



第五章 模擬實驗

經過一到四章的介紹，我們對導引系統已經有足夠的瞭解，也知道細節的部分是如何實作。接下來本章利用各種條件變換的方式，希望盡可能模擬停車場內所有可能發生的情形，並進而證明在各種情形下本系統都可以正確的運作。

5.1 實驗環境介紹

為了兼顧代表性、便利性及多樣性，本實驗採用圖 5.1 的停車場平面圖作為實驗的樣本空間。該停車場擁有一個車輛入口，一個車輛出口以及兩個行人出口 (S_{24} 、 S_{83})，共提供 112 個停車位，所有道路皆為雙向車道(實作上若為單向車道則將該段道路的長度設定為無窮大)，所有方向指示號誌狀態皆初始化為 0。系統的cost function只計算 (3.1) 的前三項，也就是車輛到停車位的距離、路徑擁塞程度、

停車位到行人出口的距離。考慮車輛與行人的速率差異，加上本系統強調道路擁擠程度的影響，所以對應的weight分別設為1、3、7，並省略迴轉成本的計算。

接著我們利用第二章所介紹的方法將圖 5.1 轉換成圖 5.2，拿掉了維持平面圖完整性的虛擬 node J_7 跟虛擬 edge R_{10} 。實驗中所需要用的數據如附錄 A。系統採用的作業系統是 Microsoft Windows XP Professional Edition，電腦 CPU 為 Pentium 4 3.0 GHz，使用的記憶體大小為 512MB，以 Borland C++ Builder 6 來進行程式的撰寫。

實驗分單一車輛（5.2 節）與多台車輛（5.3 節）兩個部分來進行，延續第三章的定義，我們用三種事件來模擬停車場內可能產生的變化，實驗的狀況表如表 5.1，依狀況表列各種 case 如表 5.2。

