

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 超寬頻通訊系統應用於埋藏於三層介質中複雜物體影像重建 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 96-2221-E-032-001-  
執行期間：96年08月01日至97年07月31日  
執行單位：淡江大學電機工程學系

計畫主持人：丘建青

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：孫積賢  
碩士班研究生-兼任助理人員：范裕昇  
碩士班研究生-兼任助理人員：李卓儒  
博士班研究生-兼任助理人員：黃中信

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 97年10月22日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

超寬頻通訊技術應用於介質物體之電磁成像

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC：96-2221-E-032-001

執行期間： 96 年 8 月 1 日 至 97 年 7 月 31 日

計畫主持人：丘建青 教授

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學電機系

中 華 民 國 97 年 10 月 16 日

# 超寬頻通訊系統應用於埋藏於三層介質中複雜物體影像重建： Imaging Reconstruction of Embedded Complex Objects Base on Ultra Wide-Band System.

計劃編號: NSC : 96-2221-E-032-001

執行期間: 96 年 08 月 01 日至 97 年 07 月 31 日

計劃主持人: 丘建青

淡江大學電機系教授

## 一、計劃中文摘要(關鍵詞: 逆散射, 複雜物體、基因法則、時域有限差分法)

本報告研究一數值方法, 主要研究以時域脈衝微波通訊系統討論二維掩埋於三層介質中複雜柱體的電磁影像重建問題。吾人選定應用有限時域差分法(FDTD)來模擬超寬頻通訊系統中電磁場隨著時間的變化, 並將其應用於電磁逆散射問題上。假設有一空間分成三個空間, 一個未知一金屬管掩埋在第二個空間, 並且以均勻介質塗附於此柱體外部。吾人於第一個空間適當安排於不同位置發射脈衝波(TM 波)照射物體並且僅於第一空間量測散射場, 經由適當的處理以反求埋藏於另一空間中複雜物體的位置、大小與內部特性。吾人將利用接收到的散射場及適當的邊界條件, 利用基因法則將複雜物體之超寬頻影像重建問題轉化成一最佳化問題。藉以埋藏於三層介質中的複雜物體之位置、形狀和介電常數分佈。

本研究引入次網格技術, 以提高解之精確度, 並可以對於物體描述更加細微。即使介電物體介電體材質特性分佈與環境之材質特性具有較高之對比度, 此數值方法亦能適用。本研究模擬之數值結果顯示, 此數值方法運用於重建埋藏於三層介質中的複雜物體之電磁特性, 可以得到良好之重建結果。

英文摘要(Keywords : Inverse scattering, complex objects, genetic algorithms, Finite

Difference Time domain methods)

We propose a method for solving the inverse scattering problem which of a two-dimensional (2-D) homogeneous dielectric cylinders with unknown cross section coated on a circular conducting cylinder embedded in three-layered material medium. Finite difference time domain method (FDTD) is used to solve the electromagnetic wave inside the complex object for the Ultra Wide-Band (UWB) communication system. The transmitting antennas are located in the top layer to illuminate the complex cylinder which is buried in the second region. The scattering fields are collected by receiving antennas only in the top layer. The measured scattering fields are compared with the calculated fields obtained by our developed FDTD code. Genetic algorithms are then used to transform the inverse scattering problem into an optimization one. By properly processing the scattered field, some EM properties can be reconstructed. Ones are the relative dielectric constant and shape of the dielectric object, the others are the location and radius of the circular conducting cylinder. Finally, the original images are compared with the reconstructed images to verify the reconstructed quality.

This method is tested by several numerical

examples, and it is found that the performance of the GA is robust even for reconstructing the complex scatterers. Numerical results show that satisfactory reconstruction has been obtained.

## 二、計劃緣由與目的

微波成像(microwave imaging)是一種藉由儀器量測所得之微波能量訊號並將此能量訊號經由適當處理轉換成影像的形式來呈現的一種技術。此技術經常被應用於非破壞性檢測、遙測礦產資源、醫學影像等問題。由於微波能量具有穿透力，因此微波能量照射在介質物體上會產生反射、散射與透射波。並且此散射波會因為入射波的極化、頻率提供不同的微波能量訊息。因此近年來微波成像技術受到學者們的重視也使得微波成像(microwave imaging)於逆散射之領域一直不斷地發展。然而微波成像技術亦有其天生之缺憾：非唯一解問題(non-uniqueness)、不良情況問題(ill-posedness)、非線性問題(nonlinearity)。

