

出國報告（出國類別：短期出國研究訪問）

演化式動態最佳化

服務機關：中正大學 資訊工程學系

姓名職稱：丁川康 副教授

派赴國家：英國

出國期間：100年7月12日至8月4日

報告日期：100年10月25日

摘要

演化式計算 (Evolutionary Computation) 為目前最重要的搜尋與最佳化演算法，並已廣泛用以解決各類最佳化問題。本次短期出國研究訪問為探索演化式計算之新興而重要的課題—演化式動態最佳化 (Evolutionary Dynamic Optimization)，並與此研究領域之先驅與國際頂尖學者 Prof. Yaochu Jin 建立實質的研究合作。在英國 University of Surrey 的研究訪問期間，我與 Prof. Yaochu Jin 頻繁地討論演化式動態最佳化相關研究議題，其中包含 Robustness Optimization over Time (ROOT) 這塊新興的研究領域；此外，這段期間獲 University of Essex 的 Prof. Qingfu Zhang 邀請前往訪問，討論 Multi-Objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition (MOEA/D) 與多目標最佳化演算法設計與相關研究。藉由本次研究訪問，能接觸與有效學習計算型智慧與演化式計算的先端技術與研究課題，對於擴展研究的廣度與深度有非常大的實質幫助。

1. 目的

演化式計算 (Evolutionary Computation) 為目前最重要的搜尋與最佳化演算法。基於達爾文的演化論架構，演化演算法以模擬自然演化的機制，包含選拔 (selection)、交配 (crossover)、突變 (mutation) 等方式，在電腦上創造人工演化的環境，並冀以演化的方式逐步提昇搜尋的結果與最佳化的品質。演化式計算已廣被使用在工程、人工智慧、機器學習、排程與運籌、生物資訊…等各類搜尋與最佳化的問題上。

本次短期出國研究訪問目的為探索演化式計算之新興而重要的課題—演化式動態最佳化 (Evolutionary Dynamic Optimization)，並與此研究領域之先驅與國際頂尖學者 Prof. Yaochu Jin 建立實質的研究合作。藉由本次研究訪問擴展研究領域與深度，並學習計算型智慧與演化式計算的先端技術與研究課題。

2. 過程

- **與 Prof. Yaochu Jin 進行演化式動態最佳化研究與討論**

期間：2011.07.12–2011.08.04

地點：Department of Computing, University of Surrey, UK

此次訪問乃由英國 University of Surrey 的 Yaochu Jin 教授邀請，於 2011 年 7 月 12 日至 8 月 4 日至該校資訊系進行短期研究訪問。訪問期間住宿於大學宿舍 (House 55, University Court)，系上並安排一間研究室與臨時證件，方便出入系館與圖書館借閱書籍。

在訪問期間，與 Prof. Yaochu Jin 維持一週三次以上的研究討論，這對於我進入與熟悉 Robustness Optimization over Time (ROOT) 這塊新興的研究領域幫助非常大；此外，在研究工作之餘，Prof. Yaochu Jin 也熱心分享他的研究心得，以及擔任多個國際頂級期刊編輯 (包含 IEEE Transactions on Neural Networks、IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C、與 IEEE Computational Intelligence Magazine) 的經驗與觀察到的研究趨勢，這些頻繁的研究交流常能激

發我在研究上的一些新想法 (研究心得呈現於本報告之第三部份)。

相關照片：



資訊系系館
University of Surrey, UK



與 Prof. Yaochu Jin 在
辦公室合影
University of Surrey, UK



大學校園裡的
Alan Turing 雕像
University of Surrey, UK

- 與 Prof. Qingfu Zhang 進行多目標最佳化研究與討論

期間：2011.07.27–2011.07.28

地點：School of Computer Science & Electronic Engineering,
University of Essex, UK

在本次英國研究訪問期間，接獲 Prof. Qingfu Zhang 邀請前往 University of Essex 訪問兩天一夜。Prof. Qingfu Zhang 亦為計算型智慧與演化式計算領域之國際知名學者，目前擔任國際頂級期刊 IEEE Transactions on Evolutionary Computation 與 IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B 以及多種國際期刊之 Associate Editor，並曾獲得 2010 IEEE Transactions on Evolutionary Computation 傑出論文獎 (Outstanding Paper Award)。

