

# 超宽带雷达方程\*

黎海涛\*\* 徐继麟

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

**【摘要】** 基于超宽带雷达方程与信号频率特性的相关性, 推导出其距离方程。以超宽带 LFM 雷达信号为例, 对超宽带与窄带雷达方程进行了比较和数值模拟。结果表明: 随着信号分数带宽增加, 超宽带雷达具有更远的作用距离。

**关键词** 超宽带; 雷达方程; 分数带宽; 频率

**中图分类号** TN951

为了进一步提高雷达获取目标时空信息的能力, 近年来人们发展了一种新体制雷达——超宽带(UWB)雷达。所谓超宽带是指发射信号的分数带宽(带宽与中心频率之比)大于 0.25。UWB 雷达具有高距离分辨力和探测隐身目标等一系列特点<sup>[1]</sup>, 广泛应用于目标识别、SAR 成像等雷达技术中。当采用超宽带信号时, 雷达观测理论的一个重要问题是距离方程系数和含义的改变。普通窄带雷达方程为

$$R_{\max} = \left[ \frac{PG\sigma s_{\text{eff}}}{(4\pi)^2 qN_0} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

式中  $P$  为雷达发射脉冲功率;  $s_{\text{eff}}$  为接收天线有效面积;  $G$  为发射天线增益因子;  $N_0$  为噪声谱密度;  $\sigma$  为目标散射截面积(RCS);  $q$  为接收机输出信噪比。在 UWB 雷达中, 方程中的主要参数如 RCS 和  $s_{\text{eff}}$  等变成不确定, 式(1)不再适用。为此, 采用决定于角坐标和观察角的参数将天线和目标表示为频率滤波器, 得到用频率特性表示的距离方程<sup>[2]</sup>

$$R_{\max} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} |s(f) \prod_{i=1}^3 H_i(f, \varepsilon_0, \alpha_0)|^2 df}{(4\pi)^2 N_0} \quad (2)$$

式中  $s(f)$  为信号谱密度;  $H_1(f, \varepsilon_0)$  为发射天线频率响应;  $H_2(f, \alpha_0)$  为由目标位置角决定的目标频率响应;  $H_3(f, \varepsilon_0)$  为接收天线的频率响应;  $f_1, f_2$  为信号的最低和最高频率。考虑到 UWB 雷达的频率特性, 文献<sup>[1]</sup>给出其距离方程

$$R_{\max} = \left[ \frac{PG\sigma_{\text{eff}} \xi}{(4\pi)^2 qN_0} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

式中 定义  $\xi = \frac{S}{N} / \left( \frac{S}{N} \right)_{\min}$  表示接收机增益。当  $\xi = 1$  时, 即为窄带雷达方程; 当  $\xi > 1$  时, 表示在发射机平均功率相同时, UWB 雷达具有更远的作用距离<sup>[1]</sup>。但式(3)仅是一种定性的描述, 未能给出其明晰的物理意义。本文从 UWB 雷达方程与信号频率特性有关出发, 研究其距离方程。

## 1 UWB 雷达方程

因为 UWB 雷达距离方程与信号的频率范围有关, 其雷达方程可表示为

$$R_{\max}(f) = \left[ \frac{p(f)G(f)\sigma(f)s_{\text{eff}}(f)}{(4\pi)^2 qN(f)} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

1999年8月3日收稿

\* 电子部预研基金资助项目

\*\* 男 26岁 博士生

式中  $p(f)$  为发射信号功率谱密度, 由 Parseval 公式得

$$p(f) = \frac{2}{T} |s(f)|^2 \quad (5)$$

式中  $T$  和  $s(f)$  分别是信号持续时间和频谱密度复函数。噪声功率为<sup>[3]</sup>

$$N(f) = KT_n(f_0) \int_{f_1}^{f_2} F(f) df \quad (6)$$

式中  $f_0$  为信号中心频率;  $f_1$  和  $f_2$  分别是信号的最低和最高频率, 则分数带宽  $\mu = \frac{f_2 - f_1}{(f_2 + f_1)/2}$ ;  $K$

为 Boltzmann 常数;  $T_n(f_0)$  是信号中心频率处的噪声温度;  $F(f)$  为噪声带宽分布函数, 定义  $F(f) = (f/f_0)^\gamma$ <sup>[3]</sup>, 当频率范围在 1~1 000 MHz 时, 系数  $\gamma=5/2$ , 与频率有关且与噪声功率成正比。

将式(5)和式(6)代入式(4)得

$$R_{\max}(f) = \left[ \frac{\mu f_0 \int_{-\infty}^{+\infty} |s(f)|^2 G(f) s_{\text{eff}}(f) \sigma(f) df}{(4\pi)^2 qKT_n(f_0) \int_{f_1}^{f_2} F(f) df} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (7)$$

