

## 演化式回歸引擎應用於 GPS 座標轉換—以金門為例

周鴻儒 吳志宏 蘇韋瀚\*

國立高雄大學電機工程學系 \*樹德科技大學資訊管理學系

gemini.arashi@msa.hinet.net johnw@nuk.edu.tw \*ssc.su@msa.hinet.net

### 摘要

迴歸問題可視為尋找輸入資料與數學符號的公式組合，因此誤差最小的方程式，就是最佳的組合。本研究提出使用機器學習的演化式計算技術解決迴歸問題，並以全球衛星定位系統的座標轉換作為實驗背景。此轉換過程，傳統上利用階層式數學計算，來達到三維座標系統轉換為二維座標系統，轉換過程中，數學方程式多為矩陣型計算且參數繁多，使得整個轉換過程，計算成本高，本研究以使用計算複雜度低的公式取代傳統的階層式公式，以達到使用獨立電源的定位裝置可達到待機時間增加的效果。訓練資料以金門本島為範圍，實驗證明，確實可找到精簡的座標轉換公式，且也能達到精準的座標定位。

**關鍵詞：**機器學習、演化式計算、全球衛星定位系統、座標轉換。

### Abstract

Regression is the relationship between input data pairs and mathematic symbolic. The function of the minimal deviation is also the best combination. We propose the evolutionary computing of machine learning solving the regression problem, so called symbolic regression. The input data pairs are the signals of Global Positioning System, and the coordinate transformation process can be treated as the regression problem. Traditionally, the transformation is level-wise functional substitution. The equations are complex and composed by matrices so that computation cost is higher. The study is using simpler function sets to replace the level-wise ones. Therefore, lower power consumptions; there is longer stand-by time of stand-alone positioning device. The experiment results with data collecting in Kinmen are verified the existence of the simpler function sets with high accuracy.

**Keywords:** Evolutionary computing, machine learning, symbolic regression, Global Positioning System, coordinate transformation

### 前言

迴歸問題可以使用數值方法的內差法來尋求迴歸模型，近年來許多專家學者也利用軟式計算的技術來解迴歸，本論文期望以迴歸模型應用在行動裝置的前提下，此迴歸模型不是黑盒子(Black box)的模型，而是數學方程式，因此我們採用了白盒子

(White box)的符號式回歸(Symbolic Regression)作為迴歸引擎。

假設  $D$  為我們感興趣的資料集合，且  $I = \{(x_i, f(x_i)) | 0 \leq i \leq n, x_i \in D\}$ ，符號式回歸的目的就是找出一條方程式  $g(x_i)$  使得  $f(x_i)$  趨近於  $g(x_i)$ ， $\forall x_i \in D$ ，而  $f(x_i)$  和  $g(x_i)$  之前存在的誤差  $\varepsilon_i$ ，則定義為  $\varepsilon_i = |f(x_i) - g(x_i)|$ ， $\forall x_i \in D$ ，而誤差公式  $E$ ，則為

$$E = \sum_i \varepsilon_i = \sum_i |f(x_i) - g(x_i)|, \forall x_i \in D,$$

而符號式回歸就是希望將  $E$  最小化，進而獲得最好的方程式。符號式回歸的基本應用就是找出配對資料的相依性，也就是說  $(x_i, f(x_i))$ ， $\forall i$ ，會存在一條或是一組包含了所選擇的運算子，常數係數，資料參數所組成的數學方程式。找出符號式回歸方程式的方法有很多種[19]，本研究我們利用遺傳基因編程[20][21]。遺傳基因編程是遺傳基因演算法的變形，最大的差別是以樹狀結構來表示染色體，目前已成功應用在許多最佳化問題和應用，同樣以物競天擇，適者生存的概念，反覆的利用突變和交配尋找可以代表目標問題的描述，並透過誤差方程式  $E$  作為選擇的基準，不斷搜尋  $E$  較小的方程式，直到所要求的誤差大於目前最好的方程式的  $E$ 。

