

体目标射频回波信号实时仿真方法研究*

周建江** 舒永泽

(南京航空航天大学电子工程系 南京 210016)

【摘要】 讨论了四种射频回波信号实时仿真方法，即：使用专用硬件加速卡的射频回波信号实时仿真；使用多机系统的射频回波信号实时仿真；基于部分射频回波数据的实时内插或外推；利用 ISAR 像提取目标的主散射中心进行目标射频回波信号的实时计算。比较了四种实时仿真方法的异同。

关键词 实时仿真；数字信号处理器；电磁散射；数据外推；雷达成像；散射中心
中图分类号 TN957.52

三维体目标射频回波信号仿真由目标几何建模、电磁散射数值计算、计算加速和射频回波信号产生四部分组成。目标几何建模在专用 CAD 软件上进行。目标电磁散射场的分析计算有多种方法^[1~11]，其中，用于复杂目标高频电磁散射计算的方法一般为综合法，如物理光学板块法、GRECO 方法和 XPATCH 方法等^[2~5]。综合法电磁散射计算及前置处理往往计算量大，需要考虑计算加速问题。在 GRECO 方法中，采用了图形加速卡实现前置处理计算加速。美国 Sandia 国家实验室用多达1 024个节点的 nCUBE2超级阵列计算机对 XPATCH 进行并行化处理，从而实现了 XPATCH 的并行计算。

在 GRECO 方法的基础上，我们研制了用于 RCS 计算的曲面像素法，该方法电磁遮挡处理灵活、计算精度高、使用方便。但对于复杂目标，目前计算机的计算速度不能满足实时仿真的要求。为了加速射频回波信号计算以满足射频仿真的速度要求，本文提出了四种实时仿真方法：PC 机加专用硬件加速卡法、多机高速网络组网法、射频回波数据内插外推法和基于体目标的主散射中心模型实时计算法。前两种方法利用计算机并行技术实现加速，后两种方法在已有局部回波数据的基础上内插外推数据或提取简化的数学模型加速计算。

1 实时仿真的四种方法

1.1 专用硬件加速卡

将基于 ADSP21020的专用硬件加速卡与 PC 机一道组成目标射频回波信号的并行计算系统。另外，专用三维图形硬件加速卡用于三维体目标外形的 Z-Buffer 电磁遮挡处理和可视化显示。

像素法散射场计算公式为

$$E^s = E_0^i \frac{D e^{jKR}}{RI} \sum_{n=1}^N \sin c \left(k \frac{l}{\cos q} \sin q \right) e^{2jkz} \quad (1)$$

式中 l 是像素的边长； Δ 是目标可见表面微面元在计算机屏幕上的投影，即像素的面积。在用数字信号处理器(DSP)进行散射场计算时，三角函数值由查表法获得。内存中只要存放一个周期的正弦函数值，而余弦值利用 ADSP 的基寄存器及长度寄存器，错开90°后，直接从正弦函数值中读取。除三角函数外，式(1)的运算全是乘法累加，这可充分利用 DSP 的硬件结构特点，加速运算。基于 ADSP21020的硬件加速卡的组成框图如图1所示。