Prof. Qingfu Zhang 之研究領域為多目標演化演算法 (Multi-Objective Evolutionary Algorithm)，雖然僅在 University of Essex 停留兩天，但訪問期間充實的研究討論與 Prof. Qingfu Zhang 無私的研究想法分享，讓我不虛此行。這段訪問的研究心得亦將呈現於本報告之第三部份。

此外，在 University of Essex 訪問時巧遇台南大學研發長李健興教授，他正值國科會補助國際合作研究計劃訪問 Prof. Hani Hagaras。席間李教授邀請我們擔任 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG 2014) 的 Organizing Committee 成員，並討論未來在研究合作上的可能。

相關照片：



與 Prof. Qingfu Zhang 合影
University of Essex, UK



與李健興教授和 Prof. Qingfu
Zhang 在辦公室合影
University of Essex, UK

3. 心得與建議

此次短期研究訪問的研究主題為 Evolutionary Dynamic Optimization (Prof. Yaochu Jin) 與 Evolutionary Multi-objective Optimization (Prof. Qingfu Zhang)，我的研究心得可歸納如下：

- **Evolutionary Dynamic Optimization:**

Prof. Yaochu Jin 為這個領域最著名的學者之一，其刊登在 IEEE Transactions on Evolutionary Computation 的論文 “Evolutionary Optimization in Uncertain

Environments—A Survey” 將不確定性環境中的最佳化問題分成 Noise、Robustness、Fitness Approximation、與 Time-varying Fitness Function 四類問題，並檢視演化式計算在各類問題的可能方法，奠定了演化式計算在動態最佳化的研究發展基礎。

在此次訪問中，我與 Prof. Yaochu Jin 在 Evolutionary Dynamic Optimization 的研究主題為 Robustness Optimization over Time (ROOT)，這個新穎的動態最佳化問題為 Prof. Yaochu Jin 與其學生在 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2011) 的 ”Robust Optimization over Time – A New Perspective on Dynamic Optimization Problems” 論文中提出。如同一般的動態最佳化問題，針對 ROOT 的最佳化演算法必須先對初始環境搜尋最佳解，傳統的 tracking moving optima 作法將不斷追求隨時間變化環境下的每個最佳解；相對地，ROOT 找到的最佳解將持續被使用，直到其品質低於某個事先設定的門檻值，亦即 ROOT 以找到能在某段時間內具備 robustness 的解為目標；一旦這個解因品質低落而被淘汰，則 ROOT 將以此解為基礎尋找適於下階段的解。以全局來看，ROOT 處理的為一系列的 robustness 問題：

$$\langle f(\vec{x}, \vec{\alpha}_{l_L}), f(\vec{x}, \vec{\alpha}_{l_{L+1}}), \dots, f(\vec{x}, \vec{\alpha}_{l_U}) \rangle$$

其中

$$\vec{\alpha}_i = \vec{\alpha}_{i-1} + \Delta\vec{\alpha}$$

ROOT 概念可視為結合原來 robustness 與 time-varying fitness function 兩個類型的問題，亦可視為 tracking moving ‘robust’ solutions。在與 Prof. Yaochu Jin 針對 ROOT 的多次討論中，我們探索了原有論文中的潛在問題，並獲到一些令人興奮的想法以提昇目前在 ROOT 的研究：

1. 解品質低落程度的門檻值將分隔時間區間，進而影響每一區間與整體的 robustness 數值；因此，門檻值的設定將直接影響 ROOT 演算法的效能評估。然而，如何選定適當的門檻值為一實務應用上的課題。