(1) 非唯一解問題(non-uniqueness)、不良情況問題(ill-posedness)[1]:其構成主因乃是由於散射場資訊收集不完全所構成。因為微波成像問題中散射場資訊必須藉由收發機擷取，但是收發機位置會受到空間限制，進而影響散射場資訊完整性。因此若能多方面收集各種不同入射角度、不同頻率，甚至不同極化的散射場則解決上述之問題。

(2) 不良情況問題(ill-posedness):逆散射問題中積分方程式的核心(kernel)是一個平滑函數(smoothing function)，所以散射場的一點小誤差往往會造成反求出來的散射體特性函數發生巨大的誤差，導致嚴重的不良情況(ill-posedness)。為了克服這種解答不穩定的問題，許多正則化(regularization)的方法被提出來，如全變動正則法(Total Variation Regularization Method)[2]、邊緣保存正則法(Edge-Preserving Method) [3]與 Tikhonov 正則法[4]等。

(3) 非線性問題(nonlinearity):由於微波成

像問題中探測物體與微波之交互作用產生的多重散射現象。使得此電磁場積分方程式成為非線性積分方程式。雖有研究學者提出各種線性近似法，此類線性近似法求解速度快，但是其影像解析度不佳而且有許多限制。

為了要克服上述之問題，因此有許多最佳化方法被提出，主要是將逆散射問題轉換成最佳化問題，以進行最佳化解之搜尋。一般而論，價值函數皆以取量測散射場與計算散射場之均方根誤差值來定義，再藉由搜尋價值函數之極值，求解出滿足散射體材質特性之最佳解。有時候則需外加正則化之項次(regularization term)以克服不良情況。此最佳化問題可以再細分為二種，第一種是具有區域性(local)搜尋能力之逆程序，此種程序通常是遵循梯度法之基本精神，能夠快速地搜尋到可能之解，此種解是根據此程序之初始猜測值而求得，總是落在初始猜測值附近之區域極值，除非初始猜測值相當合適，否則無法得到全域性最佳解，故此類之方法強烈依賴著初始猜測值。第二種最佳化搜尋法則具有全域性(global)搜尋之能力，包含基因法則(genetic algorithm)[5]-[7]、類神經網路法(neural network) [8]，與 differential evolution strategy [9]-[10]等。本研究主要探討埋藏於三層介質中的複雜物體的逆散射問題。吾人僅利用置於第一空間中的收發機所擷取的散射場進行電磁成像研究。

## 三、研究方法與成果

### (一) 時域有限差分法與次網格技術

本文主要探討埋藏於三層介質中的複雜柱體的逆散射問題，問題結構如圖一所示，其中正散射，利用有限時域差分法(FDTD)建構出問題空間(Problem Space)，並且將掩埋於三層結構中之複雜柱體逆散射問題轉化成一最佳化問題，利用基因法則配合 FDTD 重建此三層結構中柱體的位置、形狀大小...等。在柱體的形狀描述方面，吾人使用三次仿樣函數模擬未知形狀的柱體。考慮一個任意截面形狀之均勻介電物

體(散射體)置於第二空間( $\epsilon_2, \mu_2$ )中，此散射體(scatterer)的內層為金屬管(metal pipe)，外層為一均勻介電材料，如圖一所示，其相對介電係數(relative permittivity)與導磁係數(permeability)分別為 $\epsilon_3$ 與 $\mu_3$ 。假設其柱軸方向於 $Z$ 方向無限延伸，亦即，物體材質特性隨 $X$ 與 $Y$ 座標改變，與 $Z$ 方向無關。吾人於以至於第一空間中點波源(Tx)依序發射高斯脈波激發問題空間，接收點(Rx)也置僅於第一空間，僅測量電場資訊。

時域有限差分法(Finite Difference Time Domain, FDTD)[11]是將微分形式的馬克斯威爾方程式(Maxwell's equations)以差分離散化後，使用蛙跳式的方法依序交換地計算空間中電場和磁場隨時間變化的情形。為了使FDTD在描述細微結構能有更佳的解析度，得將格子切的很細，但是整個模擬空間都切細必須付出相當多的運算時間和記憶體。對於此情況，我們運用“次網格”技術來描述細微結構部份，此技術可以只將細微結構區域的格子切細，其他區域則仍然使用大尺寸的網格，這樣做能省下許多的運算時間和記憶體，格子切細區域稱為“次網格”，大網格與次網格更新時序表示於圖二。在本報告中將用來描述複雜柱體的細微結構[12]。

