

遗传算法在微波成像中的应用进展

刘长军 黄卡玛 徐兰

四川大学电子信息学院, 成都, 610064

摘要: 本文简要介绍了遗传算法和微波成像技术的概念, 着重综述遗传算法在微波成像技术中的应用进展情况, 对遗传算法在微波成像中的优势和存在的限制作了简要讨论。

关键词: 遗传算法, 微波成像, 电磁学, 逆问题

1. 引言

遗传算法(Generic Algorithms, GA's)是现代优化算法中的一种, 具有算法简单和适应性强等优点, 已经广泛的应用到动力学、电磁学、生物医学工程等领域的优化问题中。遗传算法与模拟退火(Simulated Annealing)和蒙特卡洛技术 (Monte Carlo)都属于具有随机本质的全局优化算法^[1]。作为一种全局优化算法, 遗传算法已经成功地应用到一些逆问题的求解中。

微波成像(Microwave Imaging, MI)是指以微波作为信息载体的一种成像手段。微波成像就是用微波作为辐射源照射被测物体, 然后通过周围电磁散射场的测量来进行目标介电常数分布的反演成像。微波成像在生物医学工程的应用中具有特殊的优势, 由于微波成像可以获得温度分布的信息, 成为现代医学成像技术的补充^[2]。

遗传算法和微波成像技术在近年来都得到不断的发展和完善, 遗传算法在电磁逆问题的求解中得到一定的应用。本文首先简要介绍遗传算法和微波成像技术, 然后讨论遗传算法在微波成像中的应用。

2. 遗传算法和微波成像方法简介

遗传算法最初是在 70 年代初期由美国 Michigan 大学的 Holland 教授发展起来的。遗传算法依照达尔文关于自然界中物竞天择, 适者生存的选择与进化观点形成其最优化的搜索策略。一个遗传算法最优化方案通常包含以下操作步骤:

- a) 将参数编码为基因(Gene)并连接为一串构成染色体(Chromosome), 由多个染色体构成个体(Individual)。然后随机产生由个体组成的初始化群体;
- b) 对群体中个体适应度值评估, 并对群体中的个体依据适应度值进行选择复制;
- c) 通过重组和变异来产生有所进化的下一代群体。

遗传算法实际上是一种群体型算子运算, 该算子以群体中的所有个体为对象。选择(Selection)、交叉(Crossover)和变异(Mutation)是遗传算法的三个主要算子, 它们是遗传算法的主体。对遗传算法的改进主要集中在对这三个算子的改进和对编码的改进上, 例如: 实数编码、多点交叉、特殊变异等等多种改进方法。

微波成像的研究首先在 70 年代末开始于欧洲。目前, 西班牙、意大利、前苏联、日本、美国等许多国家的科学家相继宣布了已成功研制出的微波生物医学成像系统, 工作频率主要集中在 915MHz 和 3000MHz 附近。这些微波生物医学成像的空间分辨率可以达到 7mm, 温度分辨率可以达到 1℃。

实现微波成像算法种类很多, 如 FFT 变换、有限差分近似、矩量算法、混合元算

法、以及 Levenberg-Marquarde 算法等等来实现电磁学逆问题的求解^[3-5]。更常用的方法是采用适合的近似,将求解转化为第一类 Fredholm 积分方程的问题,然后进行数值求解。由于第一类 Fredholm 积分方程本身存在病态的问题,所以在实际求解过程中必须对病态问题进行分析考虑,通常采用正则化的方法进行解决。目前这方面的研究也主要集中在对分辨率的提高和对病态问题的解决上。利用遗传算法进行微波成像的反演计算是最近发展起来的一种新方法。

3. 遗传算法在微波成像中的应用

a) 介质的微波成像

在微波成像算法中,可以对待测区域的介电常数进行离散编码,定义适应度函数为测量散射场与计算散射场的差值。从而可以将微波成像逆问题的求解转化为一个求解该适应度函数极小值的优化过程。这样就可以利用遗传算法进行微波成像逆问题求解^[6]。

意大利研究者 Salvatore Caorsi 和 Matteo Pastorino 利用遗传算法数值模拟了二维介质柱的微波成像。^[7]他们利用波恩近似(Born approximation, BA),通过假设散射电磁场远远小于入射电磁场,即 $|E^{scat}(\vec{r})| \ll |E^{inc}(\vec{r})|$,进行线性化提高散射场解析值的计算速度。然后设定散射场的数值计算值与测量点的散射场差值的平方和作为适应度函数,通过遗传算法完成对介质的微波成像。他们采用 32 个测量点,给出了对 $\lambda_0/4$ 直径的介质柱和 $\lambda_0/4$ 直径的空心介质柱成像的结果。在遗传算法中,他们取交叉概率 $P_c=0.7$,变异概率 $P_m=0.0004$,群体个数大于 100。当入射波方向从 1 个增加到 4 个,迭代步数达到 2000 时,该方法对 900 个网格的区域给出的成像结果还是比较令人满意。

b) 导体的微波成像

由于导体不存在介电常数和电导率的变化,所以导体的微波成像中只需要对其外形轮廓进行反演计算^[8]。这一研究国内外开始较早,雷达在一定意义上也可以说是一种导体的微波成像技术。