- (1) 新增可供停放的停車位
- (2) 原本規劃的最佳停車位被其他車輛搶佔
- (3) 車輛未依系統規劃的最佳路徑前進

本模擬實驗乃是利用車輛數目、車輛位置還有上述三種事件的排列組合來模擬停車場內的各種狀況。

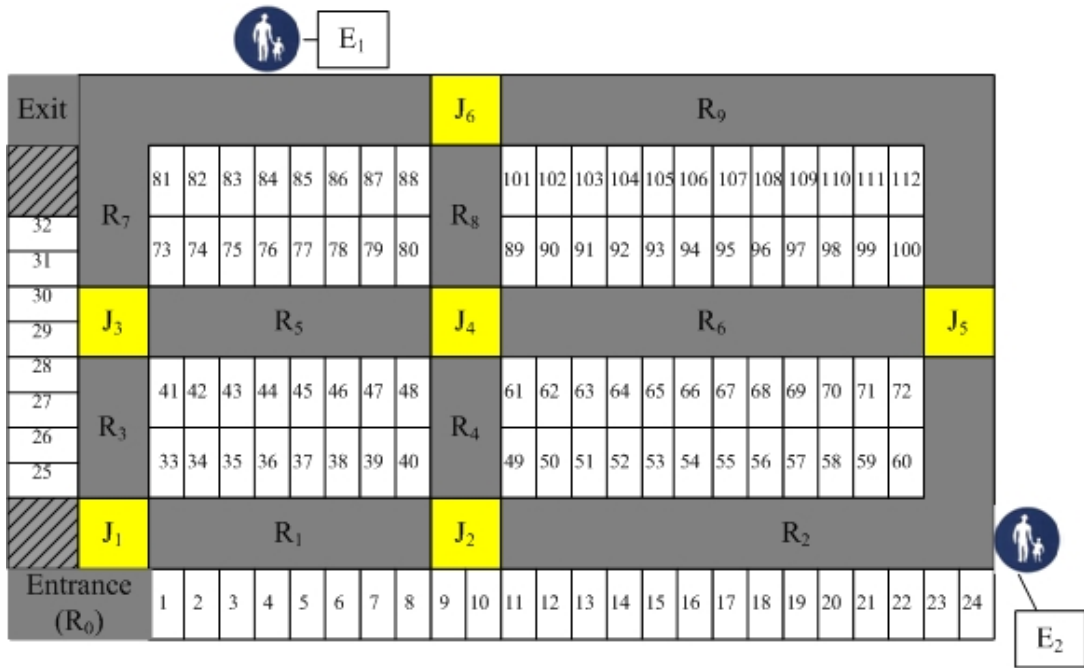


Fig. 5.1 Parking lot diagram for simulation

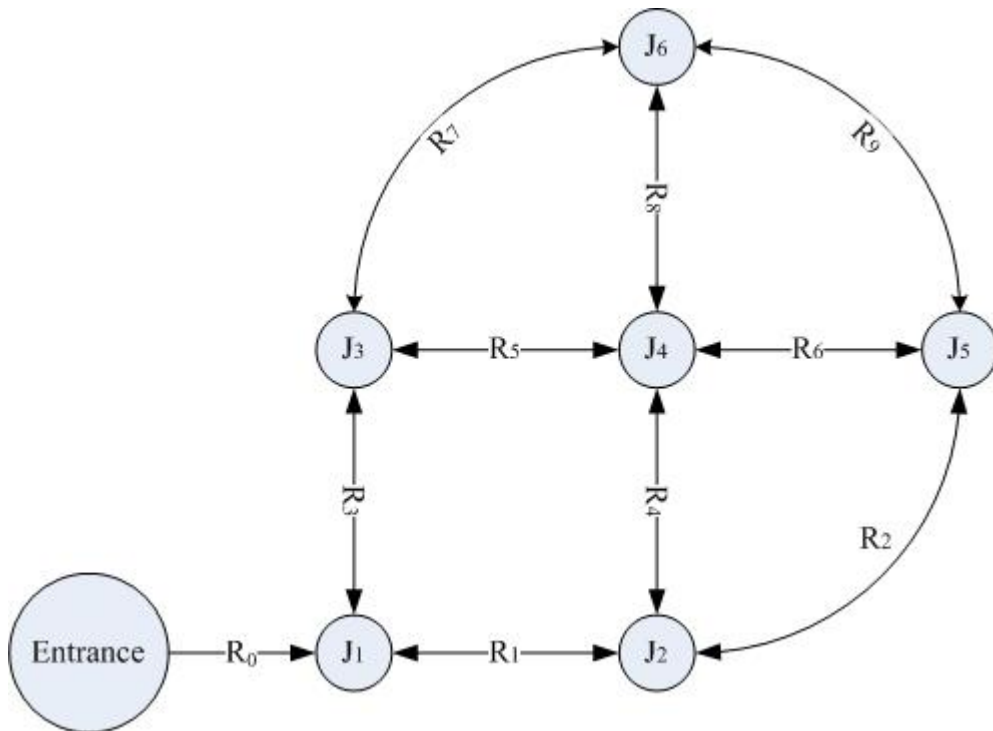


Fig. 5.2 Parking lot graph for simulation

車輛數	車輛未依規劃路徑前進	規劃停車位被搶佔	新增free停車位
1	1	1	1
	0	0	0
N	1	1	1
	0	0	0

註：1代表Yes，0代表No

Table 5.1 Simulation situation

車輛數	狀況	Case number	車輛數	狀況	Case number
1	000	1	N	000	9
	001	2		001	10
	010	3		010	11
	100	4		100	12
	011	5		011	13
	101	6		101	14
	110	7		110	15
	111	8		111	16

Table 5.2 Simulation case number

因為單一車輛時不可能發生停車位被搶佔的情形，所以 case 3、case 5、case 7、case 8 不會成立。

5.2 單一車輛實驗

Case 1 是一個簡單的例子，我們用它來解說系統的運作方式，這也是本導引系統的 base case。

Case 1

假設停車場內無其他車輛移動，可供停放的停車位為 S_{19} 、 S_{45} 、 S_{78} 、 S_{85} 、 S_{94} 、 S_{105} 、 S_{110} 。車輛 V_i 進入停車場入口（設為 S_5 ），系統計算所有可供停放的停車位成本如下：

End position -> 85 , Minimum cost -> 85
End position -> 19 , Minimum cost -> 93
End position -> 78 , Minimum cost -> 146
End position -> 94 , Minimum cost -> 150
End position -> 45 , Minimum cost -> 159
End position -> 105 , Minimum cost -> 168
End position -> 110 , Minimum cost -> 202

為 V_i 分配之最佳停車位及規劃最佳路徑結果如下：

Start position & end position -> 5 85
Minimum cost -> 85
Optimal path -> S5 R1 J2 R4 J4 R8 J6 R7 S85

如圖 5.3，也就是起點為 S_5 ，終點（即最佳停車位）為 S_{85} ，total cost 為 85，最佳路徑 $P_i = S_5 R_1 J_2 R_4 J_4 R_8 J_6 R_7 S_{85}$ ，系統更改 $L_{2,1}$ 狀態成為 1，場內全部的方向指示號誌狀態如下：

$L_{1,0}$	$L_{1,1}$	$L_{1,3}$	$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$	$L_{3,3}$	$L_{3,5}$	$L_{3,7}$	$L_{4,4}$
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

$L_{4,5}$	$L_{4,6}$	$L_{4,8}$	$L_{5,2}$	$L_{5,6}$	$L_{5,9}$	$L_{6,7}$	$L_{6,8}$	$L_{6,9}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 5.3 Direction signal state of case 1