### 問題背景

全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)隨著定位晶片與接收器電路板成本降低、定位精確度大幅提高及市場上導航等軟體之推廣，民間之使用已相當普遍。以三角定位[1][2]作為基礎，GPS 藉由使用者定位裝置所能偵測得之衛星持續地發送封包予定位裝置，其定位封包通常含有座標、時間、地球星曆及衛星辨識碼等資訊，再經由定位裝置上所搭載之軟體進行封包解析，即能讓使用者清楚了解目前身處位置之經緯度座標等資訊。由定位接收器所取得最原始之座標數據是以世界測量座標系(World Geodetic System)為標準，由於原先所使用的座標系統需隨著實際環境而做修正，因此於西元 1984 年制定了此一新的世界測量座標系，對原有的座標系進行修正，並定名 WGS-84[3][4]。WGS-84 屬立體的橢圓座標系，是以地球的質量中心為中心點再加上全球各地 1500 個地理座標參考點，實際表現地球各區域的物理特性，其採用經度( $\phi$ )、緯度( $\lambda$ )和幾何高度( $h$ )來描述空間位置。就一般採用 2-D 或者 3-D 電子地圖之應用軟體而言，其均必須輸入經度( $\phi$ )及緯度( $\lambda$ )，更甚至是幾何高度( $h$ )等數據才能將使用者位置標示於地圖上，然而這些軟體系統多數採用卡式

空間直角座標系(Cartesian coordinates)作為基準[5]。因此勢必要將原先 GPS 定位資訊上之立體橢球座標系 $(\phi, \lambda, h)$ 轉換至卡式平面座標系 $(x, y, z)$ ，使其經、緯度等數值能符合輸入電子地圖所需之座標格式。除此之外，不同國家因地理位置因素，亦會自行發展出一套適用於國土內的大地參考系統(Geodetic Reference System, GRS)[6]。通常發展出一套 GRS 須先經過全國性的土地測量，其後再針對當地所發展出之座標系建立完整的轉換規則。

由 GPS 接收器所收得之定位訊號，若要將其應用於平面電子地圖中，往往需要經過幾道座標轉換計算，然而由一套 GRS 轉換至另一套 GRS 都有其固定的公式計算標準。但研究後發現，在經過幾道座標系轉換程序後往往會發現幾個問題，一、若經過多道座標系轉換，將加深計算上之複雜度。二、在幾道座標轉換公式後，可以發現經由計算所得之座標位置相較於原先 GPS 定位訊號上所得之實際座標位置是有所誤差的。三、GRS 是針對幅員較大的土地所開發，然而 GPS 導航軟體或它類電子地圖相關應用軟體則是針對小範圍之區域所設計，其中更可能涵蓋了較為特殊的地形，為此可能需要再針對其發展出特殊的座標轉換公式，以提高其精確度。

於本論文中將運用軟式計算之技術，預期能有效降低經轉換後所得之座標誤差值，並且從實驗當中找出一組更加簡單化的轉換公式。理論上，在範圍較小的電子地圖應用中，應該是存在著可直接套用於 GPS 定位訊號與 2-D 平面座標系之間的座標轉換公式。這很直覺的可以將其認定為回歸的問題。接續，本文將會採用符號式回歸與遺傳基因編程來解決此問題。本論文即以金門為例，因其符合範圍較小，且屬於狹長型之島嶼，相當適合用來做為本論文研究中實驗背景。

## 基本概念

對於將座標轉換至本篇論文所進行研究之區域的座標系，若要於立體之電子地圖中繪製出座標位置，那正確之計算法則是必須將 GPS 定位訊號轉換至 GRS67(Geodetic Reference System 1967)及 TWD67(Taiwan Datum 1967)座標。民國六十七年時內政部根據「國際大地測量及地球物理協會」(International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG)公佈的「Kaula 國際橢球原子」，又稱「GRS67 參考橢球體」(Geodetic Reference System 1967)為基礎並以埔里之虎子山一等三角點為起算點制訂出名為 TWD67(TAIWAN DATUM 67，六十七年台灣大地基準)[7]，其中之 TWD67 座標系又因後來國土受震災、地殼擠壓等因素產生明顯之相對位移，原點位座標已不適用，其後制定出新的國家座標系統，將其命名為 1997 台灣大地座標基準 TWD97(Taiwan Datum 1997)。然而在本次研究當中，如欲將 GPS 定位訊號之座標套用於平面電子