2. 在 Prof. Yaochu Jin 尚未發表的論文中，他們嘗試建立 predictor 與 approximator 來解決 ROOT 問題。Predictor 預估未來 (下一階段) 環境的變化，以此為 fitness function 搜尋 robust 的可能解；而 approximator 則用以近似過去的表现。此篇論文利用 radial basis function (RBF) 作為 predictor：

$$y(\vec{x}_k) = \sum_{i=1}^{n_c} \omega_i \phi(\|\vec{x}_k - \vec{c}_i\|_2),$$

並以 autoregressive (AR) 作為 approximator：

$$X_l = \epsilon_l + \sum_{i=1}^{\varphi} \eta_i X_{l-i}$$

如此一來，雖提供一個解決 ROOT 問題的方法，但也面臨架構過於龐大，設計不易與調整困難的缺點；一個小型而有效的架構將是解決 ROOT 問題的一個迫切的研究方向。在與 Prof. Yaochu Jin 討論後，我們將提出一個結合 predictor 與 approximator 的作法，並計劃以 dynamic travelling salesman problem 作為測試問題平台，在回國後已和我的博士班學生著手這項研究工作。

3. 在 ROOT 應用上，我們將針對執行中的國科會計劃「選擇性取卸貨問題 (Selective Pickup and Delivery Problem)」，考量其動態特性而發展為一 ROOT 問題。如 Prof. Yaochu Jin 所評論，ROOT 的動態特性非常貼近選擇性取卸貨問題的實際狀況，此一動態選擇性取卸貨問題將有助於解決實際的運籌問題與提昇 ROOT 研究發展。

• Evolutionary Multi-objective Optimization:

Prof. Qingfu Zhang 提出的 Multi-Objective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition (MOEA/D) 為目前解決多目標最佳化最著名的演化演算法之一，其卓越效能已廣為驗證並被視為 state-of-the-art 方法，Prof. Zhang 更以此獲得 2010 IEEE Transactions on Evolutionary Computation 傑出論文獎 (Outstanding

Paper Award) ， 以及 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2009) 之 Unconstrained Multiobjective Optimization 競賽獎項。

在 University of Essex 訪問 Prof. Qingfu Zhang 的兩天中，我們討論以下研究議題，這些討論對於我在 MOEA/D 與多目標最佳化的演算法設計上有非常大的幫助：

1. 在演化式多目標最佳化的研究方向上，Prof. Qingfu Zhang 認為有兩點值得進一步研究。第一點為延伸 MOEA/D：在問題或目標空間 (objective space) 的分解上，應該存在更好更有效率的方式，這方面將是 MOEA/D 未來的重點研究方向。第二、可利用或結合已有的啟發式 (Heuristic) 或超啟發式 (Metaheuristic) 演算法，在已分解的目標空間上進行搜尋，其效能應可超越目前的 MOEA/D。
2. Prof. Qingfu Zhang 分享他在最佳化演算法設計心得，認為傳統的一些方法不應被漠視與遺忘，從這些傳統方法中，常常可能找到一些可應用於演化演算法並提昇其效能的新意。此外，Prof. Zhang 更推薦數本他正在研讀的書籍，供我作為從事這些研究方向的參考。

此次到英國 University of Surrey 與 University of Essex 訪問的三個星期，除了能與演化式計算領域國際著名的學者 Prof. Yaochu Jin 和 Prof. Qingfu Zhang 面對面學習與討論各項最先端的研究議題外，英國大學的研究環境也讓我靜下心來仔細思考研究問題上的各個環節與未來研究方向，對於擴展研究的廣度與深度有非常大的實質幫助。鑑於寒暑假期間的短期研究訪問能在不影響教學工作的情況下，獲致研究上的有效助益，故建議並希望日後能再有機會進行這樣的短期研究訪問，以提昇教師之研究能量與擴展國際視野。