## (二) 逆散射與數值模擬結果

本報告所討論的模擬環境配置，如圖一所示，它為一個二維的三層介質空間，在第二層空間中埋藏一個金屬柱體，並於此金屬柱體外層塗覆一相當厚度均勻介電材質。吾人設定第一空間中有兩個點波源分別於(35.3cm, 23cm)、與(-35.3cm, 23cm)，其發射最高振幅為1000(V/m)的高斯脈波，定義如(4)。

$$E_z = \begin{cases} Ae^{-\alpha(\tau-\beta\Delta t)^2}, & t \leq T \\ 0, & t > T \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\beta = 17$ ， $A = 1000$ ， $\Delta t = 34.685 ps$ ， $T = 1.17929 ns$ ，以及 $\alpha = 0.46 \times 10^{20}$ 。

量測點的擺置部份，吾人皆將12個量測點( $M_t = 12$ )於第一空間中以線型排列(距離第二空間邊界16.2cm)擷取電磁散射資訊，量測點之間距離為7.5cm。

在基因演算法上，我們定義適應函數為下式：

$$fit = \frac{1}{\sum_{l=1}^{S_{inc}} \sum_{n=1}^{M_t} \sum_{m=1}^{T_s} |E_s^{exp}(l, n, m) - E_s^{cal}(l, n, m)|} \quad (2)$$

$S_{inc}$ ：發射波源的數目。

$M_t$ ：觀測點的數目。

$T_s$ ：表示跑了幾個Time Step。

$E_s^{cal}(n, m)$ ：表示經由FDTD所計算出的散射場。

$E_s^{exp}(n, m)$ ：表示我們所測量到的散射場。

這適應函數表示逆散射的每個物種中分別在不同的點波源激發時需要跑300 Time Step，且接收12個觀測點的散射場來計算適應值，當適應值的數值越大表示複雜柱體的大小、位置、形狀與介電特性跟實際狀況會越相近，重建的效果越好。

為了要更細微的描述複雜柱體的形狀，不同比例的FDTD次網格技術被使用於正散射(1:9)與逆散射(1:5)中。本報告在逆散射的求解上，利用基因法則結合FDTD來重建複雜柱體的形狀、大小、位置與介電特性。對於任意形狀柱體的形狀函數 $F(\theta)$ ，如圖四所示，吾人利用仿樣函數(cubic-spline)來描述[13]，首先將此任意形狀圖形之邊界切割成 $N$ 份，切割點共有 $N+1$ 點。切割點的極座標表示為 $(\theta_0, \rho_0)$ ， $(\theta_1, \rho_1), \dots, (\theta_N, \rho_N)$ ，其中 $0^\circ \leq \theta_i \leq 360^\circ$ ， $i = 0, 1, \dots, N$ ， $\theta_0 = 0^\circ$ ， $\theta_N = 360^\circ$ ，且 $\theta_0 < \theta_1 < \dots < \theta_N$ 。 $\rho_0$ 為點 $(\theta_0, \rho_0)$ 至圖形中心點 $(x_0, y_0)$ 之距離。圖形邊界可以使用三次多項式描述，且多項式滿足下列以下連續條件：

$$\begin{aligned} P_i(\theta_i) &= P_{i+1}(\theta_i) = \rho_i \\ P'_i(\theta_i) &= P'_{i+1}(\theta_i) \end{aligned} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$P_i''(\theta_i) = P''_{i+1}(\theta_i)$$

$$\begin{aligned} \text{和} \quad P_1(\theta_0) &= P_N(\theta_N) \\ P'_1(\theta_0) &= P'_N(\theta_N) = \rho'_N \\ P''_N(\theta_0) &= P''_N(\theta_N) \end{aligned} \quad (4)$$

藉由三次仿樣函數我們僅需要 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N$ 以及第一個切割點的斜率 $\rho'_N$ 便可以描述任意連續平順的柱體形狀。基因法

則配合三次仿樣函數便可以有效地重建微波影像。

在報告數值結果之前，我們定義了形狀誤差公式來評估重建影像的優劣(介質塗層)：

$$shape\ error(\%) = \int_0^{2\pi} \left| \frac{F^m(\theta)^2 - F^c(\theta)^2}{F^c(\theta)^2} \right| d\theta \times 100\% \quad (5)$$

其中  $F^c(\theta)$  與  $F^m(\theta)$  分別為真實的形狀函數與重建後的形狀函數

$$\text{介質塗層介電常數誤差量: } \frac{|\varepsilon - \varepsilon_c|}{\varepsilon}$$

$$\text{金屬管的位置誤差量: } \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}}{R} = \frac{\Delta R}{R}$$

$$\text{金屬管的半徑誤差量: } \frac{|R - R_c|}{R}$$

基因演算法中參數搜尋範圍設定如下：

- 複雜柱體的 x 座標：0~58.8 cm
- 複雜柱體的 y 座標：0~42.6 cm
- 複雜柱體中金屬管半徑：0~14cm
- 複雜柱體的介質塗層形狀  $(\rho_i, \theta_i)$ ：0~18cm
- 複雜柱體的介質塗層材質  $\varepsilon_3$ ：1-16  $\varepsilon_0$
- 仿樣函數第一點切割斜率  $\rho'_N$ ：0~1

