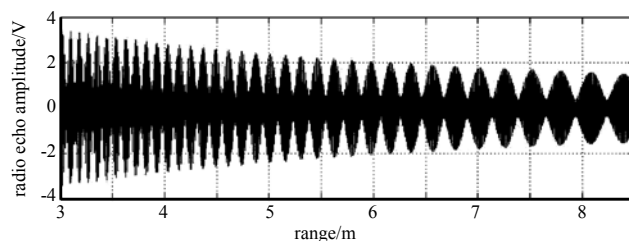


Fig.2 Radio echo amplitude of the homogeneous target (simulation)
图2 均匀目标射频信号回波的幅度(仿真)

分析其机理,可暂不考虑距离因素和散射方向性,假设目标由2个散射点 P_1 和 P_2 组成,其回波矢量分别为 $A_1 e^{j\omega_1 t}$ 和 $A_2 e^{j\omega_2 t}$,其中 A_1 和 A_2 表示 P_1 和 P_2 的散射回波幅值, ω_1 和 ω_2 表示 P_1 和 P_2 的散射回波角频率,则目标散射回波的矢量叠加为 $A e^{j\omega t} = A_1 e^{j\omega_1 t} + A_2 e^{j\omega_2 t}$, A 表示矢量叠加后的合成幅值, ω 表示合成归一化角频率,由于在交会过程中2个点的相位变化率(即角频率 ω_1 和 ω_2)是不同的,因此就出现了合成矢量幅值的不断变化,图3为合成矢量幅值 A 的轨迹。

2.2 应对起伏的引信接收机仿真

如前所述,影响到回波起伏的原因很多,相应地可在引信的波形设计、天线波束、极化方式、增益控制、接收机倒置度、积累时间等针对随机起伏方面进行考虑,已有多方论述,在此还是主要考虑相干起伏的应对设计。图4中给出了多普勒引信常用的2种接收机形式,分别是宽带形式和窄带形式,相比而言,宽带形式接收机简单,成本低,窄带形式接收机灵敏度高,频域分辨力好,系统复杂。

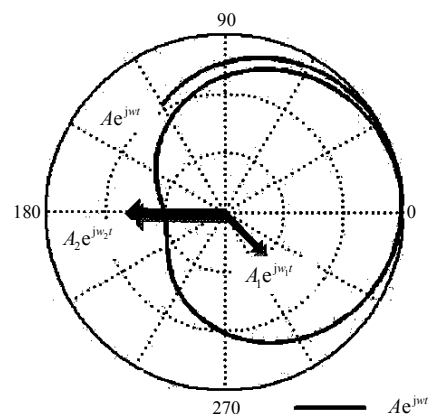


Fig.3 Amplitude trajectory of two vector signals' sum
图3 2个矢量信号相加的幅值轨迹

对图1中所示的模型进行仿真,假设目标是均匀的,对上述2种接收机进行检测仿真对比,图5的仿真结果可见:窄带接收机有时候可以弱化相干起伏。其机理就是回波中不同的频率分量独立经过各个窄带滤波器,消减了干涉效应,所以窄带接收机对抗相干起伏是有好处的。实际上,目标的回波中还含有随机分量,对图1中所示的模型,设目标是非均匀的(弱相干分量+强随机分量),再进行仿真,图6的仿真结果中可见,在随机起伏和相干起伏的综合作用下,上述2种接收机的检测结果很接近。其机理是起伏的随机分量弱化了相干分量,随机分量可通过增加统计样本或时间达到“平滑”,这和文献[1]中的各种分集是类似的。

