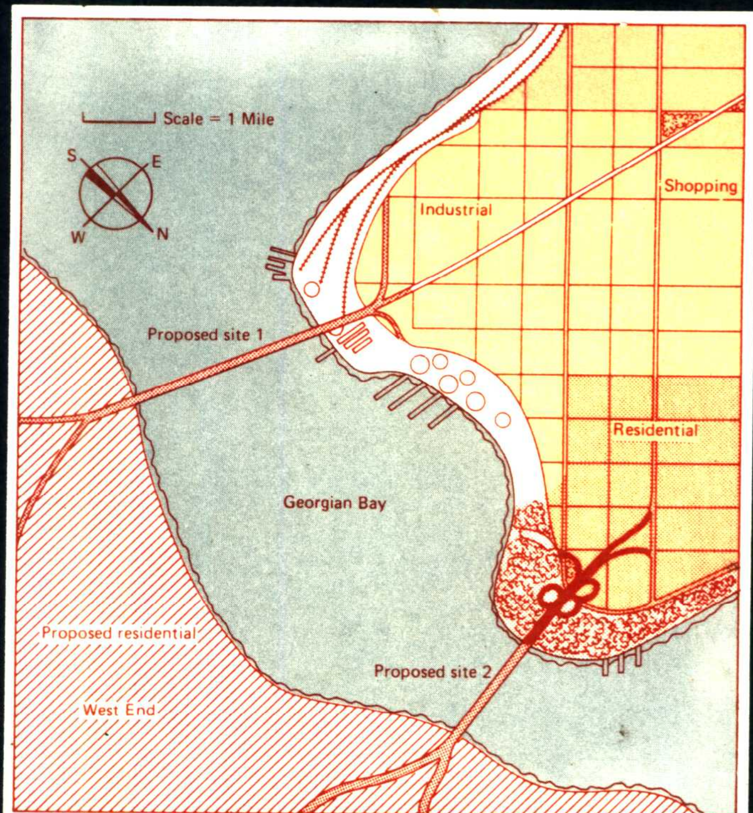
土木工程系統分析

Systems Analysis for Civil Engineers

原著者：P. J. Ossenbruggen
譯述者：劉 伯 宏



科技圖書股份有限公司

土木工程系統分析

Systems Analysis for Civil Engineers

原著者：P. J. Ossenbruggen

譯述者：劉　伯　宏

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書　　名：土木工程系統分析
原 著 者：P. J. Ossenbruggen
譯 述 者：劉 伯 宏
發 行 人：趙 國 華
發 行 者：科 技 圖 書 股 份 有 限 公 司
台北市重慶南路一段49號四樓之一
電　話：3118308・3118794
郵政劃撥帳號0015697-3

七十五年九月初版　　特價新台幣280元

原　　序

本書之目的爲組合經濟學與工程學之原理，使其成爲求解土木工程設計、規劃、管理等問題用之一種統一方法。本書的第一部分爲第一章至第三章，其提出系統分析之基本原理與方法論。其中包括最適化概念以及如何採擇待選取之諸設計方案。讀完本部分之後，讀者必然會瞭解到財務上的，實質上的，以及法令規章上的諸因素，在全盤處理過程中，所扮演之角色的重要性。更爲重要的是讀者必然會知道如何將此等因素一併併入分析中。本書之其餘部分，則對經濟學與數學諸方法從事於更深入之研究。

曾採用各種方式用以提高對諸緒論題之興趣，並以實際工程問題舉例說明系統分析方法之應用。曾自各種不同之土木工程課程中選取例題以及習題。其中包括結構，大地技術，與環境諸工程，水資源規劃，施工，以及運輸等等。當實際工程例題不適當時，則採用簡單的數學例題。

要能正常的寫得系統分析問題用的方程式，則必須要懂得經濟學原理。因此之故，乃將工程經濟學與微經濟學等基本原理均包括於其中。在大多數實際問題中，生產或本與價格之影響均甚重要。

由於電算機之硬體與軟體工業均大爲進步，故系統分析已成爲作成決策之重要工具。小型工程機構已能以低成本之微電腦執行其分析工作，此情形在數年前尙屬奢望。編著是書時，已體認到電算機應用之重要性。據此，故特別強調矩陣法。

據瞭解某些人士過分強調數學模式之重要性，以致於忽略了系統分析之主要目的。每當可能，即採用圖解法求解。一般而言，圖解較之數學方法更能提供一個深入瞭解其整個問題之方式。以此結果，假