在這裡以三個 Case 來探討重建情況，所有例子中基因演算法設定還原複雜柱體的參數共有 13 個，分別為複雜柱體中心的 x 座標、y 座標和複雜柱體的介質塗層形狀  $(\rho_i, \theta_i)$ ， $i=1,2,\dots,8$ 、複雜柱體的介質塗層材質、嵌於複雜柱體中金屬管半徑、仿樣函數第一點切割斜率  $\rho'_N$ ：0~1。基因法則中族群大小則設定為 156、Rank 為 117、交配率為 0.1、突變率為 0.025。

**Case A：**

**複雜柱體位置:(0cm, -21.3cm)**

**介電塗層形狀:**  $F(\theta) = 14.7\text{cm}$ ,  $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$

**介電塗層材質  $\varepsilon_3$ : 3.6  $\varepsilon_0$**

**金屬管半徑: 8.8cm**

圖四顯示 Case A 複雜柱體的介質塗層重建影像形狀。圖五為 Case A 中複雜柱體各種參數重建誤差，此基因法則搜尋最佳的形狀誤差達 3%，並且介質塗層介電常數、柱體位置、金屬管半徑重建誤差皆為 1% 以下。因此顯示此基因法則應用於此類的電磁成像問題有相當不錯的成

效。

**Case B：**

**複雜柱體位置:(0cm, -21.3cm)**

**介電塗層形狀:**

$$F(\theta) = 11.76 + 2.94 \cos(2\theta)\text{cm}, \theta = 0^\circ \sim 360^\circ$$

**介電塗層材質  $\varepsilon_3$ : 3.2  $\varepsilon_0$**

**金屬管半徑: 5.9cm**

圖六顯示 Case B 複雜柱體的介質塗層重建影像形狀。其中顯示即使初代誤差相當大的形況下基因法則能可以找出全域最佳化的解。圖七為 Case B 中複雜柱體各種參數重建誤差，此基因法則搜尋最佳的複雜柱體特性參數誤差皆為 2% 以下。因此顯示此基因法則應用於此類的電磁成像問題有相當不錯的成效。

**Case C：均勻介質柱體形狀函數**

**複雜柱體位置:(0cm, -21.3cm)**

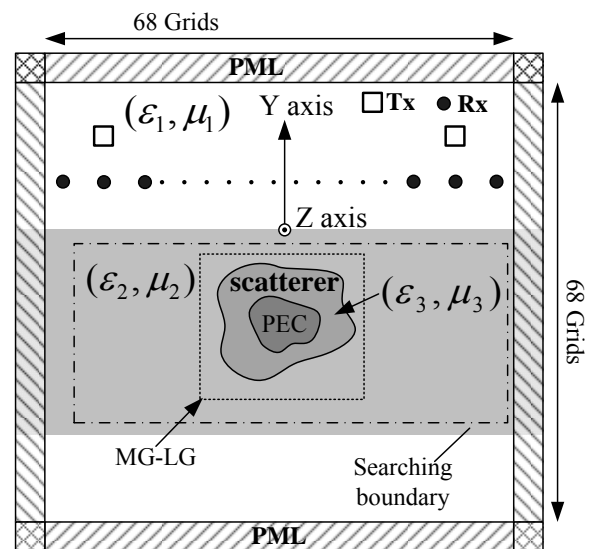
**介電塗層形狀:**

$$F(\theta) = 11.76 - 1.47 \cos(3\theta)\text{cm}, \theta = 0^\circ \sim 360^\circ$$

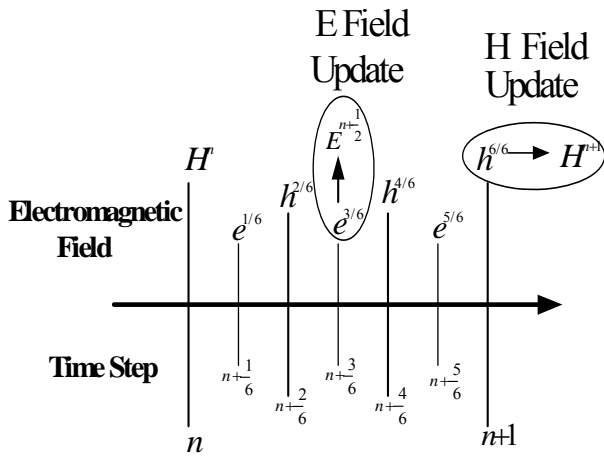
**介電塗層材質  $\varepsilon_3$ : 3.0  $\varepsilon_0$**