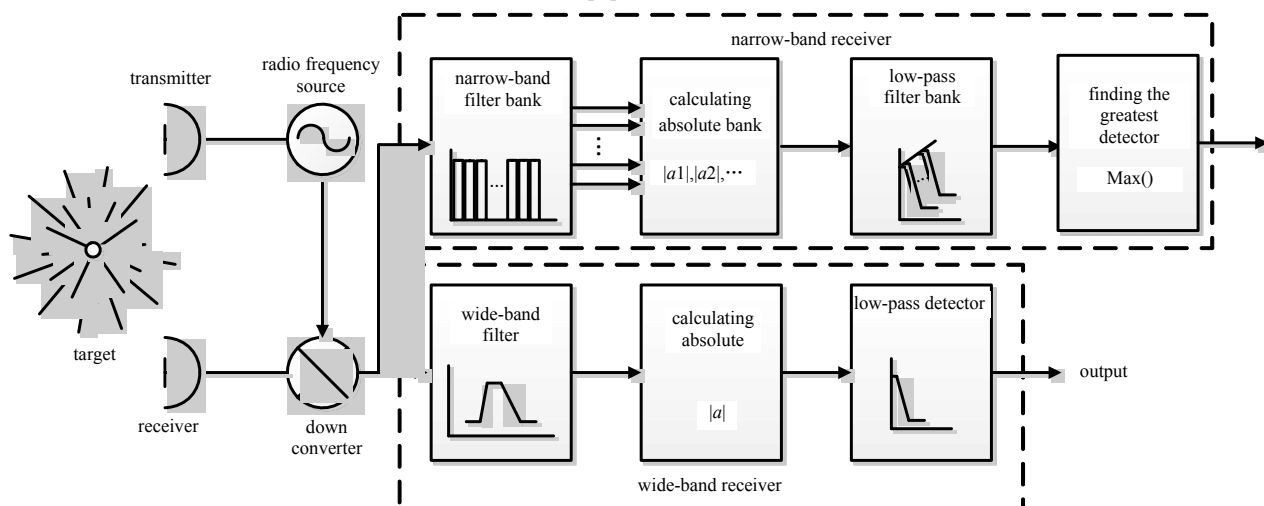


Fig.4 Two types of receiver used commonly in Doppler fuze

图4 多普勒引信常用的2种接收机形式

2.3 信号检测与数据滤波

无论从引信实际研制中还是上述分析仿真都可见,回波的起伏是很明显的,不应该仅以反射均值来设计引信,而是要考虑到回波起伏可能会带来信号的“增强”或“丢失”。由于回波信号起伏而产生的不连续,在某些情况下,必须对距离数据进行处理来实现最佳估值,例如采用卡尔曼滤波、 α - β 滤波等措施^[8-9],采用何种数据处理措施要以引信的应用来选择,例如,当掠海应用时要针对海情、导弹姿态、来袭目标特性来设计,当用于炸毁机场的定高引信时要针对平坦水泥地面或草地来设计。

2.4 小结

从上述的分析和仿真可得:当引信面对的是甲板、大型飞机等较均匀目标时,采用窄带接收机有利于消除相干起伏,但当引信面对的是地海杂波等非均匀目标时,回波中相干起伏的“比例”较小,采用宽带接收机和窄带接收机效果接近。

3 仿真和试验

引信的掠海超低空技术是引信的重要研究方向,引信超低空工作时需要高测距精确度地稳定跟踪海面,才

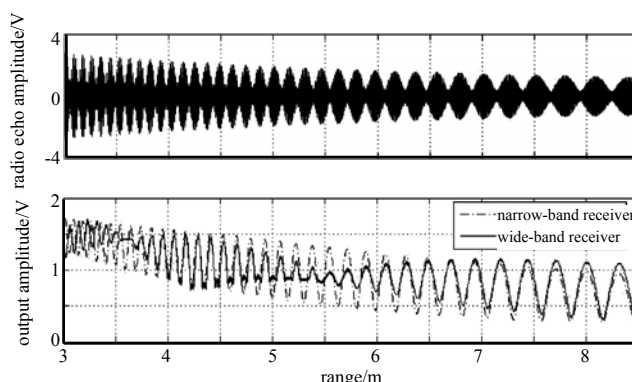


Fig.5 Contrast between two types of receiver about homogeneous target(simulation)

图5 均匀目标的2种接收机形式对比(仿真)

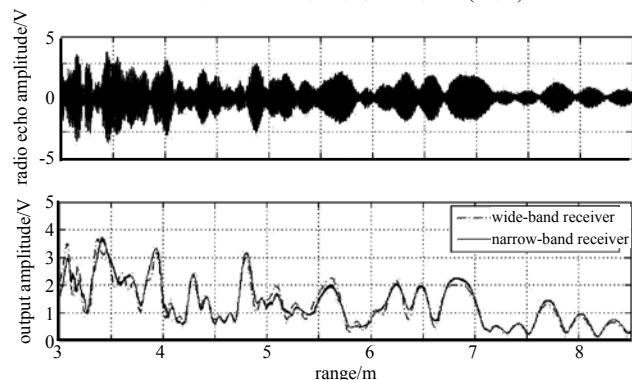


Fig.6 Contrast between two types of receiver about non-homogeneous target(simulation)

图6 非均匀目标的2种接收机形式对比(仿真)

