

前言

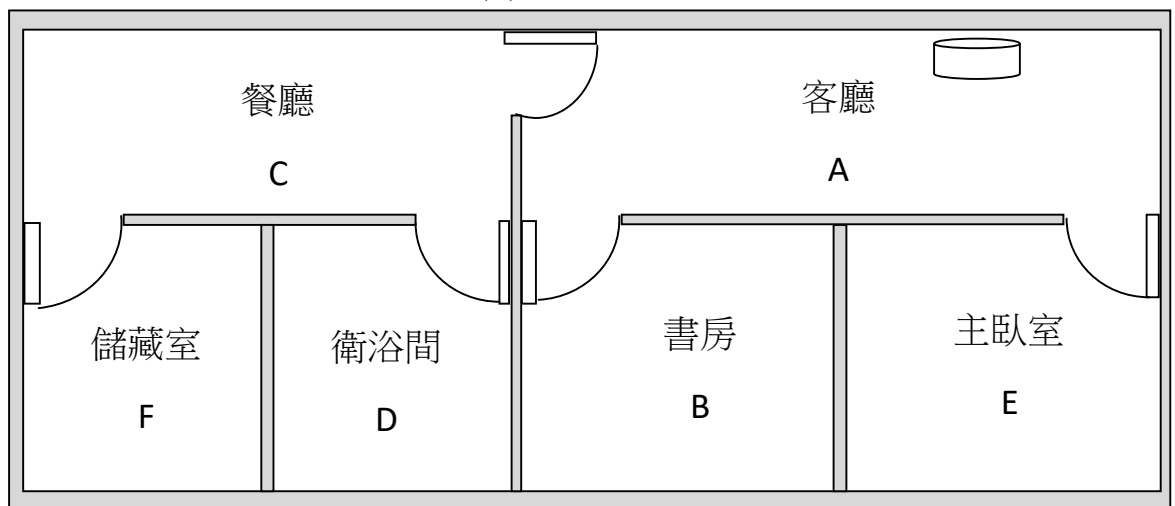
台灣有句諺語叫做『桌頂拈柑』，形容事情或問題很容易解決，勝券在握的意思，不過這應該是桌上只有一顆橘子的狀況下，可是當桌上有一堆橘子、香蕉、芭樂、鳳梨、釋迦、葡萄、蓮霧，要一起被帶走時，你可能就要想著該用甚麼容器？幾個？怎樣的水果不可以放在一起才不至於擠壓破損？以此例為喻，用程式解決問題時，未先分析問題本身的通例與特例，就貿然著手撰寫程式碼，就好像沒把水果分類就裝在一起一樣，很可能會發生鳳梨壓在蓮霧上面擺在一個袋子裡，最後結果你可想而知。

本書並非一本專門討論演算法與程式語言的書，而是實務上，在開發管理資訊系統的過程中，曾讓筆者苦思良久所導出的樹狀結構與其應用。為了不讓讀者對於本書有紙上談兵的感覺，附上簡單的 Excel VBA 程式碼，供讀者驗證流程圖與實際結果是否相符，而且盡可能用表格與圖形表達筆者所欲闡述的意涵，望能切中精要，直指人心。

第一章 無人掃地機該怎麼走

下圖為一間房子的平面空間圖，圖中的英文字母假設為各房間的區域識別器編號，區域識別器可發射無線訊號給無人掃地機，令其感知所處區域。無人掃地機平時就在客廳的一隅充電，每次被啟動後，便會去各個房間打掃過一遍，完畢後回歸原位充電，讓我們思考一下，其內部程式應該如何駕馭此無人掃地機，才能走過每間房呢？

圖 1-1



將上圖簡化成樹狀結構圖，應該會比較容易推演其行走路徑。

圖 1-2

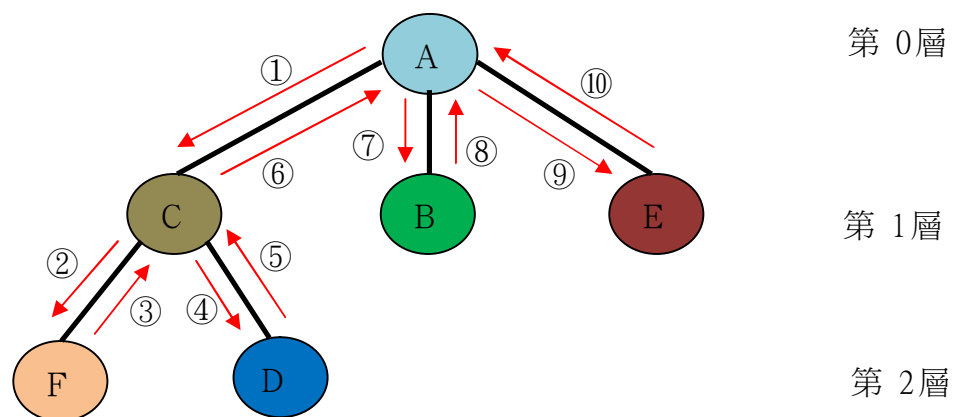


圖 1-2 所顯示的箭頭與其旁邊的數字號碼，乃以直觀的方式推導出無人掃地機所行進的路徑與所經過各房間的順序，可是若以程式去處理時，就必須給予一定的法則。圖 1-2 中內含英文字母的圓圈，我們稱為「節點」，節點 A 為「根節點」，屬於第 0 層，往下直接連接節點 C、節點 E、節點 B，此三節點乃為 A 之子節點，這些子節點屬於第 1 層，三者間的關係，為兄弟節點，反過來說節點 A 便為它們的父節點，節點 C 也有子節點，分別為節點 D 與節點 F，由於在 C 的下一層，故此兩者屬於第二層。

此外兄弟節點關係中必須再細分兄節點與弟節點，也就是與該節點有同一父節點，在同一階層上，最靠近該節點的左方節點為其兄節點，最靠近其右方為弟節點（注意！故意不稱兄弟節點乃指符合所述條件的是一個特定節點，而不是一組節點集合）。例如圖 1-2 中，D 是 F 的弟節點，B 是 C 的弟節點，E 是 B 的弟節點，反過來則是 F 為 D 的兄節點，C 為 B 的兄節點，B 為 E 的兄節點，若資料經過排序後兄與弟的關係可能會對調。最後強調的一種節點，姑且稱為末梢節點，意即同一群兄弟節點中最右邊的那個節點（獨子也算是），而且沒有子節點，例如圖 1-2 中的節點 D 跟節點 E 便是末梢節點；跟弟節點一樣，也會受到資料排序而改變誰是末梢節點。

圖 1-2 仍然難以讓電腦解讀，於是我們將這個圖檔內，以父階節點與子階節點這樣成對的有向序，記錄在資料表格中，如下

表 1-1

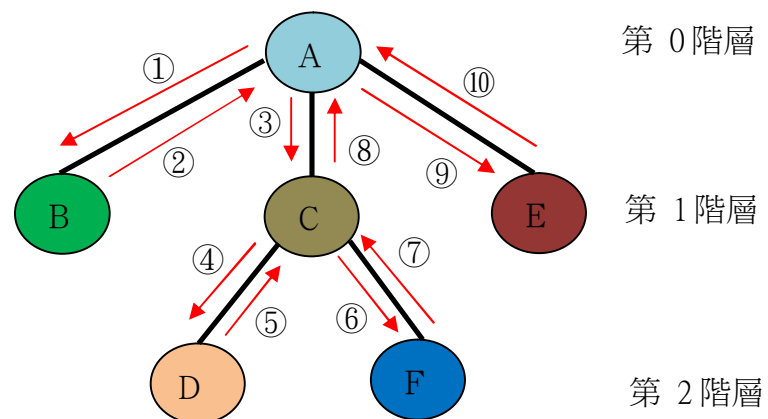
父階節點	子階節點
A	C
A	B
A	E
C	F
C	D

如表 1-1 所示，表格型式的資料便可以讓程式去判讀，不過最好還是經過以父階節點代號為主鍵值，子階節點代號為次鍵值排序一次，再讓程式去搜尋，排序後的結果如表 1-2 所示