**金屬管半徑: 7.4cm**

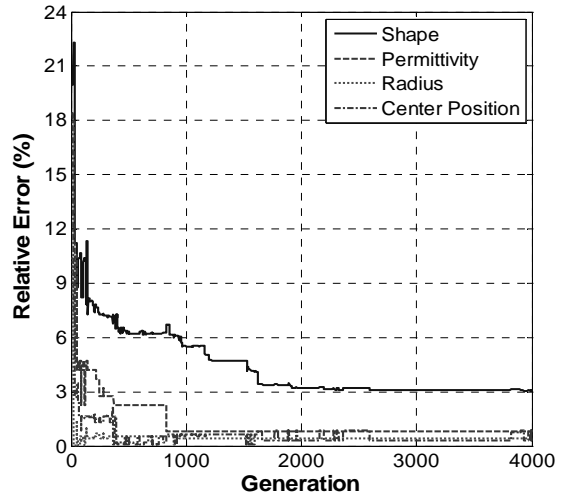
在這例子中基因演算法的參數設定與 Case A 相同，圖八顯示在重建過程中吾人的逆散射法則在處理複雜的形狀函數，仍然有效。圖九為 Case C 中複雜柱體各種參數重建誤差。在此例中複雜柱體特性參數誤差皆為 2% 以下。