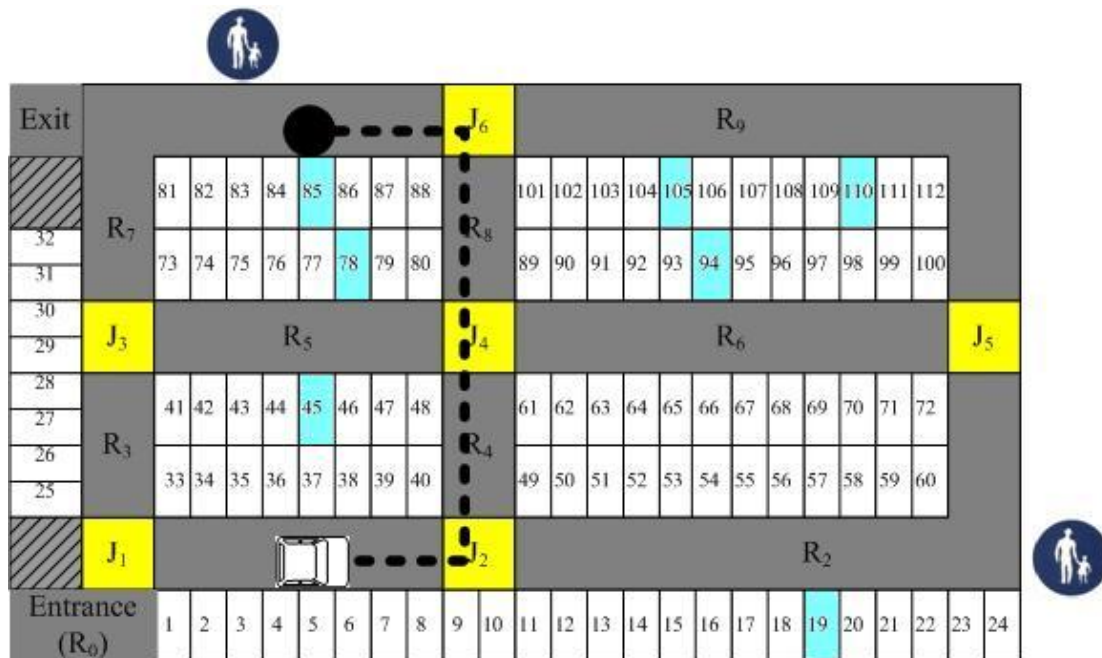


Fig. 5.3 Simulation result of case 1

Case 2 事件（一）新增可供停放的停車位

延假設停車場內無其他車輛移動，可供停放的停車位為 S_{19} 、 S_{45} 、 S_{78} 、 S_{85} 、 S_{94} 、 S_{105} 、 S_{110} 。系統為車輛 V_i 規劃路徑後，原本停放在 S_{23} 的車輛（令為 V_j ）開始移動欲離開停車場，所以新增了可供停車的停車位，系統必須重新規劃。值得注意的是因為 V_j 開始在停車場內前進，所以必須考慮到道路擁擠程度的變化，也就是在graph中代表 R_2 的edge長度將會有所改變。於是系統更改道路 R_2 的擁擠程度值，並為 V_i 重新規劃最佳停車位及最佳路徑如下：

Start position & end position -> 5 23
 Minimum cost -> 84
 Optimal path -> S5 R1 J2 R2 S23

如圖 5.4，也就是起點為 S_5 ，終點（即最佳停車位）為 S_{23} ，total cost 為 84（比原先的低），最佳路徑 $P_i = S_5 R_1 J_2 R_2 S_{23}$ ，系統更改 $L_{2,1}$ 狀態成為 2，場內的方向指示號誌狀態如下：