2000年9月11日收稿

* 国防科技预研基金资助项目

** 男 38岁 硕士 副教授

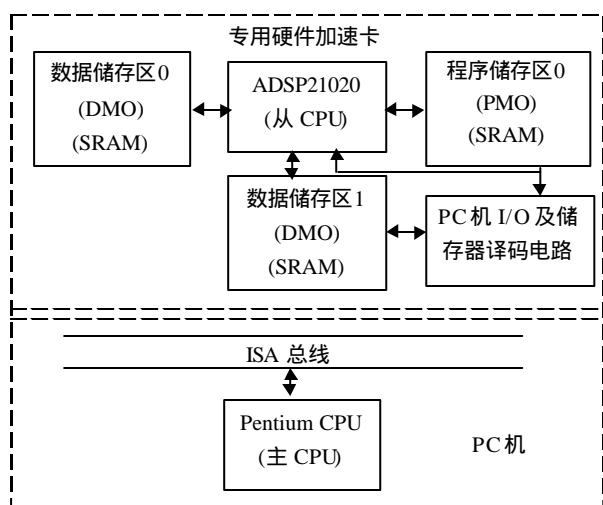


图1 专用硬件加速卡组成框图

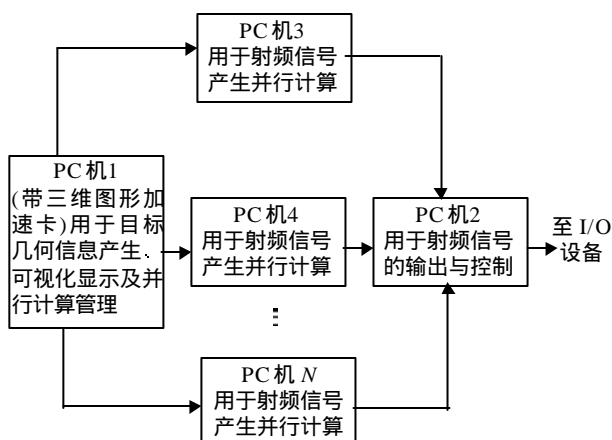


图2 射频仿真多机系统组成框图

为了测试专用硬件加速卡的计算性能，我们在主频为30 MHz 的 ADSP21020加速卡上进行了仿真试验，对于4 000的像素点数据，仅由 DSP 计算其散射场需要花费的时间为2.3 ms。而同样的计算量在 PENTIUM PRO180PC 机上所需的时间为3.2 ms。所以，用一块加速卡，计算速度可提高一倍以上。随着 DSP 和 PC 机主频的提高，计算速度会更快。

如果用单片 DSP 加速卡计算达不到实时要求，则可用多片 DSP 加速卡进行并行计算。当然，这时需要设计多片 DSP 之间及其与 PC 机间的拓扑结构。这种方法对有实时计算要求的场合具有普适性。

1.2 多计算机高速网络组网仿真

利用高速网络组网可实现三维体目标射频回波信号的实时仿真。在像素法电磁散射场计算中，由式(1)可知，目标的散射场是各像素散射场之和，每一个像素上的计算都是完全独立的，因此，有两种并行算法可供选择：多任务(Multitask)模式和农场主-雇员(Master-Worker)模式。本文选用多任务模式，具体的网络拓扑结构如图2所示。PC机1完成电磁散射计算的前置处理，将目标体上经遮挡处理后的可见像素点均匀地分配给 PC机3~PC机N，计算好的结果交给 PC机2累加并输出。计算表明，组网计算的瓶颈是网络的速度，随着网络速度的提高，该方法可实用化。

上述两种射频回波信号仿真方法的仿真速度能否满足实时要求，除取决于计算机的速度外，还取决于所用总线和网络的数据传输速度。研究表明，对于显示像素点不超过10 000的目标，如用第一种方案，只需单机加一块单片 DSP 加速卡，计算速度可达到每25 ms 产生一个射频回波数据。

1.3 射频回波数据内插和外推

在已有局部射频回波数据(实测数据或计算数据)的基础上，根据目标运动的空间交会关系，确定雷达相对于目标的视角，利用恰当的数学模型对已有局部数据进行内插或外推，获得所需视角下的射频回波数据。一般，用三次样条函数进行内插，用 AR 模型进行外推^[12]。由文献[12]可知，在目标不作大机动运动的条件下，外推精度能满足射频仿真的要求，且速度也能满足实时要求。

1.4 利用目标的散射中心模型实现射频回波信号的实时仿真

1.4.1 三维 ISAR 图像形成

三维 ISAR 图像的形成过程如图3所示。用计算或实测方法获取目标在频域、方位域和俯仰域的散射场数据样本，然后进行三维 FFT 变换，获得三维 ISAR 像。

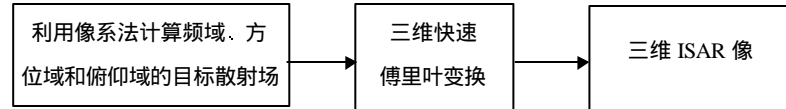


图3 三维 ISAR 像的形成过程

1.4.2 主散射中心提取

从三维 ISAR 图像中用 CLEAN 算法提取主散射中心模型的各主散射中心的位置和幅度^[14]。当 ISAR 图像中有噪声存在时，可以用矩阵束算法提取^[14]。

1.4.3 重建主散射中心模型的散射场计算

重建主散射中心模型散射场的计算为

$$E^S = \sum_{i=1}^N S_i e^{j f_i} \quad (2)$$

本文给出了一个由5个散射点组成的多点模拟目标的重建实例。多点模拟目标中5个散射点重建前后的幅度和位置见表1。重建前后多点模拟目标的 RCS 分布如图4所示。图中，波长为 5 cm，实线表示重建前，虚线表示重建后。计算时，方位转角为 3.2° (从 $-1.6^\circ \sim +1.6^\circ$)，数据样本点数为 32。由图4可见，重建前后，两者在 $-60^\circ \sim +60^\circ$ 范围内吻合较好，若要进一步提高精度，可增大方位转角。

