

超宽带信号在波导中传播的 FDTD 分析

常 硕¹, 陈忠辉², 张智军¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 95214 部队, 湖南 长沙 410015)

摘要:用时域有限差分法(FDTD)对超宽带(相对带宽 >25%)信号在矩型波导中的传播情况进行分析,给出了超宽带信号在矩型波导中传播时的时域波形及其频谱的变化情况。研究表明超宽带信号在矩型波导中传播时会出现失真,而且传播距离越远,失真越大。

关键词:时域有限差分法(FDTD);超宽带信号;矩型波导

中图分类号:TN928 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)05-0053-03

随着科学技术和武器装备的不断发展,超宽带雷达在军事和民用领域中正日益得到关注,已成为各国研究的关键技术。超宽带信号的相对带宽($\Delta f/f_0$)可超过 25%^[1],其信号频率覆盖谐振区和瑞利区,在合成孔径雷达(SAR)、逆合成孔径雷达(ISAR)、短脉冲雷达成像等方面都得到了应用。

对窄带信号在波导中的传输^[2]以及波导色散对 ISAR 的影响问题^[3]已有人进行了讨论,但对超宽带信号通过波导后时域波形变化的分析尚未见到,因此,笔者对此进行了研究。

1 波导及信号源的模型

时域有限差分法(FDTD)采用对电磁场 E 、 H 分量在空间和时间上交替抽样的离散方式,应用这种离散方式将含时间变量的麦克斯韦旋度方程转化为一组差分方程,将求解空间离散化为网格,并在时间轴上逐步推进地求解空间电磁场^[4]。

本文以标准的“三公分”波导 WJB-100 为研究对象,其横截面尺寸为 22.86 mm × 10.16 mm。将波导的横截面(XOZ 面)离散为 10 × 5 的网格,空间步长分别为 $\Delta x = 2.286$ mm 和 $\Delta z = 2.032$ mm; Y 方向(即信号的传播方向)分两种情况取值,分别取 2 500 个网格(模拟传输距离为 5.715 m)和 4 900 个网格(模拟传输距离 11.186 7 m),空间步长为 $\Delta y = 2.286$ mm;时间取 30 000 步,步长为 $\Delta t = \min(\Delta x, \Delta y, \Delta z)/(2C)$ 。

采用新近流行适用于波导计算分析的完全匹配层(PML)作为吸收边界,它可以消除网格截断处的数值反射,保证计算的收敛性,真实模拟电磁波信号在波导中的传播情况。PML 边界设置见图 1。匹配层的 Y 向长度取 20 个网格,其空间步长及时间步长与前面所设置的相同。

采用调制高斯脉冲作为激励源,激励源设置在 y 轴的某个截面上,其时域表达式为 $E_i(t) = \cos(2\pi ft) \exp[-4\pi(t - t_0)^2/T^2]$ 。式中 f 为信号的中心频率,取 $f = f_0 = 1 \times 1010$ Hz。改变 t_0 和 T 的大小就可以改变信号的时域持续时间,模拟不同带宽的信号。当 $t_0 = 2000$, $T = 1500$ 时,信号的相对带宽近似为 $\Delta f/f_0 = 10\%$ (见图 3);当 $t_0 = 260$, $T = 226.087$ 时,信号的相对带宽近似为 $\Delta f/f_0 = 50\%$ (见图 9)。

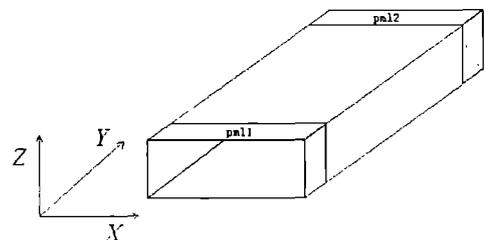


图1 两端加 pml 层的矩型波导示意图

收稿日期:2003-03-27

作者简介:常 硕(1970-),男,吉林长春人,讲师,主要从事电磁场理论与微波技术研究;
张智军(1960-),男,河北磁县人,教授,主要从事电磁场理论与微波技术研究。

2 信号在波导中传播模拟与分析

根据以上设置的参数,应用 Fortran 语言和 Origin 软件工具,进行计算机仿真计算,得到以下结果,见图 2 ~ 图 13。为便于比较讨论,首先模拟了窄带信号($\Delta f/f_0 = 10\%$)在波导中的传播情况:

从图 2 ~ 图 7 可以看到相对带宽为 10% 的信号在矩型波导中传播,其时域和频域都没有失真,与文献 [2] 所给结果相同,验证了程序和算法的正确性。从图 8 ~ 图 13 可以看到相对带宽为 50% 的超宽带信号在矩型波导中传播,其时域和频域都产生了失真,其频域变化情况如频谱图所标识。而且传播距离越远,失真越大。失真的原因是由于波导的截止和色散效应造成的,其中在 7×10^9 Hz 到 7.3×10^9 Hz 的频率范围内,其频谱幅度值下降了大约 85.3% (如图 11、图 13),据分析是由于波导的截止效应造成的,这一结果为超宽带雷达系统工程的研究提供了理论参考。