$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$
2	0	0

Table 5.4 Direction signal state of case 2

Case 3 事件 (二) 規劃的停車位被其他車輛搶佔

因為此時停車場內只有一台車輛在前進，不可能發生這種情形，故不討論。同理不討論 case 5、case 7、case 8。

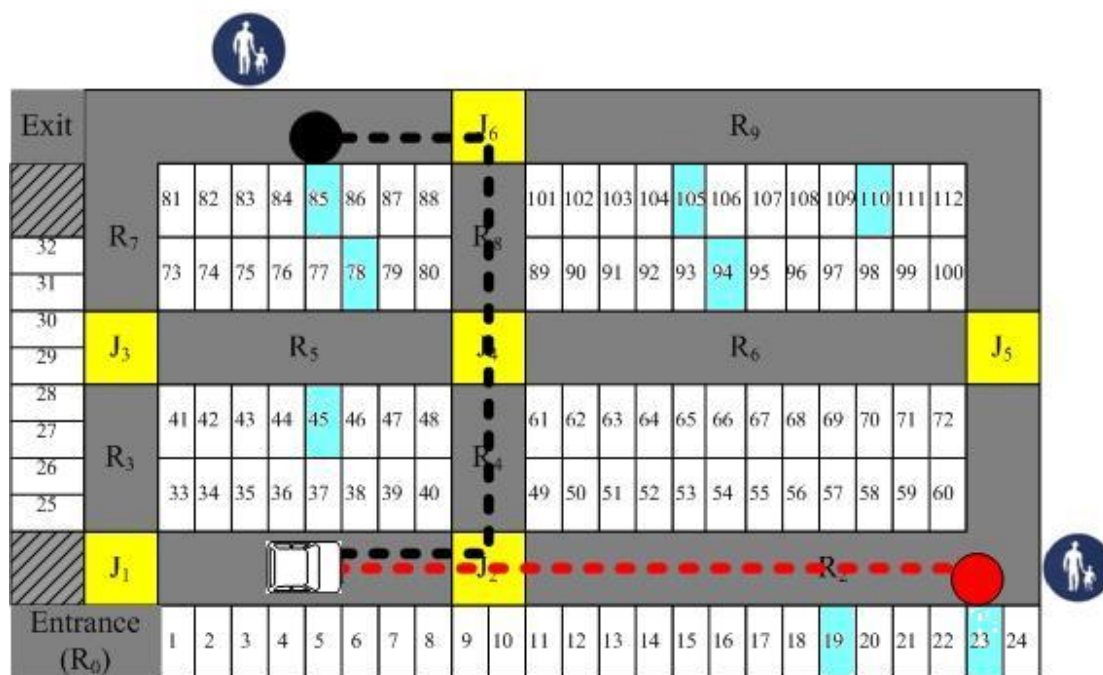


Fig. 5.4 Simulation result of case 2

Case 4 事件 (三) 車輛未依規劃路徑前進

延假設停車場內無其他車輛移動，可供停放的停車位為 S_{19} 、 S_{45} 、 S_{78} 、 S_{85} 、 S_{94} 、 S_{105} 、 S_{110} 。系統已經為車輛 V_i 規劃好最佳停車位及最佳路徑。假設 V_i 在經過路口 J_2 的時候未依規劃路徑前進，本來應該向左轉但駕駛人選擇直走。在這種情況下原先所規劃的最佳停車位跟最佳路徑會產生變動，所以系統在 V_i 通過 J_2 後必須重新為 V_i 計算規劃最

佳停車位及最佳路徑。假設此時 V_i 的位置為 S_{12} ，則系統為 V_i 所重新規劃之最佳停車位及最佳路徑如下：

Start position & end position -> 13 19
 Minimum cost -> 75
 Optimal path -> S13 R2 S19

如圖 5.5，也就是起點為 S_{13} ，終點（即最佳停車位）為 S_{19} ，total cost 為 75，最佳路徑 $P_i = S_{13} R_2 S_{19}$ ，因為路徑沒有經過路口，所以系統不需規劃方向指示號誌。

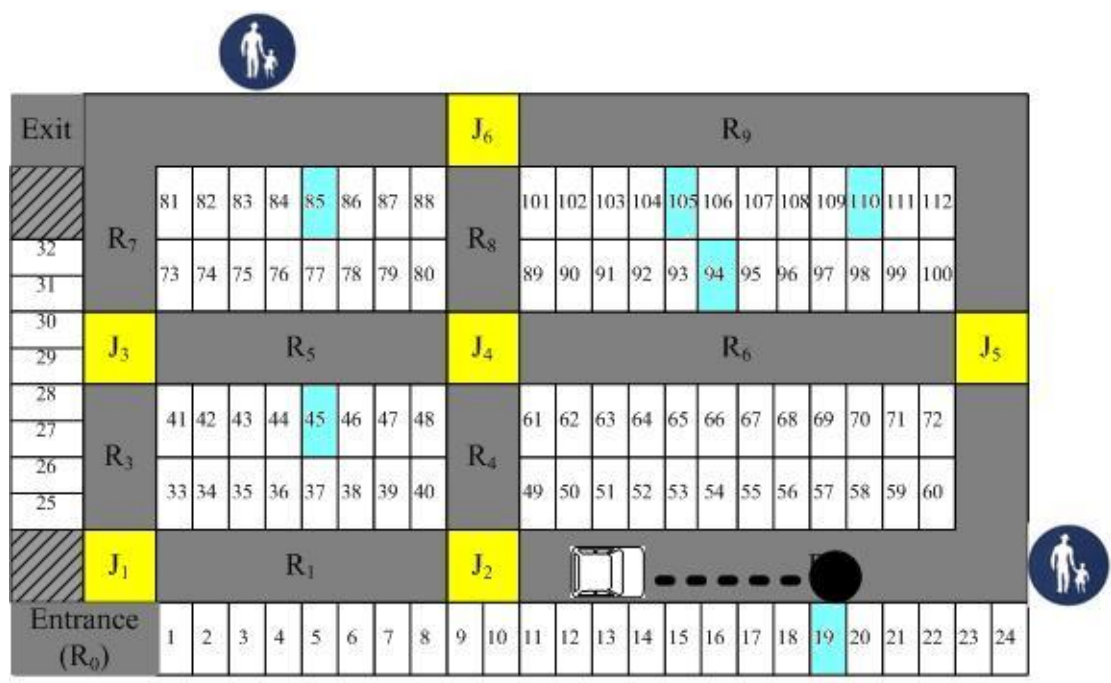


Fig. 5.5 Simulation result of case 4

Case 6 混合事件

當車輛從進入停車場中到最後停好車，上述的事件可能各發生若干次，形成較複雜的情況。不過本系統只需在事件時按照所訂定的策略一一處理，就可以正確的運作，在此不多作說明。