卿永安和任朗等研究者通过构造连续编码,利用遗传算法对多导体的情况进行了二维微波成像的研究^[9]。他们使用 100MHz 的参考频率,通过 6 个入射方向对半波长的导体轮廓进行反演计算。该正问题依靠解析解的数值计算获得。在遗传算法中,他们取交叉概率 $P_c=1.0$,变异概率 $P_m=0.002$,群体个数为 60。对单个导体和多导体情况进行了数值模拟,结果也比较令人满意。同时,他们还进行了随机噪声干扰测量数据的研究。在加入 10%到 20%的噪声干扰时,反演结果依然较好。因此他们认为该方法可以承受不低于 10%的噪声干扰。

钱祖平和洪伟等研究者改进了微波成像正问题的计算方法,通过采用 FD MEI 方法提高了正问题计算效率,从而加快了遗传算法反演速度^[10]。他们对介质和导体成像都进行了数值模拟研究,适合于大目标远区散射场的成像计算。在遗传算法中:种群个数定为 80,采用赌轮选择且保留最佳个体,交叉概率 $P_c=0.90$,采用一点交叉,变异概率为 $P_m=0.001$ 。他们研究了两种不同的适应度函数,都取得了较满意的成像。他们主要是利用了遗传算法全局优化的特点和 FD MEI 对正问题计算效率的提高。

4. 讨论及展望

遗传算法在微波成像中的应用具有简单、通用和鲁棒性强(Robust)等特点,而且遗

传算法本身具有的特性使其易于实现并行计算。该方法的优点在于:

- a) 简单性: 只需要知道如何计算正问题, 并设计适应度函数进行评估, 然后通过遗传算法不断的迭代计算得到最优的反演的结果。因为避免了对逆问题的描述, 使该方法使用相对简单。
- b) 通用性: 由于对于各种微波成像方法, 只需要对正问题的计算和适应度函数做出修改, 而遗传算法程序不需修改即可使用, 从而该方法具有很强的通用性。

应该注意到遗传算法本身并不能解决电磁逆问题中的病态问题。正如文献中所给出的计算实例, 均对成像区域、介电常数的范围都进行了限制, 并通过多角度入射和增加测量点来提供更丰富的信息, 从而减少逆问题的病态。例如, 文献[9]给出该方法可以承受 10% 以上的随机噪声干扰, 显然这对于病态问题是不可能实现的。任何数学的技巧都不能弥补信息的缺乏, 所以在微波成像中应用遗传算法时, 应该尽可能增加测量信息并充分利用先验的信息^[11,12]。

遗传算法用于微波成像也存在相应的缺点: 计算效率低, 消耗 CPU 时间多。因此, 需要对遗传进行改进的同时提高正问题的计算速度, 才可以通过该方法得到满意的结果。随着计算机硬件的发展和并行技术的提高, 将来遗传算法可望在微波成像中得到更广泛的应用。

5. 参考文献

- [1] 邢文训, 谢金星. 现代优化计算算法, [M] 清华大学出版社, 1999
- [2] J. Ch. Bolomey. Recent European Development in Active Microwave Imaging for industrial, Scientific and Medical Applications. [J] IEEE Trans. MTT, 1989, 37(12):2109~2117
- [3] S. Barkashli and R. G. Lauzenheiser. An iterative method for inverse scattering problems based on an exact gradient search. [J] Radio Science, 1994, 29(4):1119~1130
- [4] M. M. Ney, A. M. Smith and S. S. Stuchly. A solution of electromagnetic imaging using pseudoinverse transformation. [J] IEEE Trans. Med. Imaging, 1984 3(4):155~162
- [5] 陈星, 黄卡玛, 袁渊等. 微波生物学成像算法中的病态及伪逆问题, 电波科学学报 [J], 2000 15(1):65-69
- [6] D. S. Weile and E. Michielssen. Genetic Algorithm optimization applied to electromagnetics: A review. [J] IEEE Trans. AP 1997 45(3):343-353
- [7] S. Caorsi and M. Pastorino. Two-dimensional microwave imaging approach based on Genetic Algorithm. [J] IEEE Trans. AP 2000 48(3):370-373
- [8] C.C. Chiu and P.T. Liu. Imaging reconstruction of a perfectly conducting cylinder by the genetic algorithm. Proc. Inst. Elect. Eng. Pt. H, 1996 (143):249-253
- [9] 卿永安, 李敬, 任朗等. 多导体柱的微波成像连续编码遗传算法, 地球物理学报 [J], 1999 42(6):841-848
- [10] 钱祖平, 洪伟. 遗传算法和 FD MEI 方法应用于二维电磁成像, 应用科学学报 [J], 2000 18(1):20-23
- [11] C. Lanczos. Linear differential operators. [M] New York, 1961
- [12] Andreas Kirsch. An introduction to the mathematical theory of inverse problems. Springer-Verlag, 1996