地圖當中，則必須再經過數道座標系轉換程序(如圖 1)。於此座標轉換過程中，原先的 GPS 定位訊號座標為 WGS84，屬於橢球體座標系 $(\phi, \lambda, h)$ ，需先將其轉換至 WGS84 卡式直角座標系 $(x, y, z)$ ，並再將其轉換至 TWD97 卡式直角座標系。基準面轉換有多種數學模式[8][9][10][11][12][13]，然而於本論文之研究當中則建議採取七參數之 Bursa-Wolf 數學模式，其七參數在理論上是為非常正確之方法，但由於無法計算尺度因子變量、測量誤差、及在地區性之大地網內的變形量，所以無法達到理論上的要求，但此法可以決定平均尺度與旋轉參數，並且國內許多測量應用上亦多數採用七參數轉換模式。經過基準面轉換公式後，衛星接收到的座標已經從 WGS84 橢球座標轉換成 TWD97 三度空間卡氏座標，若要將座標應用於電子地圖，三度空間的卡氏直角須轉換成平面座標。國內則是根據內政部所提供之方式，採用橫向麥卡托投影座標，因此必須將 TWD97 之卡式座標轉換成橢球座標再進行轉換，最後再將 TWD97 橢球體座標轉換至橫向麥卡托投影經差二度分帶(TM2)[14][15][16]，由於台灣地區位處中緯度，幅員呈南北狹長性，故我國採用的是橫向麥卡托投影法。轉換後的 TM2 座標才是真正平面座標，並且能夠疊套於國內相關電子地圖。由上述轉換概念可知，既然每道轉換程序之中都存在著彼此的相依關係，那 GPS 定位訊號座標直接轉換至平面座標應該也有其類似之關係存在。

在 GPS 應用軟體中， $TE$  與  $TN$  分別代表平面座標中的東經與北緯。概念上而論，應該可以有道公式可直接由橢球體座標系 $(\phi, \lambda, h)$ 轉換取得平面座標的  $TE$  與  $TN$ ，即  $TE$  (或  $TN$ ) =  $f(\phi, \lambda, h)$ 。很明顯的，也可以利用符號式回歸找出可以描述  $TE$  (或  $TN$ ) 和  $(\phi, \lambda, h)$  之間的關係方程式，並於未來供給 GPS 相關應用軟體使用。

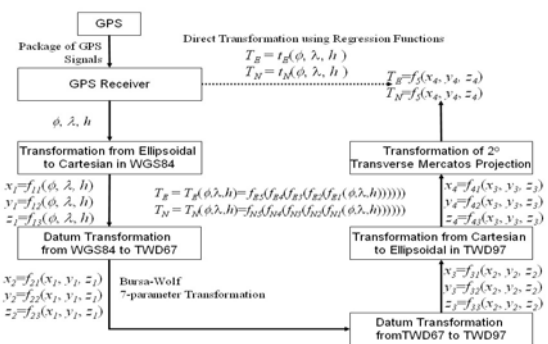


圖 1. 台灣座標轉換步驟

## 定義與實作

首先確認在座標轉換問題中作為終端點(terminals)的輸入變數。於本論文之研究中，作為終端點的節點分別為 $\phi, \lambda, h$ 以及常數。最後所呈現的結果可能是由一組運算子所組成，如+、-、

$\times$ 、 $\div$ 、 $\sin$ 、 $\cos$ 、 $\ln$ 、 $\log$  等典型的運算子。接下來，利用二元樹狀結構的遺傳基因編程，將終端點置於葉節點，內部節點則由運算子所構成。假設  $G$  為實驗區域，所收集的訊號表示為  $\mathbf{g}=\langle\phi, \lambda, h\rangle$ ，而資料輸入集合為  $I_E=\{(\mathbf{g}_i, T_E(\mathbf{g}_i))\}$  和  $I_N=\{(\mathbf{g}_i, T_N(\mathbf{g}_i))\}$ ， $\forall \mathbf{g}_i=\langle\phi_i, \lambda_i, h_i\rangle$ ， $T_E(\mathbf{g}_i)$  是 2-D 地圖的經度， $T_N(\mathbf{g}_i)$  是 2-D 地圖的緯度。實驗所獲得的回歸公式則為  $t_E(\mathbf{g}_i)$  和  $t_N(\mathbf{g}_i)$ 。令  $t$  為  $t_E$  或  $t_N$  的二元樹。適應函數(fitness function)則定義為  $t_E$  和  $T_E(t_N)$  的誤差總和，公式如下，

$$fit(t) = w_1 \times fit_v(t) + w_2 \times fit_s(t),$$

$\forall \mathbf{g}_i \in G$ 。其中  $fit_v(t)$  為函式誤差，而  $fit_s(t)$  則為控制  $t$  的結構複雜度，分別如下，