表 1-2

父階節點	子階節點
A	B
A	C
A	E
C	D
C	F

圖 1-3



習慣上我們的計算順序是從上到下由左到右，則圖 1-2 的樹狀圖將會變成圖 1-3 所示，因此節點的編號也會影響搜尋的順序。

再觀察一下，我們發現每個節點與其他節點之間的關係不外乎有幾種
如表 1-3 所示的狀況：

表 1-3 節點關係狀態表

1. 只有子節點

2. 只有弟節點

3. 有子節點也有弟節點

4. 既無子節點也無弟節點

節點代號	有子節點	有弟節點
A	✓	✗
B	✗	✓
C	✓	✓
D	✗	✓
E	✗	✗
F	✗	✗

節點 E 與節點 F 既無子節點也無弟節點，我們查看圖 1-3 可發現此兩節點剛好就是末梢節點，在流程上，遇到末梢節點就必須循父階退至祖父階、曾祖父階…一階一階向上爬，直到尋找到旁系叔父節點，方可回到尋找子階的主流程；要是爬到比根節點還小的上一階（階數為 -1），則結束整個歷程（也就是無人掃地機將每間房打掃過一次了），講了這麼多節點關係，如果你已經被搞昏了，那就把這棵樹狀結構視作一個家族族譜，那就一切明白了。

再回到圖 1-3 與表 1-2 表 1-3 對照查看，想像一下這個流程該怎麼跑？先以簡易的口頭語言列出來，我們可以簡略整理如下

1. 定義祖宗是誰（根節點），流程開始。
2. 每個節點先找子節點。
3. 有找到就回步驟 2.，否則從該節點回父節點去找其弟節點。

4. 找到弟節點則回到步驟 2.，否則繼續步驟 5.。
5. 連弟節點也找不到，表示已到了末梢節點。
6. 由目前所處的節點，往上找祖父節點。尋找祖父節點前，先試算其父節點階數，若小於 0 則結束整個流程，否則直接跳到步驟 7.。
7. 透過祖父節點找叔父節點，也就是父節點的弟節點。
8. 找到叔父節點就回到步驟 2.，否則就往上退到父節點，然後重複步驟 6.。

上述 8 點規則，是否還無法令人一下子明白？要是我們把每一個節點擬人化，用更通俗白話的說法就只是三個規則，

1. 每個節點都要找兒子。
2. 兒子找不到就透過父親找弟弟。
3. 弟弟也找不到就透過祖父找叔父。
4. 重覆驟 1.到步驟 3.直到所有節點都找完。

圖 1-4 行走路徑展開成一條線

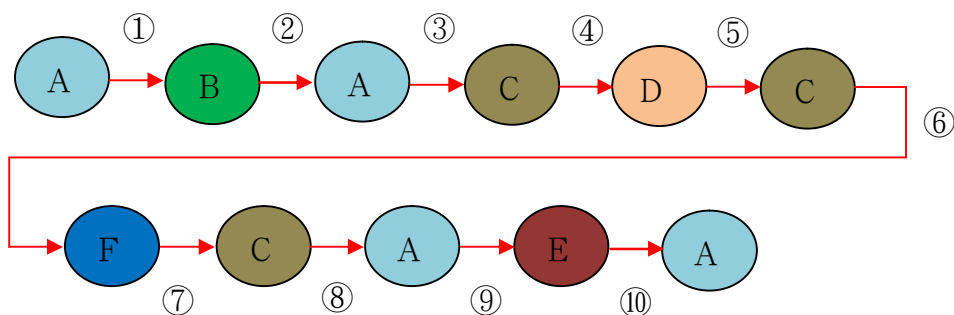


圖 1-4 所示，可以瞭解本程式目的，在不考慮階層數的狀況下將一個樹狀圖轉化成一條線，此即無人掃地機的行徑。

不過，上述的資料仍不足以完成無人掃地機的行徑程式，若不先把必要的變數或暫存資料檔定義好，便無從推演以撰寫程式。

假設無人掃地機每到一個區域便打個卡，把所在區域代號寫入一個目的表格檔，因為是以 Excel 演示，我們姑且以 Sheet3 表示目的表格，由上到下逐筆記錄打卡順序。

從圖 1-2 的紅色箭頭順序，可以發現，行走的路徑，需要走回頭路，才能行進到別的支線與節點，所以每走一步就該記錄下來已走過的節點，以便無人掃地機走到某支系的末端時，有跡可循。這個行走軌跡暫存檔，為 Sheet2。

經過排序後的表 1-2 為來源資料，也是依據這個表格的內容來決定路徑該行走順序，因此將此表格存入 Sheet1 我們稱為來源檔。

三個資料表格初始值分別如下所示

Sheet1			
記錄	父階代號	子階代號	複合鍵值
2	A	B	AB
3	A	C	AC
4	A	E	AE
5	C	D	CD
6	C	F	CF

*註：由於 Excel 表格第一列已有欄位表頭，所以記錄（列號）從 2 開始

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄
----	------	------	----	------

Sheet3

記錄	行經節點代號	階數
----	--------	----

接著就是運算過程中所需要用到的變數，如下

1. FATHER：暫存各父階節點代號。
2. SON：暫存子階節點代號。
3. res：暫存父階與子階合併代號。
4. PRTY：暫存階數。
5. FLP：整個系統是否結束的判斷旗標變數，也是碰到末梢節點時，存放其階數的變數。
6. irow1：來源表格記錄號碼。
7. irow3：軌跡暫存表格被指定變數搜尋到的記錄號碼。

*註：

1. 某些變數或欄位名稱會以第一個字到兩個字代表。
2. 流程圖中類似 $FATHER \leftarrow "A"$ 的式子，表示將右邊的內容值寫入左邊的變數。
3. 資料表格所稱的紀錄號碼，對於 Excel 試算表來說就是表上從上算下來的第幾列（Row Number）。
4. 為了讓流程圖看起來順暢，線條不交叉，不得已才把程序結束方塊放在最左上。
5. 以無人掃地機的行徑例子來說，第一個打卡地點與最後一個打卡地點就是根節點，也就是節點 A，為了簡潔，流程圖中未予贅述。

圖 1-5-1 用 Excel VBA 實作的遍歷樹狀結構流程圖(一)