如能在數學圖解二方法之間加以採擇時，則必然會選用圖解法。爲了要舉出數學方法之特徵與其缺點，故例題多係以數學與圖解二法並用，並予比較。

本書擬供具有充分工程分析與設計背景之人士應用。根據著者經驗，大學三年級下學期已修畢主要之典型土木工程課程，所具有之知識已足敷應用本書所提出之諸概念。在新罕布夏州大學，本書前半部爲四年級必修課程，本書之後半部則爲四年級與研究生之選修課程。

謝啓從略。

P.J. Ossenbruggen

著者對電算機程式提供之資料

手算亦正爲本書中所描述之某些方法的情形，其乃是十分率眞，消磨時間，一再重複，而且是枯燥乏味的工作。故提倡在學習其方法時，則採用手算，然後在應用時，則採用電算機程式。下列程式最爲有用：

程　　式	可應用之章次
繪製非線性函數 $y=f(x)$ 圖	2，5，8，9
矩陣法	附錄，6，7，9，10
繪製直方圖	4
線性規劃	6，7
牛頓法	9
牛頓／斜率投射法	9
最小二乘方法	10
繪製散佈圖	10

除了牛頓／斜率投射法之外，對於大部分大型主機，小型，以及微電算機而言，均已有現成的此等程式可資採用。

因爲本書所強調的爲繪圖與矩陣法，故首先兩個程式用途最廣。矩陣法程式中必須包含轉置，乘法，及演算運算，以及行列式計算。此等運算之本身已堪重視，但是最爲尋常的乃是其能用作是較大之電算機程式算法之函數。例如，蘋果Ⅱ培基電算機程式（本書著者曾寫得此程式，可供讀者應用）便可執行此等矩陣運算。

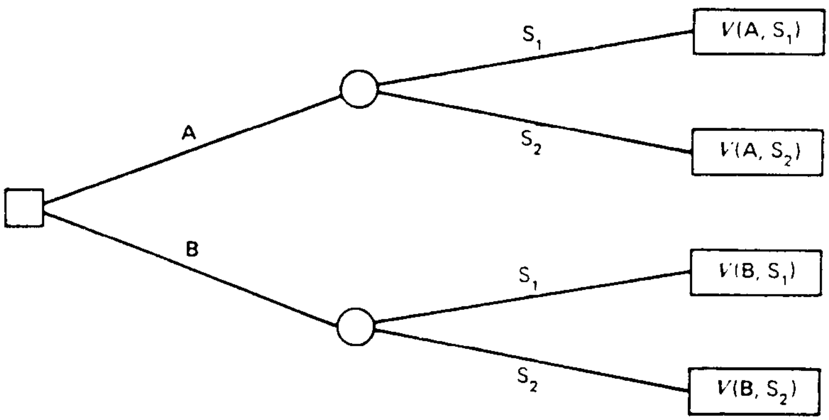
著者之線性規劃程式算法係一特殊之迭代程式。使用人爲了要求得答案，則必須要知道簡捷法中之諸法則，此乃是第六章所述之求解

線性最適值問題的方法。簡捷法係一種迭代法，其每一步驟中均需要矩陣反演與乘法等運算。

以上清單中所列之所有程式，均已有現成程式可資利用，如有需要可逕函著者或書局 John Wiley 查詢。（譯者按：國內亦發展得以上諸程式，如有需要亦可逕函譯者或本書局 —— 科技，當就讀者使用之機種與機器語言，提供服務。）本書讀者並不一定僅可採用著者之程式。此外，由於電算機語言互有不同，故使用人可能需要就其操作之機種，將程式中之某些部分稍事修改。

決策分析模式

當實況具有不能確定之情形時，則採用機率概念，作使得 $P=R-C$ 爲最大之促進利潤的分析。在兩個候選方案 **A** 與 **B** 之中，選取最佳方案用的作成決策過程，可用決策樹代表：



此採擇過程中，淨利潤 $P=R-C$ 係以 V 代表，其乃是方案 **A** 與 **B**，及實況 S_1 與 S_2 之函數。選擇過程中，除了計算各方案之期望金錢值 EMV^A，EMV^B，……，不計算 NPW^A，NPW^B 之外，餘均遵循方案採擇之摘要中的同樣步驟：

$$EMV^A = V(A, S_1)P[S_1] + V(A, S_2)P[S_2] + \cdots$$
$$EMV^B = V(B, S_1)P[S_1] + V(B, S_2)P[S_2] + \cdots$$