$$fit_v(t) = \sum_i |t_E(\mathbf{g}_i) - T_E(\mathbf{g}_i)|,$$

$$fit_s(t) = 1 - \frac{node(t)}{2^{d+1} - 1},$$

其中  $node(t)$  為  $t$  的節點數， $d$  為  $t$  的深度， $w_1$  和  $w_2$  皆屬於  $[0,1]$ ，且  $w_1+w_2=1$ ，分別用來控制  $fit_v(t)$  和  $fit_s(t)$  的權重。完滿且平衡的二元樹通常是較好的結果，若  $t$  為歪斜樹，則會產生很大的  $fit_s(t)$  值，使得整體的  $fit(t)$  上升。依照以上的定義，有以下四個主要的步驟來分別訓練電腦求得  $I_E$  和  $I_N$  的回歸函數。

- 任意的挑選運算子和終端點，產生  $k$  個二元樹的初始族群， $t_1$  到  $t_k$ 。
- 計算族群內，全部  $k$  個的適應函數  $fit(t_i)$ 。
- 利用遺傳基因編程的突變和交配，複製和繁殖新的族群。
- 直到符合目標的二元樹產生。

而選擇二元樹的機率，則定義如下，

$$Pc(t_i) = 1 - \frac{fit(t_i)}{\sum_i fit(t_i)}$$

$Pc(t_i)$  是當繁殖新的二元樹時，用來決定選擇哪棵二元樹的參數。其餘遺傳運算定義如下，

- 交配：先任意選擇兩棵二元樹， $Pc(t_i)$  較高者作為母代之一，並重複以上步驟，得到兩棵  $Pc(t_i)$  較高的二元樹作為母代，並透過交換彼此的子樹，產生兩棵新的子二元樹。
- 突變：目前族群的適應函數與之前族群的適應函數比較後，需要透過大幅度改變時，則突變機率提高，突變機率的公式如下，

$$Pm(t_i) = 1 - \frac{|\widehat{fit}(j, j) - \widehat{fit}(j-h, j)|}{\widehat{fit}(j, j)},$$

$\widehat{fit}(i, j)$  為第  $i$  代到第  $j$  代最好的適應函數值，若第  $j$  代需要突變，則任意挑選其中一棵數做為突變體，選定的突變節點則以同性質的節點才可替置(運算子以運算子替換，終端點以終端點替換)，或是產生新的子樹，連接到突變體，或是置換突變體の子樹。

- 限制：內部節點和葉節點都需要規範限制以避免不合理的運算，如  $\ln(0)$ ， $\tan(\pi)$ ，分母為

0 等。使得交配和突變避免產生錯誤。

- 修正：為了化簡二元樹的複雜度，在經過幾代的演化後，複雜的二元樹會被相等但結構簡單的二元樹替換，如 xxxxxxxx 被替換成  $x^4$ ，7+6 被替換成 13，但此步驟只需針對族群中適應函數最好的二元樹。

因為尋找回歸公式需要兼顧誤差與結構複雜度，通常兩者需做出取捨，因此我們利用權重來分別控制  $fit_v(t)$  和  $fit_s(t)$  對  $fit(t)$  的影響。初始過程， $t$  是任意產生，可能會產生出歪斜樹，因為  $fit_v(t) \in [0,1]$ ，顯然的  $fit_v(t)$  對  $fit(t)$  影響較大，此時演化過程中，會先偏重尋找誤差小的二元樹，經過一定時間後，誤差已變小且趨向穩定，即  $fit_v(t)$  已縮小且穩定，則  $fit_s(t)$  開始對  $fit(t)$  產生影響，使得演化開始偏向尋找複雜度較低，但誤差同樣很低的二元樹。這樣的設計可使得遺傳基因編程，尋找到適合且完滿的二元樹，亦即誤差小且複雜度低的回歸方程式，如圖 2。

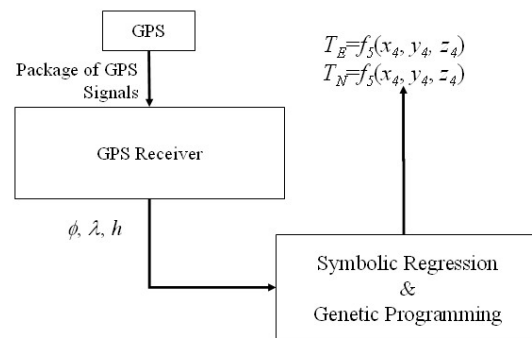


圖 2. 利用符號式回歸於台灣座標轉換

## 實驗

為了驗證我們的方法，首先在 PDA 上安裝 GPS 座標收集程式，並且走訪各地，本篇論文實地前往金門兩天，收集 16916 筆資料，分布圖可見圖 [3]。並以金門本島為主要實驗區，並以單位 (2000m, 2000m) 為分隔，每單位方格任意取出 512 個 GPS 訊號，共 11214 筆。80% 的資料做為訓練集合，20% 的資料做為測試集合，並且導入分區的概念，比較不分區和分區後的準確率。實驗參數見表格 [1]，