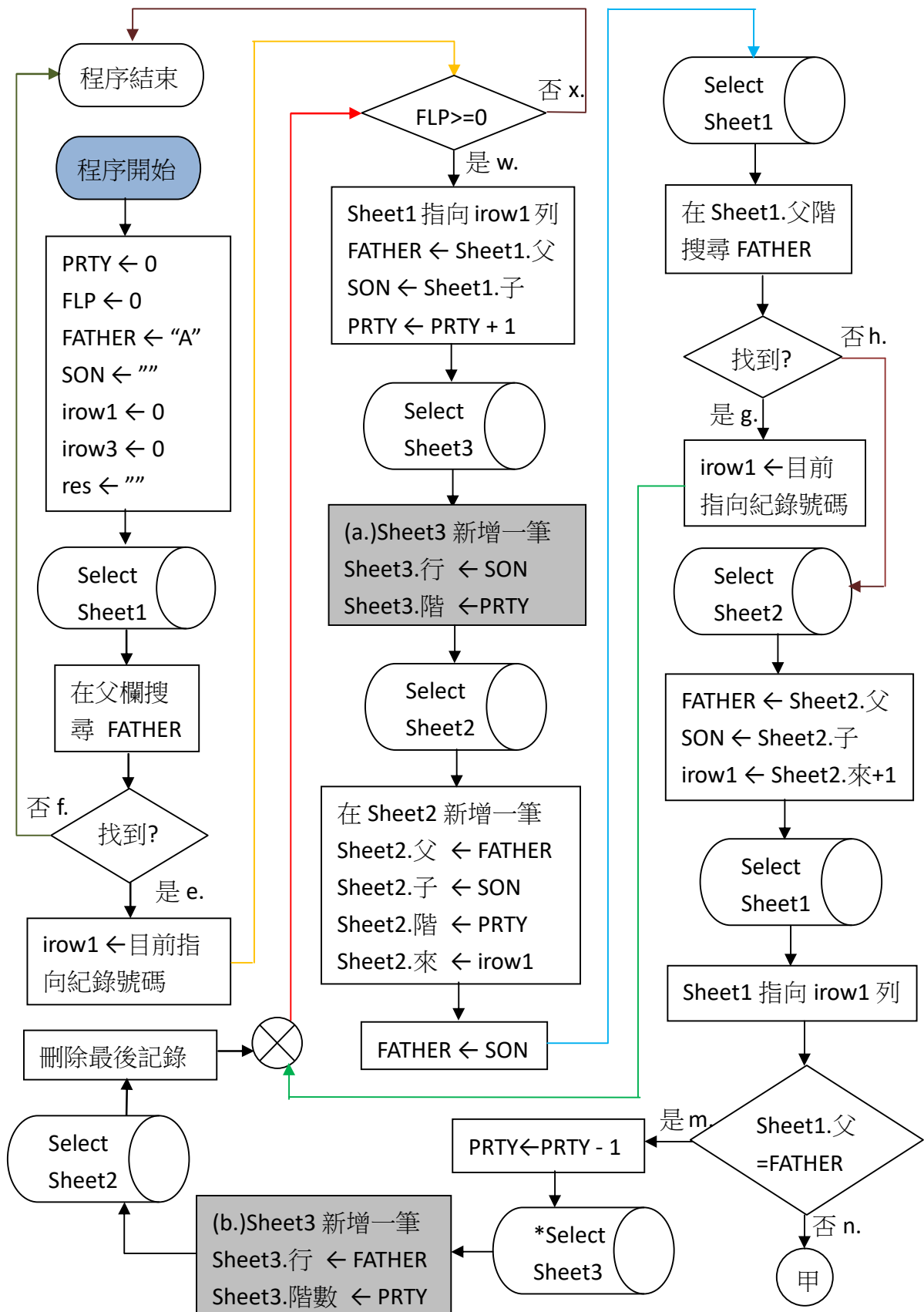
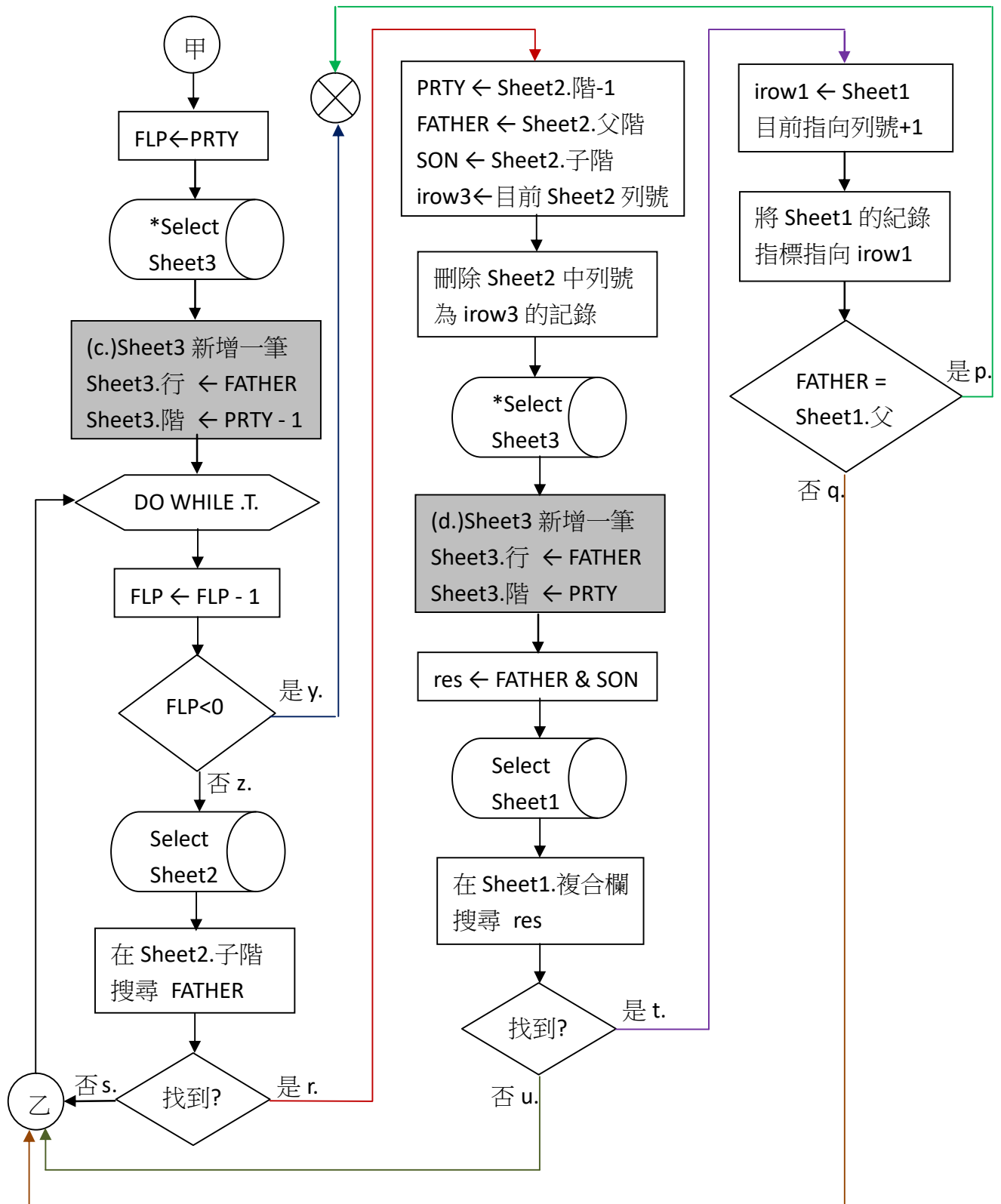


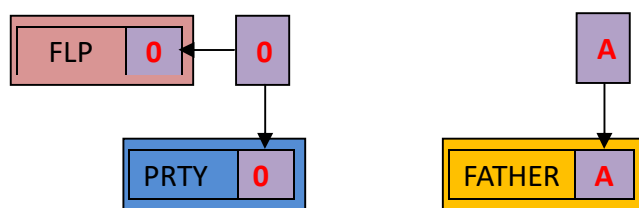
圖 1-5-2 用 Excel VBA 實作的遍歷樹狀結構流程圖(二)



註：上下頁都有  符號，其實代表為同一點， 則為上下頁流程承接點。

以下我們便根據上述流程圖詳細展演此樹狀圖的遍歷過程：

1. 定義所需基本變數，同時也寫入變數 **FATHER**，做為搜尋鍵值，
PRTY 為運算過程階層位置記錄變數，**FLP** 則為由下層往上遞
回所用旗標變數。



2. 在來源表格 **Sheet1** 的『父階代號』欄中搜尋到變數 **FATHER**
內容“A”。(e.)

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	←
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	

FATHER	A
--------	---

3. 並將該筆記錄號碼（或列號）寫入變數 **irow1**。

Sheet1

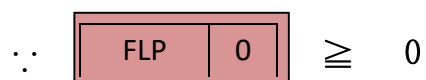
irow1	2
-------	---

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	←

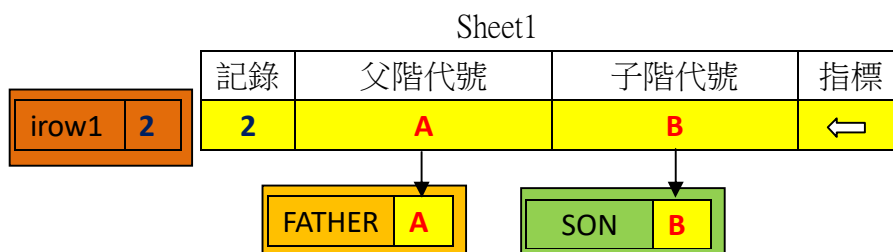
4. 主迴圈起始點，由此進入。



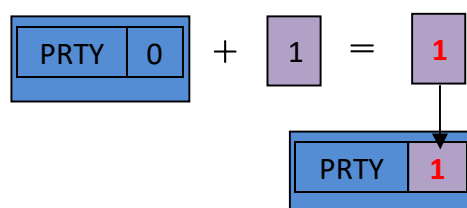
5. 只要旗標變數 **FLP** 不小於 0，則整個程序會持續進行。(w.)



6. 『父階代號』欄內容寫入變數 **FATHER**，『子階代號』欄內容寫入變數 **SON**。

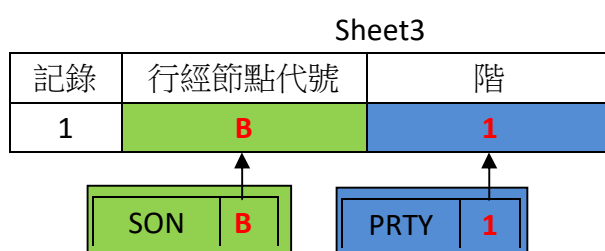


7. 變數 **PRTY** 內容加 1 後再存回變數 **PRTY** 自己本身。



8. **SON**、**PRTY** 寫入目的表格 **Sheet3** 對應欄位，成為第一筆記錄。

(a.)