表1 重建前后多点目标散射点的幅度与位置

点 序号	幅度		位置 (x, y, z)	
	原始值	重建值	原始值	重建值
1	1.1	1.075 2	(1.0, 0, 0)	(1.074 4, 0, 0)
2	2.0	1.973 5	(3.0, 0, 0)	(2.954 6, 0, 0)
3	2.0	2.003 9	(-3.0, 0, 0)	(-2.954 6, 0, 0)
4	3.0	3.048 6	(7.0, 0, 0)	(6.983 6, 0, 0)
5	3.0	3.058 9	(-7.0, 0, 0)	(-6.983 6, 0, 0)

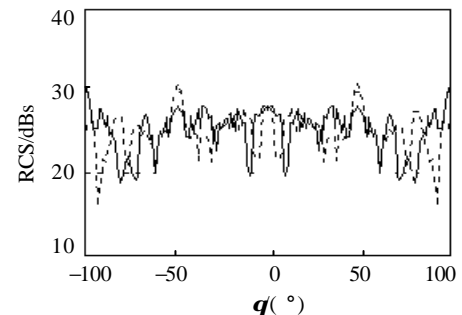


图4 重建前后多点目标 RCS 分布

2 结束语

目前，国内射频仿真系统所仿真的目标都是点目标，随着毫米波技术的发展，要求射频仿真系统能仿真出体目标的回波信号。本文对这方面工作的研究表明：随着计算机技术、网络技术、数字信号处理技术和电磁散射计算技术的发展，复杂三维体目标的射频回波信号实时仿真已能够实现。

参 考 文 献

- 1 Klement D, Preisser J, Stein V. Special problems in applying the physical optics method for backscatter computations of complicated objects. IEEE Trans-AP, 1988, 36(2): 228~237
- 2 周建江, 舒永泽. 用板块法计算任意复杂形体目标的雷达截面. 电子科学学刊, 1992, 14(5): 71~75

- 3 Rius J M, Vall-Ilossera M, Cardama A, GRECO: Graphical processing methods for high-frequency RCS prediction. *Ann Telecommun*, 1995, 50(5,6): 551~556
- 4 Rius J M, Ferrando M, Jofre L. High-frequency RCS of complex radar targets in real-time. *IEEE Trans-AP*, 1993, 41(9): 1 308~1 319
- 5 Lee S W, Reeves D D, Sullivan D P, *et al.* XPATCH: A high-frequency electromagnetic-scattering prediction code and environment for complex three-dimensional objects. *IEEE AP Magazine*, 1994, 36(1): 65~69
- 6 Rousselle S R, Sorby S S, Perger W F. NEW_IDEAS (numerical electromagnetics with I-DEAS) for visual electromagnetics. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 1994, 36(4): 7~13
- 7 Boutillier M, Blondeel-Fournier M A. CAD based high frequency RCS computing code for complex objects: Sermat. *Ann Telecomun*, 1995, 50(5,6): 536~539
- 8 Perez J, Catedra M F. Application of physical optics to the RCS computation of bodies modeled with NURBS surface. *IEEE Trans on AP*, 1994, 42(10): 1 404~1 411
- 9 Sancer M I, McClary R L, Glover K J. Electromagnetic computation using parametric geometry. *Electromagnetic Computation*, 1990: 85~103
- 10 赵志钦, 王建国, 黄顺吉. 合成孔径雷达的点目标模拟研究. *电子科技大学学报*, 1997, 28(5): 471~475
- 11 汤志伟, 赵志钦, 黄顺吉. SAR 原始数据的模拟研究. *电子科技大学学报*, 2000, 29(1): 17~19
- 12 Zhou Jianjiang, Zhu Zhaoda, Shu Yongze, *et al.* Extrapolation of RF echo signal based on AR modeling. *Journal of NUAA*, 1999, 2: 193~199
- 13 Segalovit A Z, Frieden B D. A 'CLEAN'-type deconvolution algorithm. *Astron Astrophys*, 1978, 70: 335~343
- 14 Hua Y, Sarkar T K. Matrix pencil method for estimating parameters of exponentially damped/undamped Sinusoids in noise. *IEEE Trans on AP*, 1990, 38(5): 814~824

Research on Methods of Real-time Simulation for RF Echo Signal of 3D Targets

Zhou Jianjiang Shu Yongze

(Dept. of Electronic Eng., Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016)

Abstract This paper deals with four methods of real-time simulation of RF echo signal of 3D targets: the adoption of special hardware accelerating cards to calculate RF echo signal in real-time; the use of multi-computers' system to calculate RF echo signal in real-time; the adoption of autoregressive (AR) model or 3-spline to extrapolate or interpolate RF echo data; the use of scattering centers extracted from inverse synthetic aperture radar (ISAR) image to calculate RF echo signal. The differences of such methods are analyzed.

Key words real-time simulation; digital signal processor; electromagnetic scattering; data extrapolation; radar imaging; scattering center