圖 3. 金門地圖與座標收集分布圖

表 1. 實驗參數

Parameters	Value
Stop Criterion	Maximum generation, running timeout, or $fit(\cdot)=0$
Population size	1000
Prob. crossover	0.7
Prob. mutation	0.2
Prob. reproduction	0.2
Max. generations	1000
Fitness bias $w_1$	0.7
Fitness bias $w_2$	0.3
Running timeout	4800 sec.
Sampling Area	450 $km^2$

並採用兩種運算子集合，如下，

$$OperatorSet = \begin{cases} O_1 = \{+, -, \times, \div\} \\ O_2 = \{+, -, \times, \div, \sin, \cos\} \end{cases},$$

表 2. 未分區所訓練出的方程式組

$$t_E = \frac{86669.1\phi - 103181e^7 + 1801.47\lambda}{1 - 0.00123271\phi}$$

$$t_N = \frac{110849 \cos(\phi)\lambda^2 - 1.00813e^6 \cos(\phi)\lambda + 433.135 \cos(\phi)^4 \lambda}{\cos(\phi)\lambda + 0.000840569 \cos(\phi)^2 \lambda - 9.09215 \cos(\phi) + 0.00120047}$$

表 3. 東區所訓練出的方程式組

$$t_E = 428.37\phi^2 - 6.07039e^6 + 2076.1\lambda$$

$$t_N = \frac{102180\phi^2\lambda - 2.93367e^7 + 60.2548\phi^2}{\phi^2 - 9.23885\phi - 0.000135221}$$

表 4. 西區所訓練出的方程式組

$$t_E = \frac{-10.357h - 2.7657e^{10} + 16388.5\phi^3 + 1.45916e^7\lambda}{1 + 57.4372\phi}$$

$$t_N = \frac{102043\phi\lambda - 244508}{\phi - 9.38713 + 8.75308e^{-7}\lambda}$$

$t_E$	Std. Error	Avg. Dev.	Max. Dev.	Min. Dev.
不分區	$2.56e^{-4}$	0.889 m	2.398 m	-3.196 m
東區	$3.14e^{-4}$	0.348 m	1.171 m	-1.674 m
西區	$1.04e^{-4}$	0.261 m	1.053 m	-1.309 m
$t_N$	Std. Error	Avg. Dev.	Max. Dev.	Min. Dev.
不分區	$7.5e^{-5}$	0.271 m	1.380 m	-1.620 m
東區	$2.68e^{-5}$	0.196 m	0.901 m	-0.849 m
西區	$1.16e^{-5}$	0.179 m	0.834 m	-0.666 m

表 5. 訓練誤差

$t_E$	Avg. Dev.	Max. Dev.	Min. Dev.
不分區	0.899 m	3.028 m	-2.388 m
東區	0.369 m	1.411 m	-1.092 m
西區	0.259 m	1.217 m	-0.838 m
$t_N$	Avg. Dev.	Max. Dev.	Min. Dev.
不分區	0.272 m	1.370 m	0.190 m
東區	0.203 m	0.849 m	0.138 m
西區	0.178 m	0.666 m	0.117 m

表 6. 驗證誤差

因  $T_N$  與  $T_E$  可互相引用，即  $T_E=f_E(\phi, \lambda, h, T_N)$  和  $T_N=f_N(\phi, \lambda, h, T_E)$ ，所以實驗所採用的輸入集合也分為兩種，如下，

$$\text{InputSet} = \begin{cases} I_1 = \{\phi, \lambda, h\} \\ I_2 = \{\phi, \lambda, h, T_E \text{ (or } T_N)\} \end{cases},$$

而誤差要求也分別為 0.001, 0.0001, 0.00001 和 0，訓練集合也分為不分區，西區 6167 筆和東區 5046 筆，西區和東區以經度 118.3753 為界，為避免結果過於偏頗，相同參數的實驗重複 10 次。由表[5]和表[6]可知，分成東西區的實驗誤差，皆小於全區域的誤差；無論  $T_E$  或是  $T_N$ ，西區誤差又比東區誤差小，探究資料，西區資料比較東區多且分佈平均，但低於 0.5 公尺的誤差已經是可以忽略的。