9. 也同時將此過程，記錄於暫存表格 Sheet2 中。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	B	1	2	←

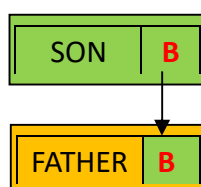
FATHER	A
--------	---

SON	B
-----	---

PRTY	1
------	---

irow1	2
-------	---

10. 將變數 SON 內容寫入變數 FATHER 中以便往下搜尋子階節點。



11. 再切換至來源表格 Sheet1 的『父階代號』欄中搜尋，變數 FATHER，其內容為”B”，結果未尋獲，因此需要往上遞回一階，再查看有無其他同父階的弟節點。(h.)

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	
NOT FOUND			

FATHER	B
--------	---

12. 切換至暫存表格 Sheet2 中，將最後一筆新增記錄的『父階代號』欄內容寫入變數 FATHER，以及來源表格的原記錄號碼（或列號）寫入變數 irow1。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	B	1	2	←

FATHER A

irow1 2

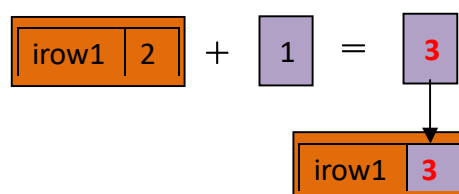
13. 回到來源表格 Sheet1 中直接將指標指向 irow1 內容的記錄號碼（或列號）。

Sheet1

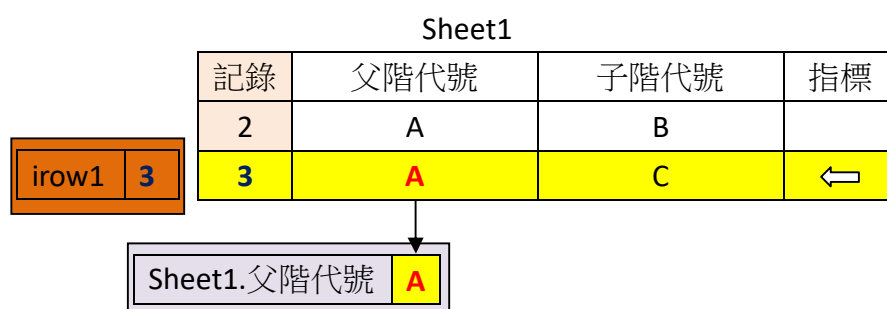
記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	←
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	

irow1 2

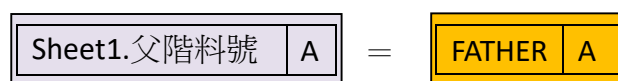
14. 為了要與下一筆內容比較，目前指向記錄號碼變數需自行加 1。



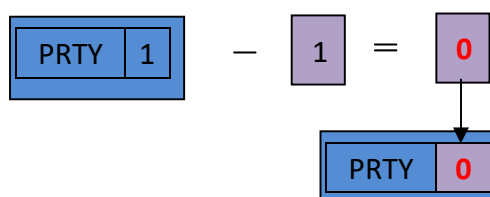
15.來源表格 Sheet1 指向變數 irow1 內容的記錄號碼。



16.該筆的『父階代號』欄內容等於變數 FATHER 內容，表示前一筆的子階節點 B 有弟節點，應該回上一層由其父階節點尋找旁系弟節點。(m.)

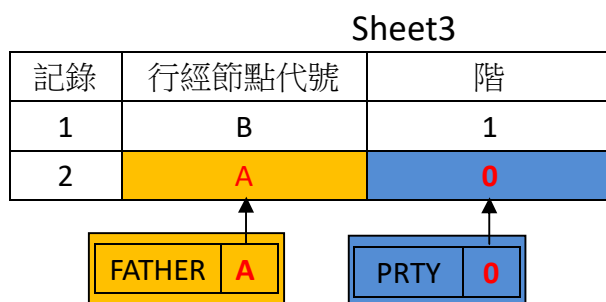


17.要回上一階層，必須把記錄階層變數的 PRTY 減 1，結果等於 0。

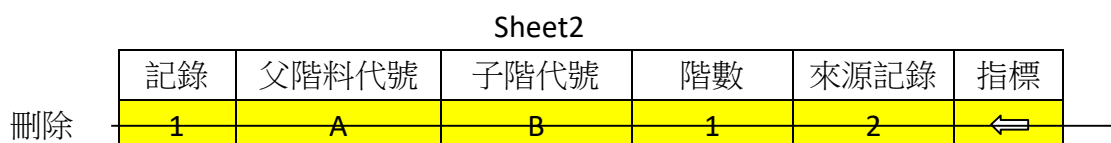


18. 切換至目的表格 Sheet3 中，把這個返回父節點過程記錄下來。

(b.)



19. 切換至暫存表格 Sheet2 中，把最新寫入的記錄刪除。



20. 此時 Sheet2 為空白。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標

21. 第一次返回主迴圈起點。



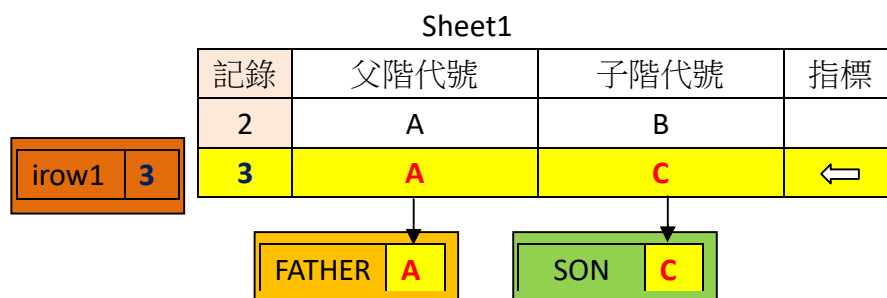
22. 因為 FLP 仍然未小於 0，所以繼續執行主迴圈。(w.)



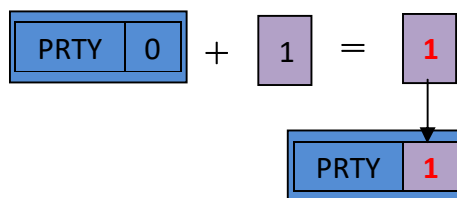
23.切換到來源表格 Sheet1 中，將指標指向 irow1 內容的號碼，

此筆的『父階代號』欄內容寫入變數 FATHER，『子階代號』欄

內容寫入變數 SON。

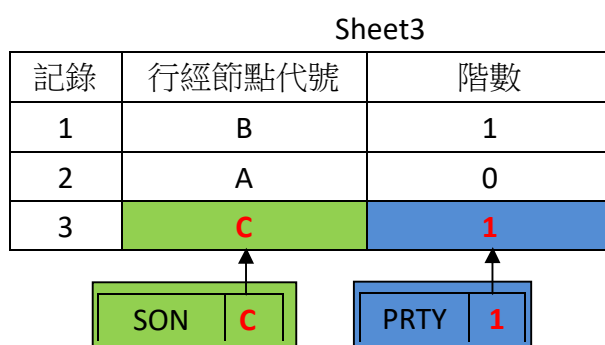


24.記錄階層的變數 PRTY 加 1，準備將子階節點寫入目的表格。

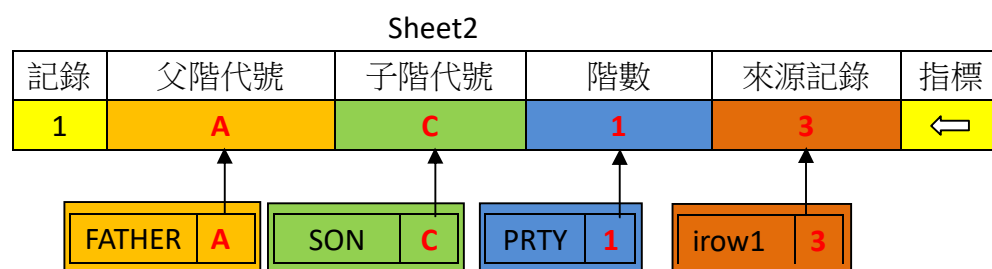


25.在目的檔 Sheet3，新增一筆，將下圖所示兩個變數，分別寫

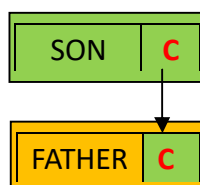
入所屬欄位。(a.)