5.3 多台車輛實驗

Case 9

本case共區分為三個時段，分別是時間點 t_1 、 t_2 、 t_3 。在時間點 t_1 的時候，停車場內可供停放的停車位為 S_{19} 、 S_{45} 、 S_{78} 、 S_{85} 、 S_{94} 、 S_{105} 、 S_{110} 。接著 V_i 按照規劃的路徑持續前進，到了時間點 t_2 ，車輛 V_j 進入停車場，此時的 V_i 位置在 S_8 ，系統開始為 V_j 規劃最佳停車位及最佳路徑如下：

Start position & end position -> 0 19 Minimum cost -> 117 Optimal path -> S0 R0 J1 R1 J2 R2 S19

此時系統為 V_j 規劃方向指示號誌 $L_{1,0}=3$ 。模擬結果如圖 5.6，另外系統結合運算規劃停車場內的方向指示號誌狀態如表 5.5。

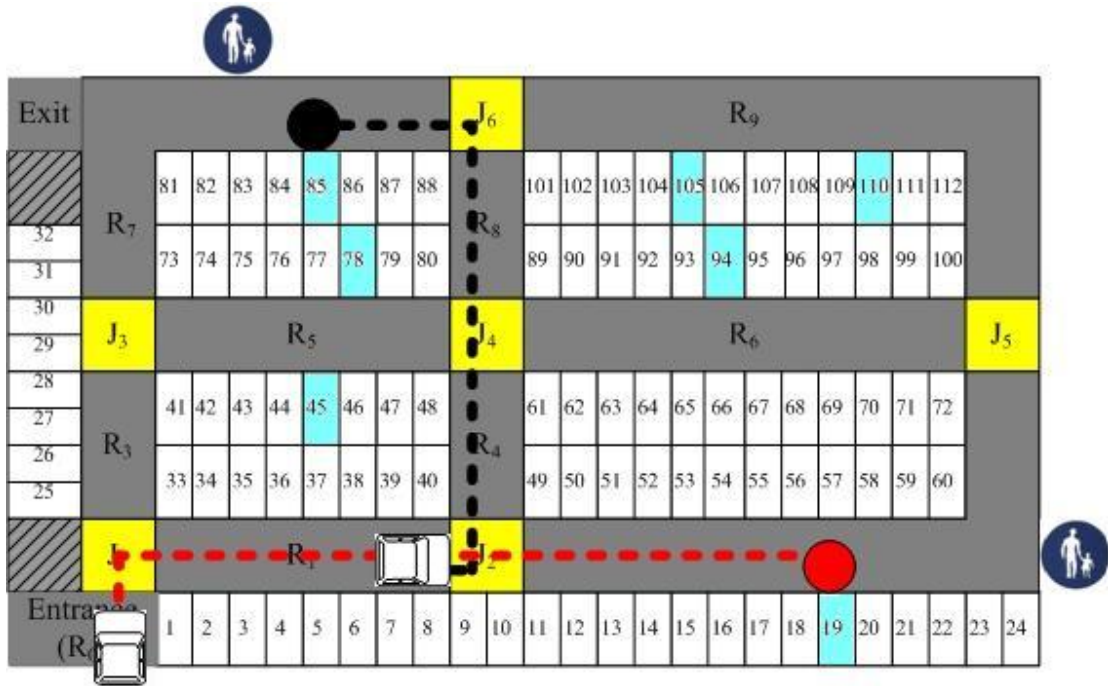


Fig. 5.6 Simulation result of case 9(a)

$L_{1,0}$	$L_{1,1}$	$L_{1,3}$	$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$
3	0	0	1	0	0

Table 5.5 Direction signal state of case 9

接著到了時間點 t_3 ，此時車輛 V_k 進入停車場， V_i 位置在 S_{80} ， V_j 位置在 S_6 ，兩車皆依照原本系統規劃的路徑行走。系統開始為 V_k 規劃最佳停車位及最佳路徑如下：

Start position & end position -> 0 78
 Minimum cost -> 140
 Optimal path -> S0 R0 J1 R3 J3 R5 S78