其中 $P[S_i]$＝發生實況 1 與 2 之機率。

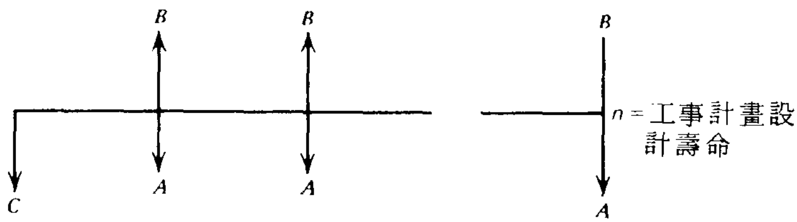
方案採擇模式

使$P=R-C$ 爲最大之促進利潤概念中所採用之支付時間流水賬的淨現值NPW爲：

$$NPW=B_0-A_0-C_0$$

其中B_0，A_0，與C_0分別代表未來收益B，作業與養護成本A，與資本投資C 。

未來收益B，年作業與養護成本C，及第0年中之起始資本投資等之一系列均勻分期現金流通圖爲：



在候選方案**A**，**B**，**C**中選取最佳方案時，作成決策之過程如下：

1. 就每一個方案計算其$NPW=B_0-A_0-C_0$，得NPW^A, NPW^B, NPW^C，……。
2. 僅考慮適合不等式$NPW\geq 0$之條件的各可行方案。
3. 按NPW爲最大值，選取可行方案。

土木工程系統分析

目　　錄

第四章　決策分析

第五章　資源調配之經濟考慮

第六章　線性數學模式之最適化

第七章　靈敏度分析及二元型與原始型之關係

第八章　非線性規劃之古典方法

第九章　非線性規劃用數值法

第十章　曲線擬合與最小二乘方法

附錄A　矩陣法

附錄B　單位常態曲線$N(0,1)^a$下方之面積

第一章　處理過程

讀完本章後，讀者必然可以瞭解：

1. 知道基本分析方法，能以數學模式寫出工程問題用方程式並予求解。
2. 重視人力，物力，與財力上的限制，以及諸如建築與設計法規等所制訂的要求，如何影響到工程設計，規劃，與管理等過程的情形。
3. 瞭解求解實際工程問題中，系統分析之優點與限制。

系統分析係一系列之配合步驟，可用以說明工事規劃，工程設計，與管理中之諸問題。系統分析爲作成決策之工具。工程師可以用其來決定如何以最具效率的與最有效果的方式來運用資源，用以達成所指定的鵠的與目標。就作成一項成功的決策而論，分析中便必須將屬於技術的，與屬於經濟的兩種情形均列入考慮。本書整本所論，均遵循此項大前提。

因爲系統分析可應用於作成決策，同時，工程問題的範圍頗廣，故本書將舉出其在結構，大地技術，環境，運輸，水資源，與施工諸工程上的應用。每一個例子中，均擬指出如何將工程問題與經濟問題合併，以期求得最適解。

在經濟，數學，與商業的範圍中，系統分析（system analysis）一般均將其歸屬於作業研究（operation research）中。本書中，則專論此原理在求解土木工程中之設計，規劃，與管理諸問題方面的應用。

1-1 資源調配與數學模式

系統分析是一種可以對資源(resource)作有效調配之方法。資源可以廣泛的分類爲:人力(labor power),財力(money),與物力(material)。因爲資源具有市場價值,亦即可以買賣,同時又因爲經費一般均其有限,故資源調配極爲重要。當土木工程師從事於數以百萬元計之大型公共工程個案工作時,此情形尤其眞確。

鵠的與目標

由於要作有效率的與有效用的資源調配,便必須清晰的確定鵠的(goal),或目標(objective)。一般而言,吾人的目標是以一種方式作資源調配,使得機構之利潤爲最大,或是使社會大衆獲益爲最大。假設人力,財力,與物力等資源可用來製造商品或提供服務。因爲公衆利益難以量度,而且往然使得初步觀念混雜難辨,故僅採用提高利潤與其他簡單的量度值,舉例說明系統分析的基本概念。例如,將利潤 P 確定爲收入或是自商品或服務得到的收益 R,與提供商品或服務之成本 C 間之差。下列數學式子則可用來總括此項定義:

$$P = R - C$$

假如假定收益固定不變,則將製造成本減至最小,便可求得最大利潤。典型情形中,工程師所扮演的角色便是要達成此目標。

限制式

求得將成本減至最小之途徑,以達到取得最大利潤之目的,說起來頗容易,做起來則不簡單。財務(financial),物料(physical),與法令規章上的限制(institutional constraint)均必須列入考慮。一般而言,財務限制係由於有限的資金與貸款所需利息而來。此等經費可用來取得資源,諸如採購材料與僱請人工。物資的限制一般