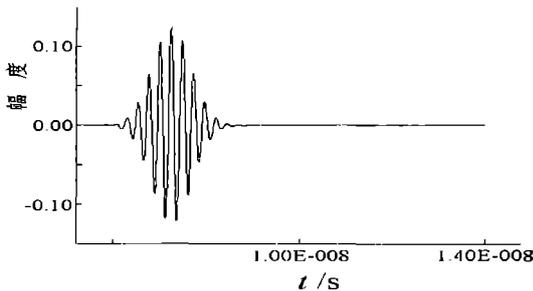


图 2 相对带宽 10% 时源的时域信号波形

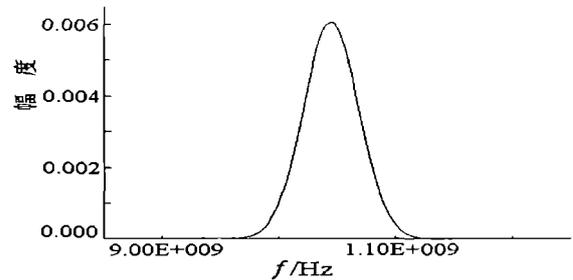


图 3 相对带宽 10% 源的频谱图

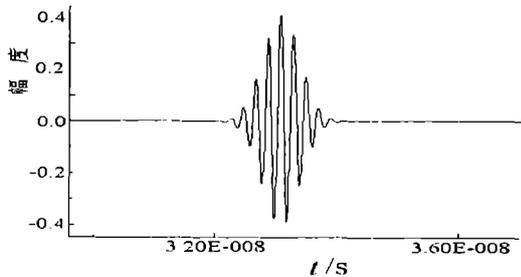


图 4 相对带宽 10% 距源 5 m 时或信号波形

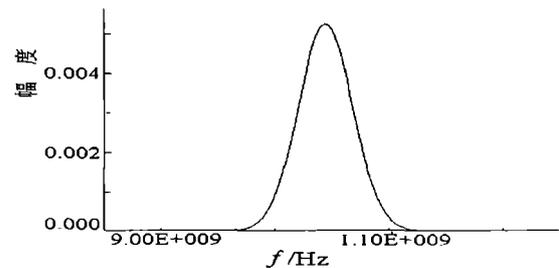


图 5 相对带宽 10% 距源 5 m 频谱图

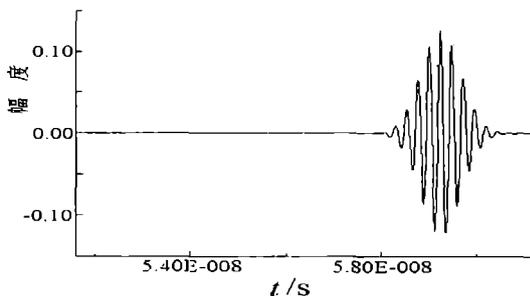


图 6 相对带宽 10% 距源 10 m 时或信号波形

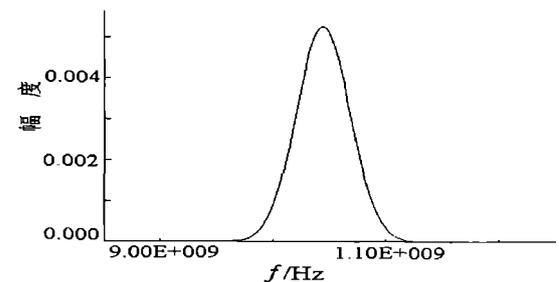


图 7 相对带宽 10% 距源 10 m 频谱图

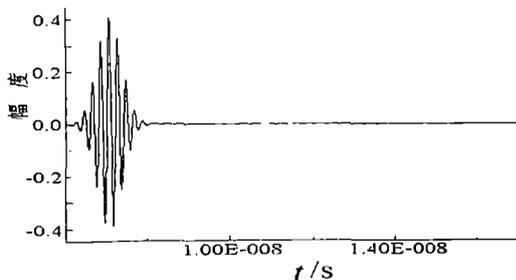


图 8 相对带宽 50% 源的时域信号波形

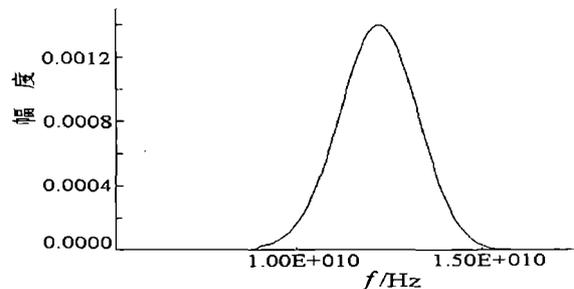


图 9 相对带宽 50% 源的频谱图

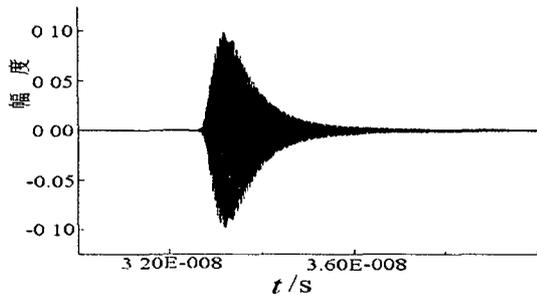


图 10 相对带宽 50% 距源 5 m 时域信号波形

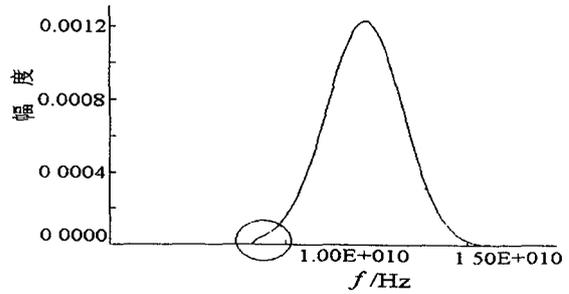


图 11 相对带宽 50% 距源 5 m 频谱图

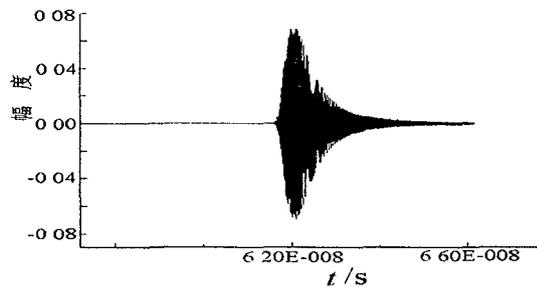


图 12 相对带宽 50% 距源 10 m 时域信号波形

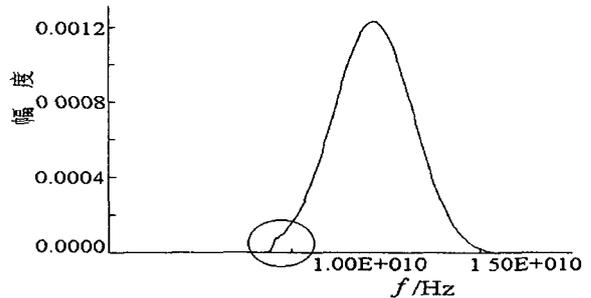


图 13 相对带宽 50% 距源 10 m 频谱图

3 结束语

本文运用时域有限差分法,通过计算机仿真,给出超宽带窄脉冲信号在波导中传输时波型变化情况。所得结果对窄脉冲超宽带雷达系统研究具有参考价值,其方法也可推广应用于其他传输线的传播特性研究。

参考文献:

- [1] 李海英,杨汝良. 超宽带雷达的发展、现状及应用[J]. 遥感技术与应用,2001,(3):178-183.
- [2] 柯林 R E. 微波工程基础[M]. 吕继尧,王尔杰. 北京:人民邮电出版社,1981.
- [3] 王国林,孟宪德,许荣庆. 波导色散对 ISAR 的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报,1994,6(3):70-73.
- [4] 葛德彪,闫玉波. 电磁波时域有限差分法[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.
- [5] Jean-Pierre Berenger. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves[J]. computational physics,1994, 114(2):185-200.
- [6] Jean-Pierre Berenger. Three-dimensional perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves[J]. computational physics,1996,127(2):363-379.
- [7] 王加莹,高本庆. 波导电路中运用 FDTD 法时的激励问题[J]. 电子学报,1997,(7):138-142.

(编辑:姚树峰)

Analysis of UWB Signal Propagating in Rectangular Waveguide Using FDTD Arithmetic

CHANG Shuo¹, CHEN Zhong-hui², ZHANG Zhi-jun¹

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. 95214 Unit, Changsha, Hunan 410015, China)

Abstract: In this paper the propagation of a UWB signal in rectangular waveguide is analyzed by FDTD arithmetic, and changes of the time domain waveform and the frequency spectrum of the ultra wide band signal in propagating in the waveguide are given respectively. The result shows that a UWB signal may distort while propagating in a rectangular waveguide, and the longer the distance, the greater the distortion.

Abstract: finite difference time domain (FDTD); ultra wide band signal; rectangular waveguide