26.暫存檔 Sheet2 也需要同時新增一筆寫入。



27.再次將變數 SON 內容寫入變數 FATHER，準備尋找子階節點。



28.來源表格 Sheet1，在『父階代號』欄中搜尋到變數 FATHER，

目前內容為”C”，表示節點 C 有子階。(g)



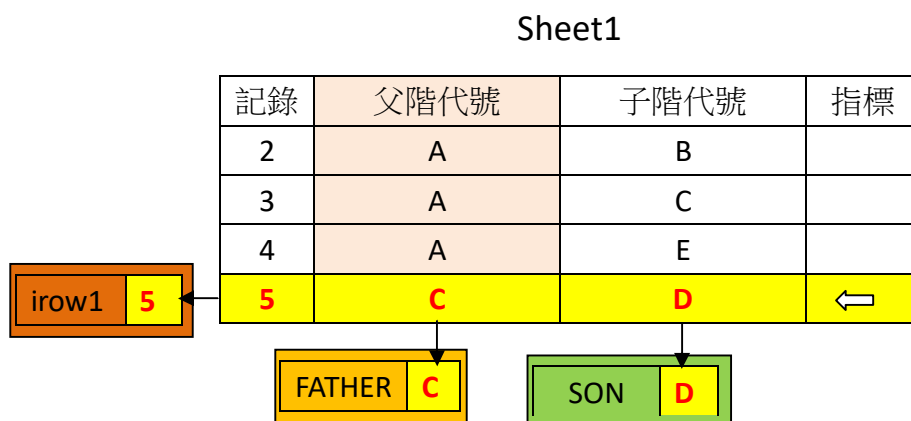
29.第二次返回主迴圈起點。



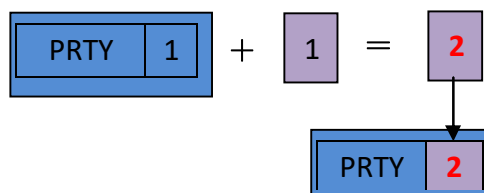
30.變數 FLP 大於等於 0，所以繼續執行程序。(w.)

$$\boxed{\text{FLP} \mid 0} \geq 0$$

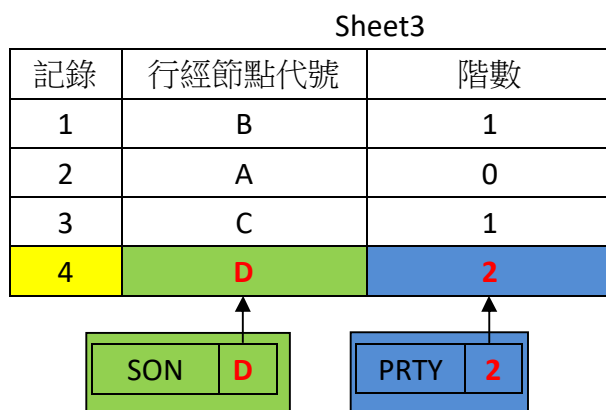
31.將被搜尋到的 Sheet1 該筆內容寫入對硬的變數中。



32.變數 PRTY 加 1，準備將子階節點的階層數寫入目的表格。



33.將此回合所記錄到的變數寫入目的檔 Sheet3 中。(a.)



34.暫存檔 Sheet2 中往下新增一筆記錄。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	
2	C	D	2	5	←

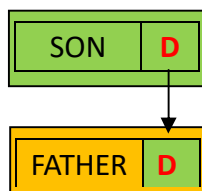
FATHER | C

SON | D

PRTY | 2

irow1 | 5

35.在將子階變數 SON 內容丟入變數 FATHER，準備往下一階搜尋節點。



36.父階代號搜尋不到“D”，表示節點 D 已是該樹狀結構直系的最尾端。(h.)

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	

NOT FOUND ←

FATHER | D

37. 返回記錄暫存檔 Sheet2，找到最後一筆剛才寫進的記錄，將其父階代號寫回變數 FATHER，令其父去尋找其弟節點。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	
2	C	D	5	5	←

FATHER | C

irow1 | 5

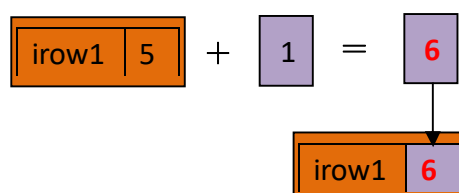
38. 回到 Sheet1 來源記錄，指向 irow1 內容的那一筆記錄。

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	←
6	C	F	

irow1 | 5

39. 變數 irow1 加 1，稍後指向下一筆記錄，以確認是否有相同父階代號之旁系節點。



40.來源檔 Sheet1 記錄指向變數 irow1 所記號碼。

Sheet1			
記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	←

irow1	6
-------	---

Sheet1.父階代號	C
-------------	---

41.此筆『父階代號』欄內容與變數 FATHER 內容相同，亦即表示節點 D 有弟節點。(m.)

Sheet1.父階代號	C
-------------	---

=

FATHER	C
--------	---

42.要回上一階層，必須把記錄階層變數的 PRTY 減 1。

PRTY	2
------	---

-

1

=

1

PRTY	1
------	---

43.故再返回父節點，寫入目的表格檔，並準備找弟節點。(b.)

記錄	行經節點代號	階數
1	B	1
2	A	0
3	C	1
4	D	2
5	C	1

FATHER C

PRTY 1

44.先返回記錄暫存檔 Sheet2 把此筆刪除。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	
2	C	D	2	5	←

刪除 —

45.此時只剩下一筆第 26 步驟所留下到現在的紀錄，其『子階代號』欄內容與目前變數 FATHER 內容相同的紀錄。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	

46.第三次返回主迴圈起點。



47. 旗標變數 FLP 仍然不小於 0，所以繼續執行程序。(w.)

$$\begin{array}{|c|c|} \hline \text{FLP} & 0 \\ \hline \end{array} \geq 0$$

48. 回到來源表格 Sheet1，指向 irow1 記錄號碼，將此筆內容寫入對應變數。

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	←

irow1 | 6

FATHER | C

SON | F

49. 階層變數 PRTY 加 1，表示為目前節點階層，準備寫入目的表格。

$$\begin{array}{|c|c|} \hline \text{PRTY} & 1 \\ \hline \end{array} + 1 = \begin{array}{|c|} \hline 2 \\ \hline \end{array}$$

PRTY | 2

50.目的表格 Sheet3 新增一筆，將所對應變數寫入。(a.)

Sheet3

記錄	行經節點代號	階數
1	B	1
2	A	0
3	C	1
4	D	2
5	C	1
4	F	2

SON | F

PRTY | 2

51.記錄暫存表格 Sheet2 也將該筆資料寫入。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	
2	C	F	2	6	←

FATHER | C

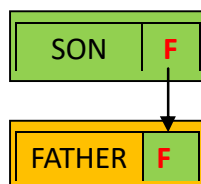
SON | F

PRTY | 2

irow1 | 6

52.持續準備往下找子階節點，將變數 SON 內容寫入變數

FATHER。



53.變數 FATHER 內容”F”，並未在來源表格 Sheet1 的『父階代號』

欄中被尋獲。(h.)