能保证超低空状态引信的虚警概率和对目标的探测概率。笔者参考文中的分析结果,设计了针对海面起伏的“快压-慢放”跟踪算法,应用到了某型超低空引信中,相关算法和仿真见文献[10],该引信在掠海飞行试验中实现了对海面从 81 m 到 30 m 的大动态连续精确跟踪,取得了较好的效果。图 7 中是掠海飞行试验的遥测数据,可见引信能稳定、快速、准确地跟踪海面。

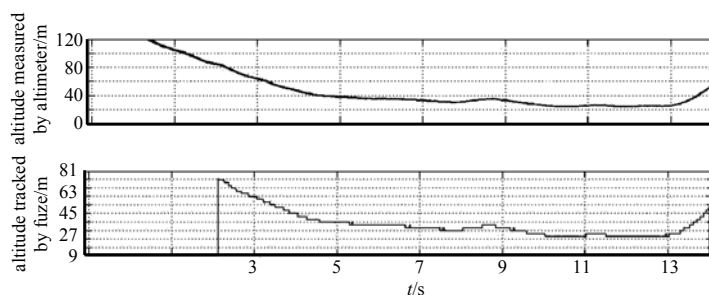


Fig.7 Telemetry data in the sea-skimming flight

图7 掠海飞行中的遥测数据

4 结论

文中分析了扩展目标必然存在相干起伏的原理,并就 2 种常用接收机形式针对均匀目标和非均匀目标进行了仿真,提到了数据滤波措施,还给出了引信掠海试验的遥测数据,这对引信设计有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 黄培康,林桂森,樊正芳. 雷达目标特征信号[M]. 北京:中国宇航出版社, 1993. (HUANG Peikang, LIN Guisen, FAN Zhengfang. Radar Target Characteristic Signal[M]. Beijing: Astronautic Publishing House, 1993.)
- [2] 徐小剑,李晓飞,刁桂杰. 时变海面雷达目标散射现象学模型[M]. 北京:国防工业出版社, 2013. (XU Xiaojian, LI Xiaofei, DIAO Guijie. Radar Phenomenological Models for Ships on Time-evolving Sea Surface[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.)
- [3] FAWWAZ T Ulaby. Handbook of Radar Scattering Statistics for Terrain[M]. [S.l.]: Artech House, 1989.
- [4] 陈晓露. 低空无线电引信关键技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2007. (CHEN Xiaolu. Research on the key technology of low altitude radio fuze[D]. Changsha, China: National University of Defense Technology, 2007.)
- [5] 保铮,邢孟道,王彤. 雷达成像技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2006. (BAO Zheng, XING Mengdao, WANG Tong. Radar Imaging Technique[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2006.)
- [6] 庄益夫. 谱估计法在反舰导弹雷达角噪声仿真中的应用[J]. 战术导弹技术, 2011(2):75-76. (ZHUANG Yifu. Application of spectrum analysis theory to modeling of homing radar angle noise in anti-ship missile[J]. Tactical Missile Technology, 2011 (2):75-76.)
- [7] 庄钊文,袁乃昌,莫锦军,等. 军用目标雷达散射截面预估与测量[M]. 北京:科学出版社, 2007. (ZHUANG Zhaowen, YUAN Naichang, MO Jinjun, et al. Estimate and Measurement of Martial Object's RCS[M]. Beijing: Science Press, 2007.)
- [8] 阮海林. 卫星测高波形重跟踪算法在台湾周边海域的应用研究[D]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所, 2010. (RUAN Hailin. Application research of satellite altimetry waveforms retracking algorithms on the water surrounding Taiwan[D]. Xiamen, China: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2010.)
- [9] 张强,孙红胜,胡泽明. 目标跟踪中野值的判断与剔除方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(2):256-259. (ZHANG Qiang, SUN Hongsheng, HU Zeming. Method of distinguishing and rejecting outliers in target tracking[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014, 12(2):256-259.)
- [10] 陈小霞,朱建平,李玉钊. 基于距离波门压缩的无线电引信抗海杂波干扰技术[J]. 制导与引信, 2014, 35(1):21-24. (CHEN Xiaoxia, ZHU Jianping, LI Yuzhao. The technology of radio fuze anti-jamming sea clutter based on the range gate compression[J]. GUIDANCE & FUZE, 2014, 35(1):21-24.)

作者简介:



李玉钊(1979-),男,石家庄市人,在读博士研究生,高级工程师,主要研究方向为防空导弹引信.email:13799365@qq.com.

刘岩(1971-),男,山西省运城市人,硕士,研究员,主要研究方向为防空导弹引信。

葛志强(1964-),男,江西省九江市人,硕士,研究员,博士生导师,主要研究方向为雷达寻的探测。