ETH zürich

ETH Library

Full wave solution of inverse electromagnetic problems

applications in environmental measurement techniques

Doctoral Thesis

Author(s):
Oswald, Benedikt

Publication date:
2000

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-003890249

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH No. 13525

Full Wave Solution of Inverse Electromagnetic Problems

-

Applications in Environmental Measurement Techniques

A PhD Thesis submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology
Zurich

For the Degree of
Doctor of Technical Sciences

Presented by
BENEDIKT OSWALD
Dipl. El. Ing. ETH
born April 18, 1967
from Buenzen AG

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. W. Bächtold, examiner
Prof. Dr. H. Flühler, Prof. Dr. R. Vahldieck, coexaminers

2000

ABSTRACT

This Ph.D. thesis is concerned with the numerical full wave solution of inverse electromagnetic problems that can arise in a variety of applications, e.g. time domain reflectometry (TDR) for water content measurements. These problems are in general non-linear and therefore the computational burden is huge. Furthermore, the non-linearity introduces multiple local solutions that must be rejected by using globally optimizing methods. In this interdisciplinary thesis the following subjects have been addressed. (1) The development of a robust parameter extraction software, **deimos**, for the measurement of the dispersive dielectric properties of natural materials. Such materials exhibit considerable dielectric and ohmic losses where conventional commercially available methods usually fail. (2) The development and investigation of a physical yet flexible model for the frequency dependence of the dielectric is a key component of this method. (3) The development of a one-dimensional (1D) deconvolution code, **decoTDRpshmem**. This code is capable of reconstructing one-dimensional distributions of dielectric properties in the longitudinal direction of a TDR probe, based on a finite difference time domain (FDTD) forward solver in combination with a globally optimizing genetic algorithm (GA). (4) The development and both numerical and experimental validation of a new type of time domain reflectometry (TDR) probe that eliminates substantial problems encountered by conventional transverse-electric-magnetic (TEM) based TDR probes. This probe has been filed as a patent application with the European Patent Agency. (5) The development of the 2.5-dimensional FDTD electromagnetic solver, **fwdSolver2Dpshmem**, in cylindrical coordinates for the full wave analysis of the Sommerfeld-Goubau transverse-magnetic (TM) TDR probe, including visualization using the commercial AVS software for data visualization. (6) The development of a three-dimensional (3D) FDTD electromagnetic solver, **fwdSolver3Dpshmem**, in cartesian coordinates. This code is used in the investigation of microwave tomography concepts, which require a flexible input parameter generation code, **pandora**, and a visualization environment on the basis of AVS. It is demonstrated, numerically and experimentally, that the reconstruction of one-dimensional water content profiles is feasible using considerable computational power. Therefore, the electromagnetic solvers have been developed to take advantage of parallel computing hardware. It is shown that parallelization is a viable way to speed up numerical codes while introducing only a limited amount of additional complexity. Although parameter reconstruction is currently only possible for TEM type probes in one single spatial dimension, within a reasonable time frame, we are confident that the deconvolution of TDR signals from Sommerfeld-Goubau type probes will be possible quite soon.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Dissertation befasst sich mit der numerischen Full-Wave Lösung von inversen elektromagnetischen Problemen, wie sie beispielsweise bei der Anwendung der Time-Domain-Reflectometrie zur Messung des volumetrischen Wassergehaltes im Boden auftreten. Solche Probleme sind im allgemeinen nicht-linear und erfordern zu ihrer Lösung einen beträchtlichen Rechenaufwand. Die Nichtlinearität führt zu einer Vielzahl von lokalen Optima, welche zugunsten des globalen Optimums ausgeschlossen werden müssen. In dieser interdisziplinären Arbeit wurden die folgenden Teilprobleme bearbeitet und gelöst. (1) Die Entwicklung eines numerischen Codes zur robusten Extraktion dielektrischer Modellparameter aus gemessenen Streuparametern. (2) Die Entwicklung und Untersuchung eines physikalische begründeten, aber dennoch flexiblen Modells zur Beschreibung der dispersiven dielektrischen Eigenschaften von natürlichen Materialien als Basis des vorgenannten Codes. (3) Die Entwicklung eines eindimensionalen Dekonvolutionscodes, **`decoTDRpshmem`**. Dieser Code rekonstruiert eindimensionale dielektrische Profile in der longitudinalen Richtung einer TDR Sonde. Der Solver basiert auf der Methode der Finite-Differenzen Methode und ist mit einem global optimierenden Genetischen Algorithmus (GA) gekoppelt. (4) Die Entwicklung und experimentelle Charakterisierung einer neuen Einstab-TDR Sonde, die wesentliche Probleme, welche bei konventionellen Zweidrahtsonden auftreten, eliminiert. Dieser Sondentyp wurde beim Europäischen Patentamt in München als Patentantrag eingereicht. (5) Die Entwicklung eines 2.5-dimensionalen Finite-Difference-Time-Domain (FDTD) basierten elektromagnetischen Solvers in zylindrischen Koordinaten zur Full-Wave Analyse der vorerwähnten Sommerfeld-Goubau Einstabsonde. Zur Visualisierung der dabei erzielten Ergebnisse wurden entsprechende Routinen auf der Basis der kommerziellen Graphiksoftware AVS entwickelt. (6) Die Entwicklung, in den Grundzügen, eines dreidimensionalen elektromagnetischen FDTD basierten Solvers in kartesischen Koordinaten. Dieser Solver wird zur Untersuchung von Konzepten für die Diffraktionstomographie auf der Basis von Mikrowellen benützt und basiert auf einer flexiblen Generation des Inputs in Form der Materialparameter und entsprechenden Routinen zur Visualisierung der Ergebnisse, ebenfalls auf der Basis von AVS. Es wird numerisch und experimentell gezeigt, dass die Rekonstruktion von dielektrische Profilen möglich ist, unter der Voraussetzung, dass entsprechende Rechenleistung zur Verfügung steht. Deshalb wurden die elektromagnetischen Solver so ausgelegt, dass sie in der Lage sind mehr als einen Mikroprozessor gleichzeitig zu nutzen beziehungsweise parallelisiert. Dies erforderte nur einen geringen Mehraufwand. Obwohl Profilrekonstruktion gegenwärtig nur für Zweidrahtsonden implementiert ist, ist davon auszugehen, dass dies bald auch für Sommerfeld-Goubau Einstabsonden möglich sein wird.