此時系統為 V_j 規劃方向指示號誌 $L_{1,0} = 2$ 。模擬結果如圖 5.7，另外系統結合運算規劃停車場內的方向指示號誌狀態如表 5.6。

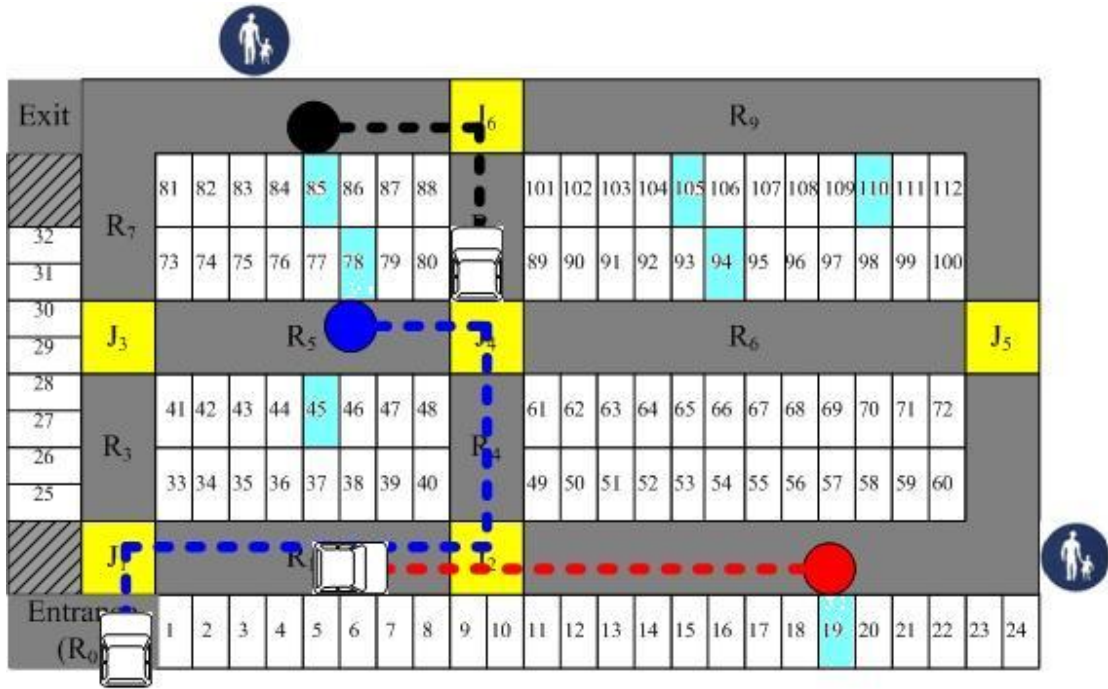


Fig. 5.7 Simulation result of case 9(b)

$L_{1,0}$	$L_{1,1}$	$L_{1,3}$	$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$	$L_{6,7}$	$L_{6,8}$	$L_{6,9}$
2	0	0	1	0	0	0	1	0

Table 5.6 Direction signal state of case 9

Case 10 (一) 新增可供停放的停車位

假設停車場內可供停放的停車位為 S_{13} 、 S_{22} 、 S_{106} 、 S_{110} ，車輛 V_i 、 V_j 、 V_k 在停車場中行進，其中優先權 V_i 大於 V_j 大於 V_k 。目前 V_i 位置為 S_{68} ，

V_j 位置為 S_{45} ， V_k 位置為 S_3 。系統為這三台車輛所規劃的最佳停車位及最佳路徑如圖 5.8，其中

$$P_i = S_{68}R_6J_5R_2S_{22}$$

$$P_j = S_{45}R_5J_4R_4J_2R_2S_{13}$$

$$P_k = S_3R_1J_2R_4J_4R_8J_6R_9S_{110}$$

此時原本停在 S_{60} 的車輛開始移動準備離開停車場，造成場內狀況變化：(1) 新增可供停放的停車位 S_{60} ；(2) 道路 R_2 擁擠程度改變。於是系統依照車輛的優先權順序開始重新規劃，首先為 V_i 規劃：

Start position & end position -> 68 60
 Minimum cost -> 62
 Optimal path -> S68 R6 J5 R2 S60

起點為 S_{68} ，終點（即最佳停車位）為 S_{60} ，total cost為62，最佳路徑 $P_i = S_{68}R_6J_5R_2S_{60}$ ，規劃場內的方向指示號誌狀態如表 5.7，並修改道路 R_2 的擁擠程度。