## 結論與討論

從實驗結果可以看出符號式回歸確實可以找出代替傳統的複雜座標轉換的公式。在小區域的實驗範圍下，此迴歸引擎所演化出的公式誤差皆低於 1 公尺，分區後的誤差更令人滿意。在獨立電源的使用下，能使裝置待機時間更長，更省電。未來除了繼續開發訓練時間更快的演化式回歸引擎外，加入分群方法適當劃分實驗區域，是未來的研究工作之一。

## 誌謝

本論文係行政院民國 95 年度國科會自由軟體專題研究計畫 NSC 95-2218-E-390-004 之部份研究成果，特此感謝國科會於研究經費之補助。

## 參考文獻

- [1] E. D. Kaplan, *Understanding GPS: principles and applications*. Boston: Artech House, 1996.
- [2] G. C. White and R. A. Garrott, *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. San Diego: Academic Press, 1990.
- [3] EUROCONTROL and IfEN, "WGS 84 implementation manual," 1998, Available: <http://www.wgs84.com/fles/wgsman24.pdf>.
- [4] DMA, "Supplement to department of defense world geodetic system 1984 technical report: Part II - parameters, formulas, and graphics for the practical application of WGS84," Defense Mapping Agency, Tech. Rep. DMA TR 8350.2-B, 1987.
- [5] A. El-Rabbany, *Introduction to GPS: the global positioning system*. Boston: Artech House, 2002.
- [6] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, *Global Positioning System: Theory and Practice*, 4th ed. New York: Springer, 1994.
- [7] C. Tseng and C. Chang, "A geocentric reference system in Taiwan," *Survey Review*, vol. 35, no. 273, pp. 195-206, 2003.
- [8] J. Badeskas, "Investigations related to the

establishment of a world geodetic system," Department of Geodetic Science, Ohio State University, Columbus, Tech. Rep. 124, 1969.

- [9] M. Bursa, "Fundamentals of the theory of geometric satellite geodesy," *Travaux de l'institut Geophysique de l'academie Teheco-slovaque des Sciences*, vol. 241, 1965.
- [10] H. Wolf, "Geometric connection and re-orientation of three-dimensional triangulation nets," *Bulletin Geodesique*, vol. 68, pp. 165-169, 1963.
- [11] E. Krakiwsky, D. Thomson, and R. Steeves, "A manual for geodetic coordinate transformations in the maritimes," Department of Surveying Engineering, U.N.B, Tech. Rep. 48, 1977.
- [12] DMA, "Supplement to department of defense world geodetic system 1984 technical report: part I - methods, techniques, and data used in WGS84 development," Defense Mapping Agency, Tech. Rep. DMA TR 8350.2-A, 1987.
- [13] M. Pearse and C. Crook, "Recommended transformation parameters from WGS84 to NZGD49," Land Information New Zealand, Tech. Rep. GS 1997/11, 1997.
- [14] P. W. McDonnell, *Introduction to Map Projections*, 2nd ed. Rancho Cordova, CA: Paperback, 1991.
- [15] J. P. Snyder, *Map Projections-A Working Manual*. Washington, DC: United States Government Printing, 1997, no. USGS Professional Paper 1395.
- [16] J. P. Snyder and P. M. Voxland, *An Album of Map Projections*. Washington, DC: United States Government Printing, 1994, no. USGS Professional Paper 1454.
- [17] R. D. Cook and S. Weisberg, *Applied Regression Including Computing and Graphics*. New York: Wiley-Interscience, 1999.
- [18] D. C. Montgomery, E. A. Peck, and G. G. Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis*, 3rd ed. New York: Wiley-Interscience, 2001.
- [19] J. R. Koza, *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection (Complex Adaptive Systems)*. The MIT Press, 1992.
- [20] B. McKay, M. J. Willis, and B. G. W., "Using a tree structured genetic algorithm to perform symbolic regression," in *Proceedings of 1st Int. Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*, vol. 414, Sheffield, UK, 1995, pp. 487-492.
- [21] D. A. Augusto and H. J. C. Barbosa, "Symbolic regression via genetic programming," in *VI Brazilian Symposium on Neural Networks (SBRN'00)*, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2000, pp. 173-178.