Sheet1			
記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	B	
6	C	D	
NOT FONUD			

FATHER	F
--------	---

54.於是回到 Sheet2 找回剛才的記錄，再寫回去變數 FATHER 與

irow1。

Sheet2					
記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	
2	C	F	2	6	←

FATHER	C
--------	---

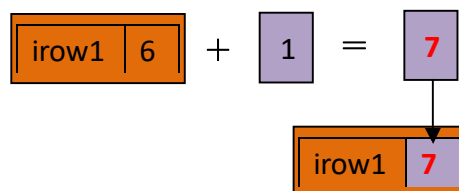
irow1	6
-------	---

55.切換到來源表格 Sheet1，指向 irow1 的內容號碼。

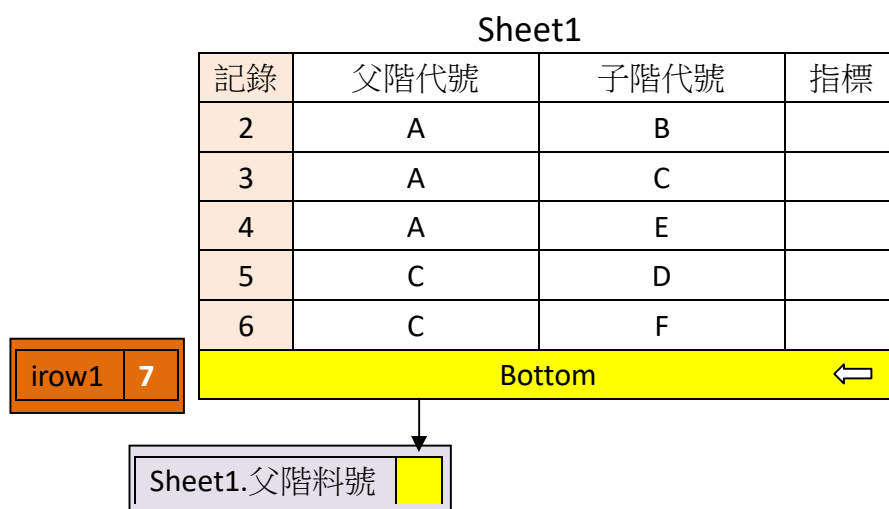
Sheet1			
記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	←

irow1	6
-------	---

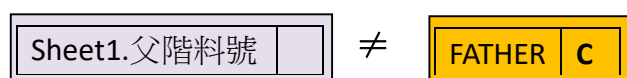
56.將 irow1 內容再加 1 準備令其父階代號內容與變數 FATHER 比較。



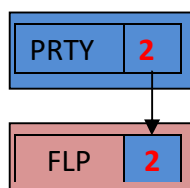
57.此時 irow1 的內容已超過來源表格紀錄筆數，故其父階代號欄位內容為空白。



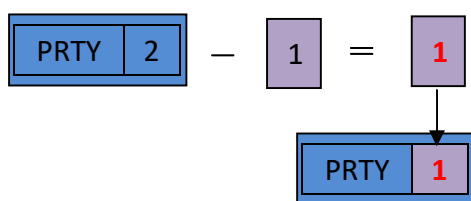
58.空白的內容當然與目前變數 FATHER 內容不同。(n.)



59.接下來先將 PRTY 內容寫入 FLP 準備進入一段無窮迴圈



60.階層變數必須減 1 準備記錄上一層節點。



61.回上一層的節點再記錄至目的表格檔 Sheet3。(c.)

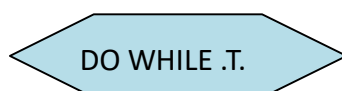
Sheet3

記錄	行經節點代號	階數
1	B	1
2	A	0
3	C	1
4	D	2
5	C	1
6	F	2
7	C	1

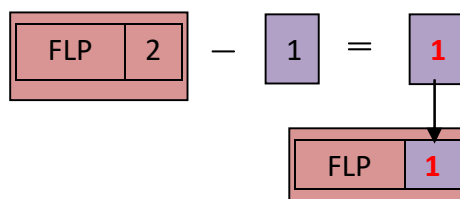
FATHER | C

PRTY | 1

62. 開始進入無窮迴圈。



63.先將變數 FLP 減 1。



64.若 FLP 不小於 0 則繼續在無窮迴圈內執行。(y.)



65.切換到表格 Sheet2，在『子階代號』欄位中搜尋變數 FATHER，

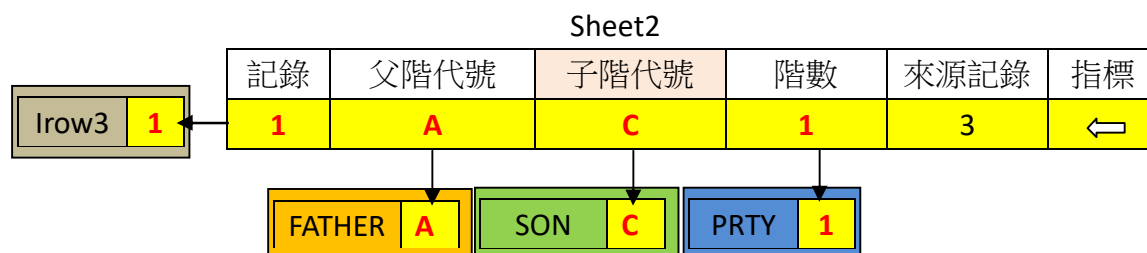
此回合有找到一筆相符的記錄。(r.)

Sheet2

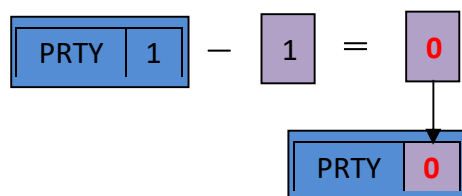
記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	←
2	C	F	2	6	

FATHER | C

66.同時利用 FATHER、SON、PRTY 三個變數將所屬資料擷取下來。



67..變數 PRTY 此時必須減 1，以恢復變數 FATHER 內容指示的節點的階數。



68.變數存取完畢後即可刪除軌跡暫存檔紀錄 irow3。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	A	C	1	3	← 刪除
2	C	F	2	6	

Diagram showing the deletion of record irow3 (row 1) from the table. A box labeled 'irow3' with '1' is shown next to the first row of the table, which is highlighted in yellow. An arrow points from the '指標' column of row 1 to the text '刪除' (Delete).

69.此時暫存檔只剩一筆末梢節點。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	C	F	2	6	

70.再將父階節點寫入目的表格(d.)。

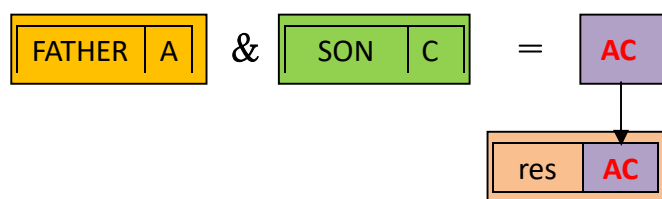
Sheet3

記錄	行經節點代號	階數
1	B	1
2	A	0
3	C	1
4	D	2
5	C	1
6	F	2
7	C	1
8	A	0

Diagram showing the insertion of record 8 into the table. A box labeled 'FATHER' with 'A' is shown below the table, with an arrow pointing to the '行經節點代號' column of row 8. Another box labeled 'PRTY' with '0' is shown below the table, with an arrow pointing to the '階數' column of row 8.

71.將變數 FATHER 與變數 SON 兩者內容合併成一個鍵值寫入變數

res。



72.以變數 res 去搜尋來源表格 Sheet1 的『父階代號』欄與『子階代號』欄合併的內容，剛好找到一筆記錄號碼 3 的記錄。

(t.)

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	←
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	

res AC

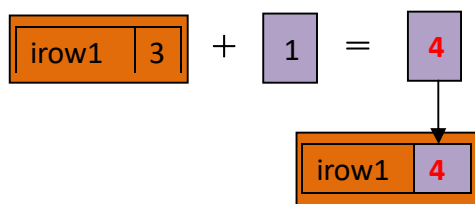
73.將搜尋到的記錄號碼寫入變數 irow1。

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	←
4	A	E	
5	C	D	
6	C	F	

irow1 3

74.再把記錄變數 irow1 加 1，準備與下一筆比對。



75.將來源資料表格 Sheet1 記錄指標指向剛才運算的變數 irow1，
即第 4 筆。

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	←
5	C	D	
6	C	F	

Diagram showing the variable **irow1** with the value **4** pointing to the 4th record in the table.

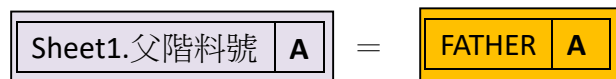
76.將此筆的『父階代號』欄內容，準備與目前變數 FATHER 的內容
容比對。

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	←

Diagram showing the variable **irow1** with the value **4** pointing to the 4th record in the table. An arrow points from the '父階代號' (Parent Code) cell 'A' in the 4th record to a box labeled 'Sheet1.父階料號' containing the value **A**.

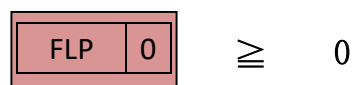
77.此筆的父階代號欄內容與變數 **FATHER** 內容相同，表示節點C，
有旁系弟節點。(p.)