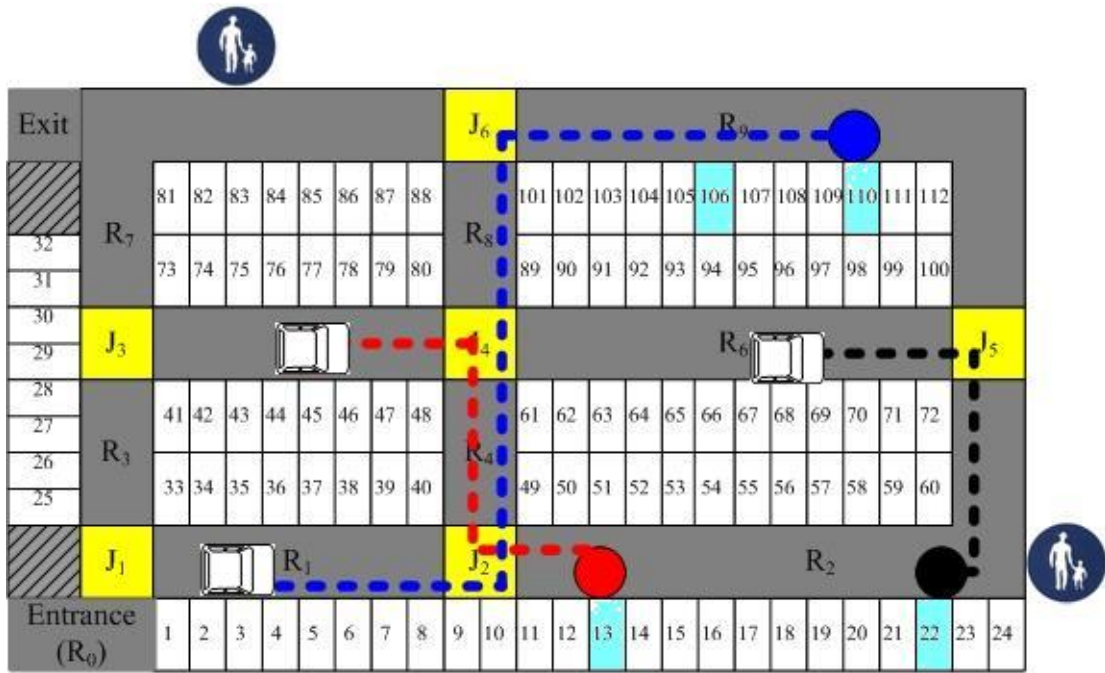


Fig. 5.8 Simulation source of case 10

$L_{5,2}$	$L_{5,6}$	$L_{5,9}$
0	3	0

Table 5.7 Direction signal state of case 10(a)

接著系統開始為 V_j 分配最佳停車位並規劃最佳路徑

<p>Start position & end position -> 45 22 Minimum cost -> 105 Optimal path -> S45 R5 J4 R4 J2 R2 S22</p>

也就是起點為 S_{45} ，終點為 S_{22} ，total cost為105，最佳路徑

$P_j = S_{45}R_5J_4R_4J_2R_2S_{22}$ ，系統規劃場內的方向指示號誌狀態如表 5.8，並

修改道路 R_2 、 R_4 的擁擠程度。

接著系統開始為 V_k 分配最佳停車位並規劃最佳路徑

Start position & end position -> 3 13
 Minimum cost -> 129
 Optimal path -> S3 R1 J2 R2 S13

也就是起點為 S_3 ，終點為 S_{13} ，total cost為129，最佳路徑

$P_k = S_3R_1J_2R_2S_{13}$ ，系統規劃場內的方向指示號誌狀態如表 5.9。最後合

成運算後之方向指示號誌狀態為表 5.10，模擬結果如圖 5.9。

$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$
0	0	1

Table 5.8 Direction signal state of case 10(b)

$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$
2	0	0

Table 5.9 Direction signal state of case 10(c)

$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$	$L_{5,2}$	$L_{5,6}$	$L_{5,9}$
2	0	1	0	3	0

Table 5.10 Direction signal state of case 10(d)

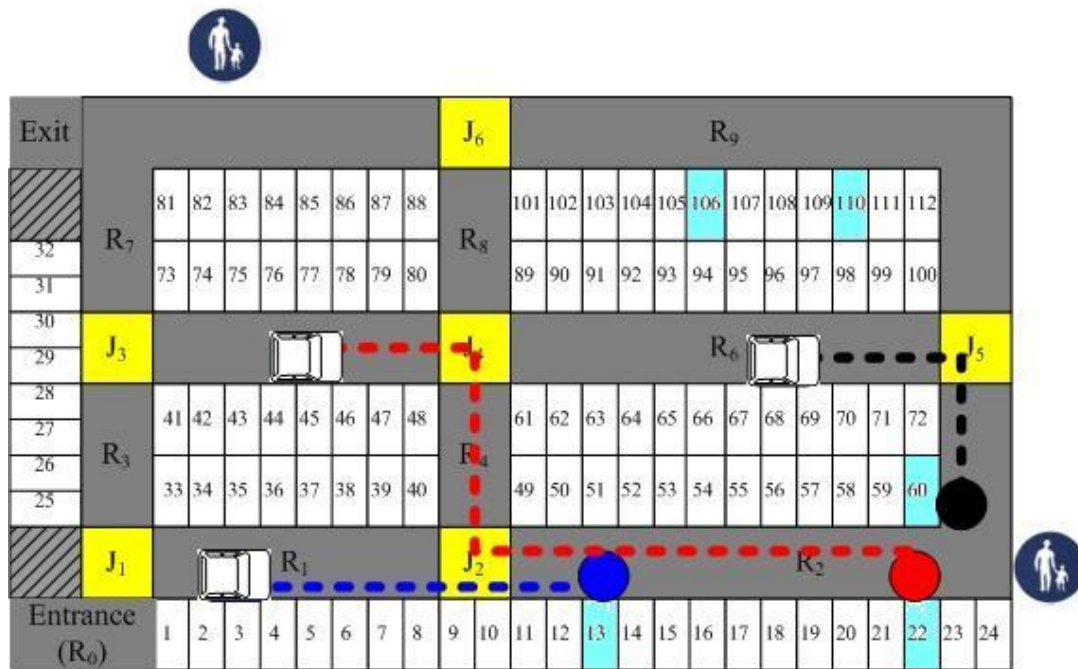


Fig. 5.9 Simulation result of case 10

Case 11 事件（二）規劃的停車位被其他車輛搶佔

按照優先權順序，從被搶佔停車位的車輛開始依序重新計算最佳停車位並規劃最佳路徑即可解決此問題。假設目前停車場內狀況如圖 5.10，共有四輛車 V_i 、 V_j 、 V_k 、 V_l ，現在位置分別為 S_{106} 、 S_{43} 、 S_5 、 S_{63} 。優先權 $V_i > V_j > V_k > V_l$ ，四個停車位為 S_{21} 、 S_{68} 、 S_{103} 、 S_{112} ，系統為各輛規劃的路徑如下：