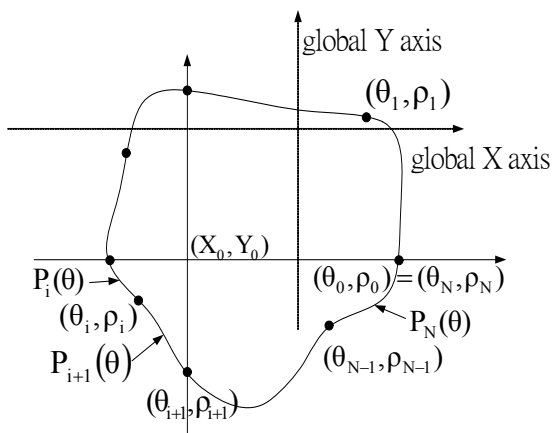
圖一 模擬之環境結構圖。



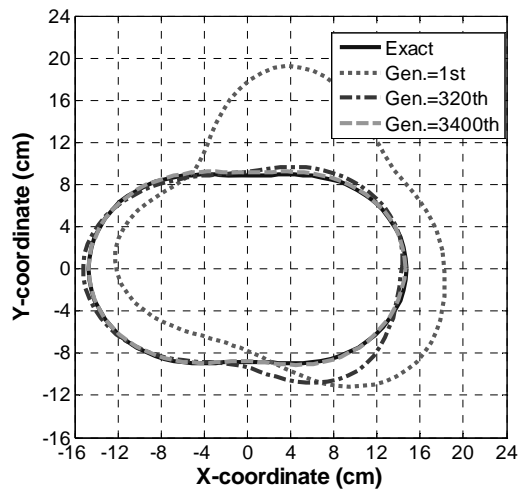
圖二、粗網格與次網格運作的時序流程圖。



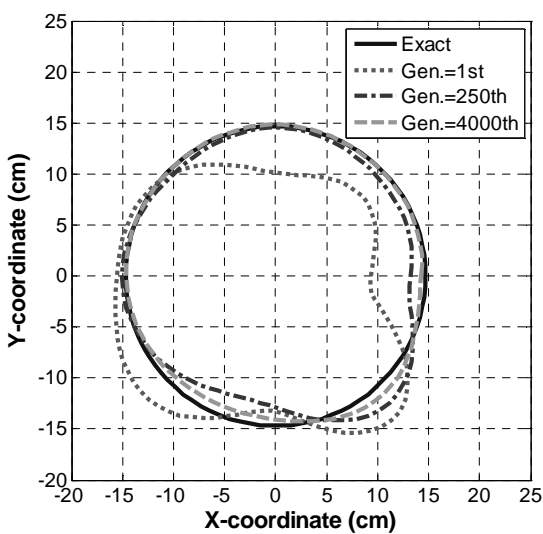
圖五、在 Case A 時複雜柱體特性參數重建誤差隨代數變化圖。



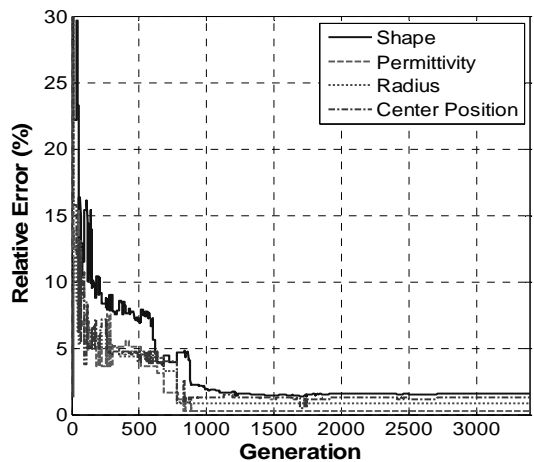
圖三、利用三次仿樣函數描述任意形狀柱體示意圖。



圖六、Case B 中複雜柱體介質塗層形狀函數重建結果示意圖，實線代表真正的形狀函數，其他類型的線條則代表不同的基因世代中最接近實際散射場的形狀函數。

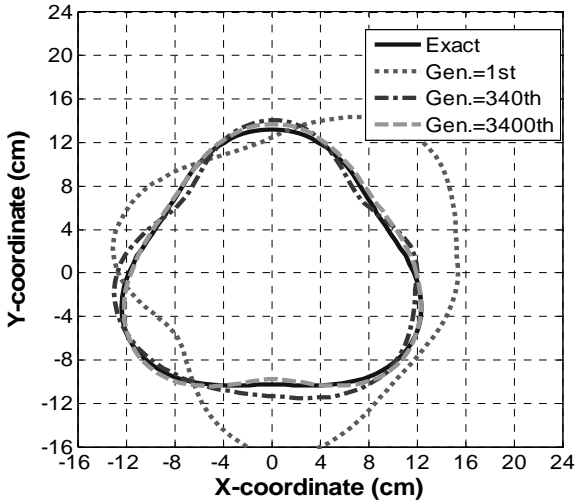


圖四、Case A 中複雜柱體介質塗層形狀函數重建結果示意圖，實線代表真正的形狀函數，其他類型的線條則代表不同的基因世代中最接近實際散射場的形狀函數。

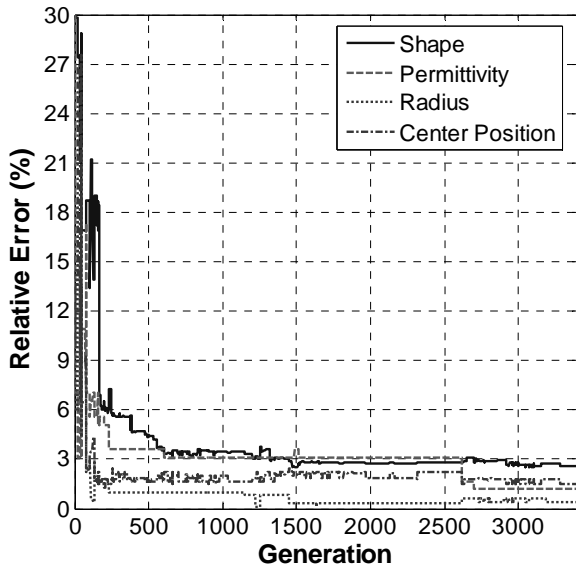


圖六、在 Case B 時複雜柱體特性參數重建誤差隨代數變化圖。

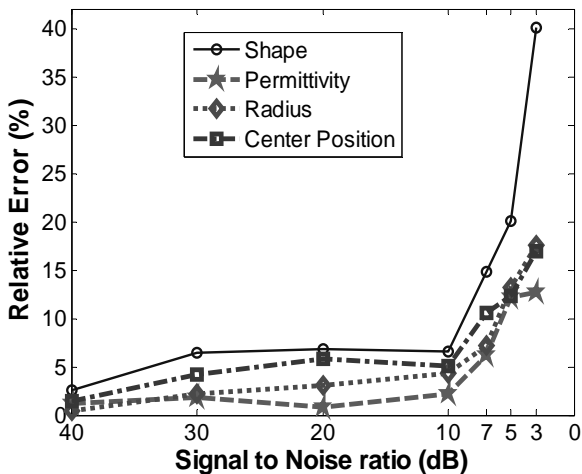
隨訊雜比變化圖。



圖六、Case B 中複雜柱體介質塗層形狀函數重建結果示意圖，實線代表真正的形狀函數，其他類型的線條則代表不同的基因世代中最接近實際散射場的形狀函數。



圖六、在 Case C 時複雜柱體特性參數重建誤差隨代數變化圖。



圖六、在 Case C 時複雜柱體特性參數重建誤差

#### 四、結論

本計畫提出一時域有限差分方法，配合次網格技巧，並結合穩態遺傳演算法重建埋藏於三層介質中的複雜物體之電磁特性。數值模擬顯示，此方法對於具有嚴重的多重散射現象的結構仍可以成功重建出其影像。不僅對於簡單形狀的介質塗層重建效果良好，亦於複雜形狀介質塗層也可以達到很好的效果。其中亦針對不同的金屬管半徑大小進行重建，吾人提出之方法重建效果良好。