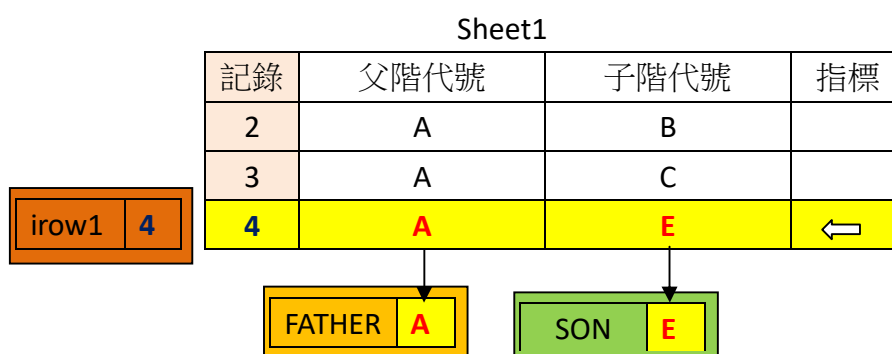
78.跳出無窮迴圈，第四次返回主迴圈。



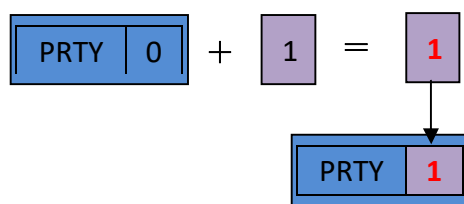
79.變數 **FLP** 未小於 0，故繼續執行程序。(w.)



80.變數 **FATHER** 與 **SON**，擷取 Sheet1 表格中第 4 筆內容。



81.階層變數 PRTY 加 1 準備寫入目的表格 Sheet3。



82.切換到目的表格 Sheet1 新增一筆，把兩個變數 SON、PRTY 內容寫入相關欄位。(a.)

Sheet3

記錄	行經節點代號	階數
1	B	1
2	A	0
3	C	1
4	D	2
5	C	1
6	F	2
7	C	1
8	A	0
9	E	1

SON | E

PRTY | 1

Arrows point from the 'SON' and 'PRTY' boxes to the corresponding cells in row 9 of the table.

83.同時切換到記錄暫存表格 Sheet2，新增一筆記錄。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	C	F	2	6	
2	A	E	1	4	←

FATHER | A

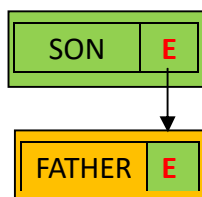
SON | E

PRTY | 1

irow1 | 4

Arrows point from the 'FATHER', 'SON', 'PRTY', and 'irow1' boxes to the corresponding cells in row 2 of the table.

84.子階變數內容再次填入 FATHER 變數，繼續往下找子階節點。



85.來源表格的『父階代號』欄位中搜尋不到 FATHER 變數內容，
表示節點“E”無子階節點，因此準備再嚐試藉由其父階代號尋
找同父階的弟節點。(h.)

Sheet1

記錄	父階代號	子階代號	指標
2	A	B	
3	A	C	
4	A	E	
5	C	B	
6	C	D	
NOT FOUND			←

FATHER | E

86.再回到暫存記錄表格 Sheet2 找回剛才寫入的記錄，擷取『父
階代號』與『來源記錄』欄資料，分別寫入變數 FATHER 與
irow1。

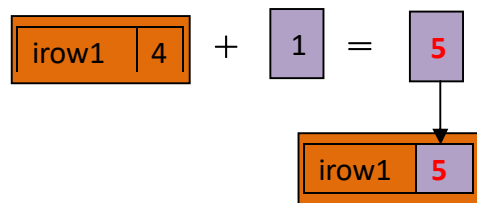
Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	C	F	2	6	
2	A	E	1	4	←

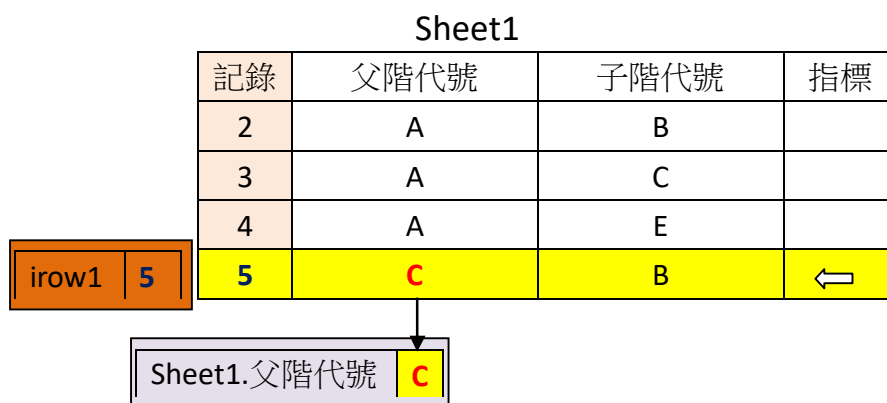
FATHER | A

irow1 | 4

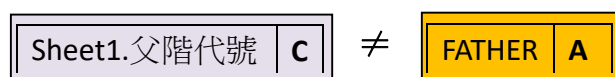
87.準備比對來源表格的下一筆的父階代號是否與變數 FATHER 內容相同，所以將紀錄只變數再加 1。



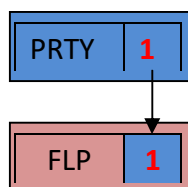
88.回到來源表格 Sheet1，將記錄指向 irow1。



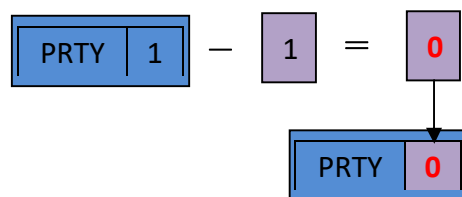
89.結果不相同，準備往上遞迴，尋找叔父節點。(n.)



90.把目前階層變數 PRTY 內容寫入變數 FLP。



91.階層變數減 1 準備回到上一層。



92.將返回的節點寫入目的表格(c.)。

Sheet3

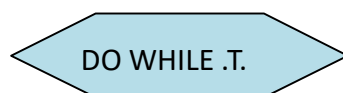
記錄	行經節點代號	階數
1	B	1
2	A	0
3	C	1
4	D	2
5	C	1
6	F	2
7	C	1
8	A	0
9	E	1
10	A	0

Diagram illustrating the insertion of the returned node into the table:

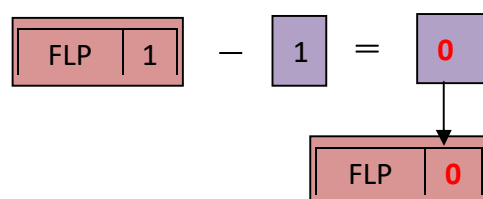
The node A is inserted into the table at row 10. The FATHER variable is updated to A, and the PRTY variable is updated to 0.

FATHER: $\boxed{\text{FATHER} \mid A}$ PRTY: $\boxed{\text{PRTY} \mid 0}$

93.又再度開始執行無窮迴圈。



94.再把旗標變數 FLP 減 1。



95.變數 FLP 仍大於等於 0 ，繼續執行。(y.)



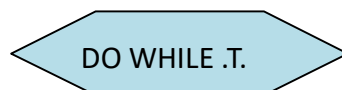
96.切換到 Sheet2，以 FATHER 變數搜尋子階代號欄位，但是並未搜尋到。(s.)

Sheet2

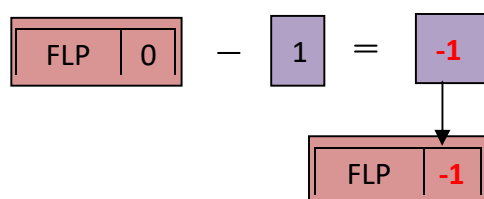
記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄	指標
1	C	F	2	6	
2	A	E	1	4	
NOT FOUND					←

FATHER | A

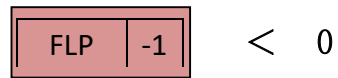
97.返回無限迴圈起點。



98.變數 FLP 在減 1。



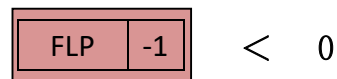
99.此時變數 FLP 已小於 0，跳出無限迴圈返回主迴圈。(z.)



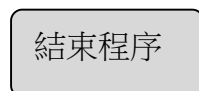
100. 最後一次返回主迴圈。



101. 主迴圈中也認知 FLP 小於 0，所以流程必須跳出主迴圈。
(x.)