式中  $\mu f_0 \approx 1/T$ 。

在超宽带信号条件下, 可假设<sup>[3]</sup>: 目标散射面积  $\sigma(f) = \sigma(f_0)(f/f_0)^\beta$ , 信号频谱密度复函数  $s(f) = s(f_0)F'(f)$ , 信号功率分布函数  $F'(f) = (f/f_0)^2$ , 天线增益  $G(f) = G(f_0)(f/f_0)^\alpha$ 。则式(7)可重写为

$$R_{\max} = R_0(\mu, f_0) F_1(\mu, \gamma) F_2(\mu, \alpha, \beta) \quad (8)$$

式中  $R_0(\mu, f_0) = \left[ \frac{p_0 G(f_0) \sigma(f_0) s_{\text{eff}}(f_0)}{(4\pi)^2 qKT_n(f_0) \mu f_0} \right]^{\frac{1}{4}}$  表示中心频率处, 即理想窄带雷达的距离方程, 且

$p_0 = \mu^2 f_0^\alpha |s(f_0)|^2$ ;  $F_1(\mu, \gamma) = \left[ \frac{1}{2^{\gamma-1}} \frac{(\gamma-1)\mu}{(2-\mu)^{1-\gamma} - (2+\mu)^{1-\gamma}} \right]^{\frac{1}{4}}$  表示雷达方程与分数带宽  $\mu$  和噪声分布函

数指数  $\gamma$  的联系;  $F_2(\mu, \alpha, \beta) = \left[ \frac{1}{\mu} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| F' \left( \frac{f}{f_0} \right) \right|^2 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{\alpha+\beta} d \left( \frac{f}{f_0} \right) \right]^{\frac{1}{4}}$  表示雷达方程与散射截面( $\beta$ )、天线

类型( $\alpha$ )、具体信号形式( $F'(f)$ )的关系<sup>[3]</sup>。所以, 超宽带雷达方程等于窄带雷达方程与表征超宽带特征的因子  $F_1$  和  $F_2$  的乘积, 是窄带雷达方程的推广。

## 2 模拟结果与结论

若简化雷达发射超宽带线性调频(LFM)脉冲信号

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect} \left( \frac{t}{T} \right) \exp \left[ j2\pi \left( f_0 t + \frac{kt^2}{2} \right) \right] \quad (9)$$

令  $\alpha=0$ , 当分数带宽从窄带  $\mu=0.01$  变化到  $\mu=1$  时, 分别计算出  $\beta=1$  和  $\beta=2$  时雷达作用距离的比值  $r = R/R_0$ , 如图 1 所示。

由图 1 可知, 超宽带雷达方程中的参数与信号频率范围有关, 而频率范围和中心频率决定了信号分数带宽。所以, 在接收机信噪比相同的情况下, 超宽带雷达作用距离比取决于分数带宽。分数带宽越大, 距离比增大, 雷达作用距离也越远。当分数带宽大于 0.25 时, 距离比明显增大。

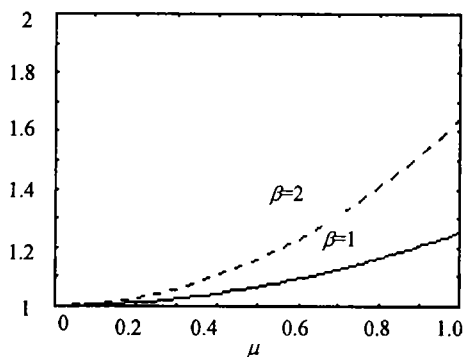


图 1 雷达作用距离比  $r$  与分数带宽  $\mu$  的关系

## 参 考 文 献

- 1 Taylor T D. Introduction to ultra-wideband radar system . USA: CRC Press, 1995
- 2 Immoreev Igov, Vovshin Boris. Features of ultra-wide band radar projecting. Int Radar Conf Alexandra Virginia, 1995: 720~725
- 3 Lazorenko O V, Chernogor L F. Special feature of distributed targets radar equation when employing superwide-band signals. Telecommunications and Radio Engineering , 1997, 51(4): 88~91
- 4 Lazorenko O V, Chernogor L F. Dispersional distortions of superwide-band radio signals in nonuniform plasmatic media. Proc of 6-th Int Conf SHF-engineering and Telecommunication, Sevastopol, 1997: 404~406
- 5 王光泰, 徐继麟, 徐 庆. 超宽带雷达技术特点. 电子科技大学学报, 1997, 26(增刊): 13~16

## Ultra Wide-band Radar Equation

Li Haitao    Xu Jilin

( College of Electronic Eng., UEST of China Chengdu 610054 )

**Abstract** In this paper, the UWB radar equation is deduced. The distinctions between the classical and the UWB radar equation are studied. Simulation results indicate that the UWB radar performs better than the classical radar given that the signal-to-noise at the receiver input is equivalent.

**Key words** ultra wide-band; radar equation; factional bandwidth; frequency

• 科研成果介绍 •

## X 波段雷达频率合成器

主研人员: 张玉兴 张开智 陆祖森 蒙以然 敬守钊 阳 光 等

X 波段雷达频率合成器完成了实用化 X 波段的综合样机, 样机已通过环境试验要求。达到指标如下: 工作频率范围为 8.6~9.5 GHz; 本振输出功率 $\geq 17.5$  dBm; 本振输出相噪 $L(1 \text{ kHz}) \leq -90$  dBc/Hz; 本振输出谐波 $< -50$  dBc; 本振输出杂散 $< -60$  dBc; 激励输出功率 $\geq 500$  mW; 跳频时间 $\leq 100$  ms; 环境温度范围 $-40 \sim +60$  °C。

• 科 卞 •