#### 五、參考文獻

- [1] A. G. Ramm, "Uniqueness result for inverse problem of geophysics: I," *Inverse Problems*, vol. 6, pp. 635-641, Aug.1990.
- [2] R. Car and C. R. Vogel, "Analysis of bounded variation penalty methods for ill-posed problems," in *Inverse Problems*, vol. 10, pp. 1217-1229, 1994.
- [3] Charbonnier P, Blanc-Feraud L, Aubert G, Barlaud M. "Deterministic edge-preserving regularization in computed imaging," *IEEE Trans Image Process* vol. 6, pp. 298-311, Feb.1997.
- [4] Sarkar, T.; Weiner, D.; Jain, V., "Some mathematical considerations in dealing with the inverse problem," *IEEE Trans. on antenna and propagation.*, Vol. 29, pp. 373-379, March. 1981.
- [5] S. Caorsi, A. Massa, and M. Pastorino, "A Computational Technique Based on a Real-Coded Genetic Algorithm for Microwave Imaging Purposes", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 38, No. 4, July 2000.
- [6] M. Pastorino, A. Massa, and S. Caorsi, "A Microwave Inverse Scattering Technique for Image Reconstruction Based on a Genetic Algorithm", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 49, No. 3, June 2000.
- [7] C. C. Chiu and P. T. Liu, "Image reconstruction of a



perfectly conducting cylinder by the genetic algorithm,” *IEE Proc.-Micro. Antennas Propagat.*, vol. 143, pp.249-253, June 1996.

[8] M. Pastorino, “Short-range microwave inverse scattering techniques for image reconstruction and applications,” *IEEE Trans. Instrum. and Meas.* , vol. 47, pp. 1419-1427, 1998.

[9] A. Qing, Dynamic differential evolution strategy and applications in electromagnetic inverse scattering problems, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 44, no. 1, pp. 116-125, 2006

[10] A. Qing, “Electromagnetic inverse scattering of multiple two-dimensional perfectly conducting objects by the differential evolution strategy,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, pp. 1251–1262, June 2003.

[11] A. Taflove and S. Hagness, “*Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*,” Artech House, Boston, MA, 2000

[12] M. W. Chevalier, R. J.Luebbers and V. P. Cable, “FDTD local grid with material traverse,” *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 45, No. 3 , March 1997.

[13] C. de Boor, “*A Practical Guide to Splines*,” Springer-Verlag, New York, 1978

# 行政院國家科學委員會補助國內專家學者出席國際學術會議報告

報告人姓名	丘建青	服務機構 及職稱	淡江大學電機系 教授
時間 會議 地點	2008/09/08-2008/09/10 波札那(Botswana)/嘉伯隆里(Gaborone)	本會核定 補助文號	補助編號 NSC-97-2922-1-032-020
會議 名稱	(中文)：第二屆非洲 IASTED 模擬與建模會議 (英文) The Second IASTED Africa Conference on Modelling and Simulation		
發表 論文 題目	(中文) 二維介質柱體之時域逆散射問題 (英文) <b>Time Domain Inverse Problem of a 2D Dielectric Cylinder</b>		

**參加會議經過：**

2008 年第二屆非洲 IASTED 模擬與建模會議於波札那(Botswana)的嘉伯隆里(Gaborone)舉行，此會議共計 3 天，與會人士來自美國、俄羅斯、法國、德國、日本、非洲等各國，本人發表一篇探討有關利用 TM 波照射均勻介質柱體之電磁成像的文章，此文章中針對粒子群聚最佳化法則對於介質柱體逆散射問題重建效率進行討論，會中與各國與會學者皆表示對此研究有強烈的興趣，並引起廣泛的討論。

所謂“電磁成像”(Electromagnetic imaging)或“逆散射”(Inverse scattering)，乃是利用電磁波照射於散射體上，然後測量散射體外的散射場，經由適當處理以反求散射體的形狀或其內部性質。由於此種方法不必將測量儀器與被測物體做直接接觸，因此，應用在工業上的非破壞檢測、遙測礦產資源和醫學上做人體內部的影像處理，均有重要的應用。