102. 至此結束整個程序，此樹狀 BOM 展開流程也就此結束。



如果我們把流程圖中未描述的根節點紀錄，插入目的表格的第一筆，再讓節點代號隨著階數不同有層次的擺放在表格中，則呈現的最終結果如下：

Sheet3


順序	階數	行經節點代號		
1	0	A		
2	1		B	
3	0	A		
4	1		C	
5	2			D
6	1		C	
7	2			F
8	1		C	
9	0	A		
10	1		E	
11	0	A		
	階層數	0	1	2

而軌跡暫存表格會殘留兩筆紀錄，恰巧就是前面特別強調的末梢結點，當然這只是暫存檔，我們可以捨棄不予理會了。

Sheet2

記錄	父階代號	子階代號	階數	來源記錄
1	C	F	2	6
2	A	E	1	4

以下為 Excel VBA 的程式碼，在執行程式前，請在工作表 Sheet1 中建立如下資料



	A	B	C	D	E
1	父階代號	子階代號	複合鍵值		
2	A	B	AB		
3	A	C	AC		
4	A	E	AE		
5	C	D	CD		
6	C	F	CF		
7					
8					

並將以下程式碼寫入巨集中：

Sub 無人掃地機行徑之樹狀展開()

'每個節點的任務為

'1.往下找子節點

'2.如果沒有子節點,往上呼叫父節點,令其父節點找尋其他子節點(及兄弟節點)

'3.要是既無子節點也無兄弟節點,則往上階回溯,直到找叔公節點

Dim rng1, rng2, rng3, rng4 As Range

Dim res, FATHER, SON, PT, Kcnt As String

Dim irow1, irow2, irow3, irow4, PRTY, FLP, FLGA, Scnt As Integer

irow2 = 2

irow3 = 0

irow4 = 1

PT = "A"

PRTY = 0

```

FLP = 0
FLGA = 0
Scnt = 2
Sheets("Sheet1").Select      '把複合鍵值填上
Kcnt = Range("A2")
While Kcnt <> Empty
    Range(Cells(Scnt, 3), Cells(Scnt, 3)).Value = _
    Range(Cells(Scnt, 1), Cells(Scnt, 1)).Value & _
    Range(Cells(Scnt, 2), Cells(Scnt, 2)).Value
    Scnt = Scnt + 1
    Kcnt = Range(Cells(Scnt, 1), Cells(Scnt, 1)).Value
Wend
Sheets("Sheet3").Select
Range("A2", Range("Z2").End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range(Cells(irow2, 2), Cells(irow2, 2)).Value = PT  '先將根節點寫入目的表格
Range(Cells(irow2, 1), Cells(irow2, 1)).Value = PRTY
Sheets("Sheet2").Select
Range("A2", Range("J1").End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Sheets("Sheet1").Select
Set rng1 = Sheets("Sheet1").Range("A:A").Find(PT, LookAt:=xlWhole)
If Not rng1 Is Nothing Then
    irow1 = rng1.Row
    Do While FLP >= 0
        Sheets("Sheet1").Select
        FATHER = Range(Cells(irow1, 1), Cells(irow1, 1)).Value
        SON = Range(Cells(irow1, 2), Cells(irow1, 2)).Value
        PRTY = PRTY + 1
        If PRTY > 25 Then '如果超過 25 階可能會步入無窮迴圈
            Exit Do      '意即資料可能建成 父->子，子->父
        End If          '所以要跳出迴圈停止無限循環並結束程式
        Sheets("Sheet3").Select      '寫入族譜
        irow2 = irow2 + 1
        Range(Cells(irow2, 1), Cells(irow2, 1)).Value = PRTY
        Range(Cells(irow2, 2 + PRTY), Cells(irow2, 2 + PRTY)).Value = SON
        irow4 = irow4 + 1
        Sheets("Sheet2").Select      '寫入軌跡過程

```

```

Range(Cells(irow4, 1), Cells(irow4, 1)).Value = FATHER
Range(Cells(irow4, 2), Cells(irow4, 2)).Value = SON
Range(Cells(irow4, 3), Cells(irow4, 3)).Value = PRTY
Range(Cells(irow4, 4), Cells(irow4, 4)).Value = irow1
FATHER = SON
Sheets("Sheet1").Select
Range("A1").Select
Set rng2 = Sheets("Sheet1").Range("A:A").Find( _
FATHER, LookAt:=xlWhole)
If Not rng2 Is Nothing Then      '尋找子階
    irow1 = rng2.Row             '記錄列數準備回主迴圈寫入
Else                             '如果沒有則回到剛(Sheet1)的下一筆
    Sheets("Sheet2").Select
    FATHER = Range(Cells(irow4, 1), Cells(irow4, 1)).Value
    irow1 = Range(Cells(irow4, 4), Cells(irow4, 4)).Value
    irow1 = irow1 + 1
    Sheets("Sheet1").Select
    If Range(Cells(irow1, 1), Cells(irow1, 1)).Value = FATHER Then
        '如果有同一個父親表示有弟弟
        PRTY = PRTY - 1          '準備回主迴圈以父之名找其他兄弟
        Sheets("Sheet3").Select  '寫入族譜
        irow2 = irow2 + 1
        Range(Cells(irow2, 1), Cells(irow2, 1)).Value = PRTY
        Range(Cells(irow2, 2 + PRTY), Cells(irow2, 2 + PRTY)) _
        .Value = FATHER
        Sheets("Sheet2").Select  '將本節點軌跡紀錄刪除
        Range(Cells(irow4, 1), Cells(irow4, 8)).Select
        Selection.Delete Shift:=xlUp
        irow4 = irow4 - 1
    Else                          '否則就是既沒子孫也連本房兄弟都沒有
        Sheets("Sheet3").Select  '寫入族譜
        irow2 = irow2 + 1
        Range(Cells(irow2, 1), Cells(irow2, 1)).Value = (PRTY - 1)
        Range(Cells(irow2, 2 + PRTY - 1), Cells(irow2, 2 + PRTY - 1)) _
        .Value = FATHER
        FLP = PRTY               '將剛剛寫入的節點之階數存入另一個變數
        FLGA = 0                  '此旗標變數當作迴圈的限定值
        Do While (FLGA = 0)      '設一很大的迴圈往上找

```

```

FLP = FLP - 1
If FLP < 0 Then          '回朔到史前就該結束不找了
    Exit Do
End If
Sheets("Sheet2").Select    '從軌跡檔內開始往上翻直
                            '到找到父輩有兄弟的

Set rng3 = Sheets("Sheet2").Range("B:B").Find( _
FATHER, LookAt:=xlWhole)
If Not rng3 Is Nothing Then
    irow3 = rng3.Row
    PRTY = Range(Cells(irow3, 3), Cells(irow3, 3)).Value - 1
    SON = Range(Cells(irow3, 2), Cells(irow3, 2)).Value
    FATHER = Range(Cells(irow3, 1), Cells(irow3, 1)).Value
    Range(Cells(irow3, 1), Cells(irow3, 8)).Select
    Selection.Delete Shift:=xlUp
    irow4 = irow4 - 1
    Sheets("Sheet3").Select        '寫入族譜
    irow2 = irow2 + 1
    Range(Cells(irow2, 1), Cells(irow2, 1)).Value = PRTY
    Range(Cells(irow2, 2 + PRTY), Cells(irow2, 2 + PRTY)) _
    .Value = FATHER
    res = FATHER & SON
    Sheets("Sheet1").Select
    Set rng4 = Sheets("Sheet1").Range("C:C").Find( _
    res, LookAt:=xlWhole)
    If Not rng4 Is Nothing Then
        irow1 = rng4.Row
        irow1 = irow1 + 1
        If Range(Cells(irow1, 1), Cells(irow1, 1)).Value = _
        FATHER Then '找有同父階的下一筆
            Exit Do    '如果是同父則跳出無限迴圈
        End If
    End If
End If
End If
Loop
End If
End If
Loop

```

```
End If
    Sheets("Sheet3").Select
End Sub
```

讀者如果好奇不一樣的樹狀結構，是否也能由此程式執行出相同的預期結果，可以去將 Excel 工作表 Sheet1 中去做新增修改，但是根節點有變動的話請去程式碼中，將變數 PT="A"修正為正確的根節點代號，工作表中依父階代號排序後，再執行巨集（即使根節點不在第一筆也可執行）。

第二章 樹狀結構與物料需求計劃

對於第一章之所以對於這個無人掃地機的行走路徑流程圖，著墨如此深的原因，實際上就是要連結到本章所要討論的物料需求計劃MRP(Material Requirements Planning)系統，