

- electromagnetic scattering. *IEEE Trans Antennas Propagat*, 1990, 38(9): 1429
- 11 Jin J M. *The Finite Element Method in Electromagnetics*. New York: Wiley, 1993
- 12 Holiday D, et al. Forward-backward: A new method for computing low-grazing angle scattering. *IEEE Trans Antennas Propagat*, 1996, 44(5): 722
- 13 Pino M R, et al. The generalized forward-backward method for analyzing the scattering from targets on ocean-like rough surfaces. *IEEE Trans Antennas Propagat*, 1999, 47(6): 961
- 14 Jin Y Q, et al. Simulation of scattering from complex rough surfaces at low grazing angle incidence using the GFBM/SAA method. *Trans IEE of Japan*, 2001, 121-A(10): 917
- 15 Pierson W J, et al. A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii. *J Geophys Res*, 1964, 69: 5181
- 16 Thorsos E I. The validity of the Kirchhoff approximation for rough surface scattering using a Gaussian roughness spectrum. *J Acoust Soc Am*, 1988, 83: 78
- 17 Tsang L, et al. *Scattering of Electromagnetic Waves; Numerical Simulations*. New York: Wiley, 2001
- 18 *IMSL MATH/LIBRARY-User's Manual*, Visual Numerics, Inc; see <http://www.vni.com>
- 19 Moran J. *An Introduction to Theoretical and Computational Aerodynamics*. New York: Wiley, 1984

重点项目“脑内电活动的三维动态成像”取得创新性成果

由清华大学高上凯教授主持的国家自然科学基金重点项目“脑内电活动的三维动态成像”已结题并验收。项目组利用头皮上记录的多通道脑电信号来分析脑内电活动的时空模式，探讨了实现脑-机交互控制的原理与方法，取得了创新性研究成果。

在基于分布电流源模型的脑电问题计算方面，研究了高效稳健的脑内电活动正问题和逆问题计算方法，包括求解正问题的边界元法，有限元法，有限体积法和求解逆问题的低分辨率电磁断层法(LORETA)，欠定系统局灶解法(FOCUSS)和收缩椭球法(Shrinking)。在此基础上，将 LORETA, FOCUSS 及 Shrinking 方法有机地组合起来，实现了具有较高分辨率的脑内电流源的强度与方向的三维重建。利用所提出的方法进行了两类肢体想像动作的脑电数据的识别，识别准确率最高为 88.89%，平均为 81.48%，达到国际先进水平。

在脑-机接口(大脑与外部设备之间建立的直接的交流通道)方面，项目组深入研究了稳态视觉诱发电位的特征和提取方法，设计了具有高传输速率的基于稳态视觉诱发电位的脑-机接口系统。该系统具有如下优势：信号的检测对人体无创；使用者无需繁琐的训练；系统构成相对简单，可用于残疾人的动作控制或环境设备控制等领域。经实际测试，系统的平均传输速率超过 40 bit/min，明显高于文献报道的当前国际 BCI 的传输速率(25 bit/min)。

在基于时空频模式分析的运动感知脑-机接口技术方面，研究了多种非依赖型脑-机接口系统中信号特征的提取方法，采用独立分量分析、共空域子空间滤波等信号处理方法，在运动诱发脑电的识别中取得明显效果。项目组于 2002 和 2003 年连续两年参加了由国际著名的脑-机接口研究机构(Wadsworth Center, NYS Department of Health 等)发起的全球脑-机接口数据竞赛，取得了优异成绩。其中在 self-paced 1s 数据分析中正确率达到 84%，在全部 15 个参赛小组中名列第一；在 P300 speller paradigm 数据分析中正确率为 100%，在 7 个参赛小组中并列第一。鉴于项目组的出色成绩，国际生物医学工程的著名刊物 *IEEE Trans. on Biomedical Engineering* 已经向项目组发出约稿邀请。

项目组的一些研究成果已申请了国内、外发明专利。脑电计算分析软件、脑机接口技术、高分辨脑电成像技术、视觉脑电单次提取技术、癫痫波自动检测技术等都有较大的临床应用前景，对拓宽脑电的临床诊断范围有重要意义。

供稿：黄斐梨