近幾年來，掩埋物體逆散射問題用在許多應用科學的場合已經趨之於重要，最典型的應用就是用在量測掩埋在地下的水管、電力或通訊的電纜與晶體結構上的分析等等。然而，半空間中所求解過程卻比在自由空間困難的多，這是因為待測物體與界面(兩空間之間的界面)之間的交互作用，這將會導致產生在半空間問題中較為複雜的格林函數(Green's function)。而在週期性物體的分析上，也因為物體之間的偶合效應，使得分析上變的相當不易。在同時，由於複合材料在硬度與強度上的優越特性，使得它在工業與軍事上的應用逐漸受到重視，複合材料的電磁逆散射也成為科技上各個領域急於探討的一個重要課題。

然而，由於以下的原因而使得逆散射問題的解變得複雜而困難：

(1) 因為逆散射的問題包含了兩個未知數的乘積，一個是物體的電性(由於複合材料的介電參數會隨所選的座標系統而改變，使得此類物體的逆散射問題比各向同性介質物體的逆散射問題困難而複雜許多)，另一個是物體內部的電場，此兩未知數的乘積使得此逆散射的問題成為一個非線性的問題。因此解答的唯一性問題引發了許多的爭議，不過若能在問題中加入一些物理現象的限制或多方面收集各種不同入射角、不同頻率，甚至不同極化的散射場則可證明逆散射問題有唯一解。

(2) 由於逆散射問題中積分方程式的核心(kernel)是一個平滑函數(smoothing function)，所

## 行政院國家科學委員會補助國內專家學者出席國際學術會議報告

以散射場的一點小誤差往往會造成反求出來的散射體特性函數發生巨大的誤差，導致嚴重的不良情況(ill-posedness)。為了克服這種解答不穩定的問題，許多正則化(regularization)的方法被提出來，如 Miller 正則法，虛反運算法(pseudo inverse transformation)等。

一般而言，解電磁逆散射問題的方法可分為兩大類：第一類是近似解法，第二類是嚴謹的數值法。在導體方面的近似成像理論，主要有 Bojarski 於 1967 年，基於物理光學(physical optics)的假設所提出的 Bojarski 恆等式。此恆等式說明後向散射場和物體的形狀有傅立葉轉換(Fourier transformation)的關係，故可利用散射場重建影像。但由於此法只適用於遠場成像，於是有些學者將之推廣至近場成像。不過，因為上述的這些方法皆是基於物理光學的假設，只考慮一次散射，其成像物體必須為表面平滑之“凸型”，且大小必須遠大於波長，所以在應用上受到了一些限制，尤其對多導體的成像，此種近似方法所重建的效果常不盡理想。

在本人發表的文章中，針對自由空間中均勻介質物體電磁成像問題，利用時域有限差分法(Finite Difference Time Domain)，配合電磁學上切線電、磁場連續的觀念，求得空間中電磁場隨時間的變化。接著，利用最佳化法則將介電質物體之逆散射問題化成一最佳化問題，以粒子群聚最佳化法則重建其在自由空間中的形狀與介電特性。粒子群聚最佳化法則源自於鳥群在覓食時的行為研究(Eberhart, 1995)，是為一種演化計算技術(Evolutionary Computation)。而演化計算技術的最大特色在於：初始狀態均為一組隨機解，然後再經由不斷地疊代的過程找尋最佳解。粒子群聚最佳化法則雖與基因演算法(Genetic Algorithm, GA)同為進化計算技術，但 PSO 不同於基因演算法的地方在於：沒有隨機交配(crossover)以及突變(mutation)的過程，也無須調整交配與突變等機率參數；而是以粒子(particle)在解空間內跟隨最優的粒子的演化加以搜尋最佳解，並且依據目前現有的文獻指出，PSO 的收斂較基因演算法收斂快且操作簡單，不易陷入區域極值。在 PSO 演算法中，即使初始的猜測值與精確值相差很遠時，此法亦能避開區域極值而收斂到問題的整體極值。利用這種強韌的特性，就可重建出二維介質物體的形狀。

在此次會議，透過大會安排的討論更了解世界各國在電磁成像與演化計算方面的研究現況，會後並與國外學者交換意見及研究心得，充分達到學術交流的目的。出國參加此類的學術會議，不但可以增廣見聞，亦可增加國際觀，此行對本人可以說是獲益良多。

最後建議，本校也可爭取舉辦類似的大型會議，一方面可以增進各國彼此的交流，另一方面亦可提升本校在先進科技上的國際地位。

97 年 9 月 20 日