均歸屬於材料特性之限制。材料具有某種可以量度的特性，其中諸如強度，彈性，以及工程上的其他特徵。法令規章限制爲由社團，政府，與工程專業機構所制訂之條例，法律，或指針；設計與建築法規中所規定的條件，即爲工程師必須列入考慮的法令規章之一。很明顯，假如一項工程設計能夠適合所有法令規章，在此同時，其又適合旣定目標達到最大利潤或最小成本，則可以認爲其設計爲最適解（optimum solution）。本書之目的即是討論達到此目的的途徑。

最適解

系統分析中，數學模式（mathematical model）乃是作成決策過程中的一項重要要素。數學模式爲對欲達成之目的，或目標，作一種恰當的與明顯的陳述。此外，其尙包括一組必需適合的，諸如財務，物料，與法令等限制條件。一問題之解也就是最適解，乃是對各資源如何作最有效用的與最有效率的運用的說明。

本書將審查土木工程中許多方面的問題。每一個問題之目標或目的均互有不同。例如，其目的可能是將產品成本減至最低，將結構重量縮至最小，或是選取適合大衆需要的最好設計。所有此等問題均可採用數學模式，構成系統分析問題。須予認識之重點是不論是對於涉及到土木工程方面的特殊教育，或是工事計畫之目標，系統分析總是採用同一方法，寫出其中之式子。所導致之數學模式具有一種標準的數學形式，其中包括一個目標函數，與一組限制方程式。

本章中主要是討論工事計劃目標之陳述，限制條件之陳述，與寫出數學模式用方程式。系統分析或最適化問題之解爲本書以下各章之論題。將可看出對於求解各種不同類型之數學模式，具有各種不同的數學算法。亦將採用圖解法與微積分方法，舉出求最適解用的基本原理。

圖解法爲求解最適化問題之一項有力的工具。一般而言，其較之以數學計算更能深入瞭解其問題，並可評核若干種不同的解。每當可能，即當利用圖解法來補充數學方法之討論。

數學模式

典型的系統分析模式中計包含一個單一的目標函數，與一組限制方程式。包含多目標函數之模式將列於下文加以討論。大部分之討論均將限於單一目標函數之模式。

目標函數係假設成爲一組設計（design），決策（decision）或控制（control）變數（variable）之函數。本書中將會常之採用“控制變數”一詞。目標函數可寫成下列數學關係式：

$$z = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$$

其中 x_1，x_2，……，x_n 表示一組 n 個控制變數。控制變數典型是代表所指定的人力數量，經費預算，與材料數量，其均係屬於非負值的數值；在數學模式中經引用爲：

$$\begin{aligned} x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 0 \\ &\vdots \\ x_n &\geq 0 \end{aligned}$$

財務，物資，與法令規章的限制，係以一組 m 個限制方程式代表：

$$\begin{aligned} &g_1(x_1, x_2, \ldots, x_n)\{=, \leq, \geq\}b_1 \\ &g_2(x_1, x_2, \ldots, x_n)\{=, \leq, \geq\}b_2 \\ &\quad\vdots \\ &g_m(x_1, x_2, \ldots, x_n)\{=, \leq, \geq\}b_m \end{aligned}$$

$\{=, \leq, \geq\}$ 之一組符號係代表可能等於，小於或等於，大於或等於限制條件諸情形。例如，在鋼建築構造中，方程式組之右側可能包括：$b_1 = \$10{,}000$，爲架設所需之經費：　500 ft，爲其工事計劃中可資利用的鋼料，以單位按尺計之數量　ゟ　20,000 psi，爲

結構中之支承構材所允許之容許應力限度。經利用向量符號，則可將其模式簡化為較緊湊的形式：

$$z = f(\boldsymbol{x})$$

應適合於：

$$g_i(\boldsymbol{x})\{=, \leq, \geq\}b_i$$

其中

$$i = 1, 2, \ldots, m \quad 與 \quad \boldsymbol{x} \geq 0$$

採用向量符號後，一組控制變數 x_1，x_2，……，x_n 便可用控制向量（control vector）$\boldsymbol{x}$ 代表，即：

$$\boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

限制式組與可用向量代表。命：

$$\boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}) = \begin{bmatrix} g_1(x_1, x_2, \ldots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \ldots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \ldots, x_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(\boldsymbol{x}) \\ g_2(\boldsymbol{x}) \\ \vdots \\ g_m(\boldsymbol{x}) \end{bmatrix}$$

與

$$\boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$