$$P_i = S_{106} R_9 J_5 R_2 S_{21}$$

$$P_j = S_{43} R_5 J_4 R_8 J_6 R_9 S_{112}$$

$$P_k = S_5 R_1 J_2 R_4 J_6 R_6 S_{68}$$

$$P_l = S_{63} J_4 R_8 J_6 R_9 S_{103}$$

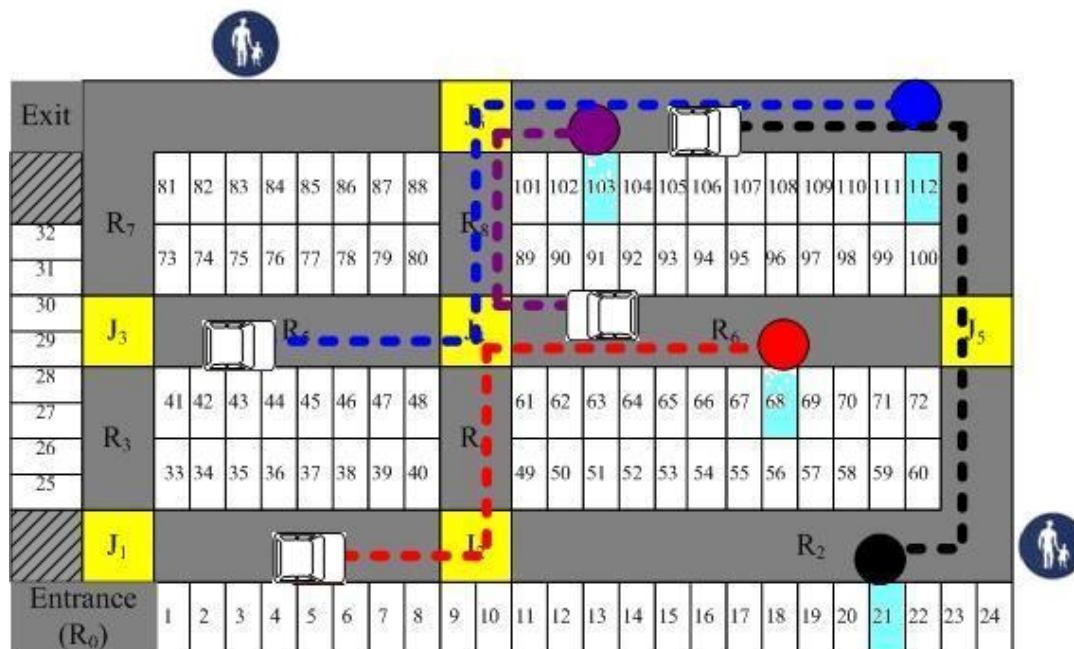


Fig. 5.10 Simulation source of case 11

在車輛行進過程中，原本每輛車都依照系統規劃路徑前進，但在 V_i 經過 R_9 時，停進了 S_{112} ，也就是搶佔了原本系統為 V_j 規劃的車位。此時剩下三輛車 V_j 、 V_k 、 V_l 的位置分別為 S_{48} 、 S_{80} 、 S_{62} ，系統不更動 V_i 的規劃，從 V_j 開始重新規劃，結果如下

Start position & end position -> 48 21 Minimum cost -> 87 Optimal path -> S48 J2 S21
--

也就是起點為 S_{48} ，終點（即最佳停車位）為 S_{21} ，total cost為87，最佳路徑 $P_j = S_{48} R_4 J_2 R_2 S_{21}$ ，系統更改 $L_{2,4}$ 狀態成為1，並修改道路 R_2 的擁擠程度。

接著系統開始為 V_k 分配最佳停車位並規劃最佳路徑

Start position & end position -> 40 68 Minimum cost -> 133 Optimal path -> S40 J4 S68

也就是起點為 S_{40} ，終點為 S_{68} ，total cost為133，最佳路徑 $P_j = S_{40} R_4 J_4 R_6 S_{68}$ ，系統更改 $L_{4,4}$ 狀態成為3，並修改道路 R_6 的擁擠程

度。接著系統開始為 V_l 分配最佳停車位並規劃最佳路徑

Start position & end position -> 101 103
 Minimum cost -> 110
 Optimal path -> S101 J6 S103

也就是起點為 S_{101} ，終點為 S_{103} ，total cost 為 110，最佳路徑

$P_l = S_{101} R_9 S_{103}$ ，系統不需規劃方向指示號誌狀態，合成運算後場內方

向指示號誌狀態為表 5.11，圖 5.11 為模擬的結果。

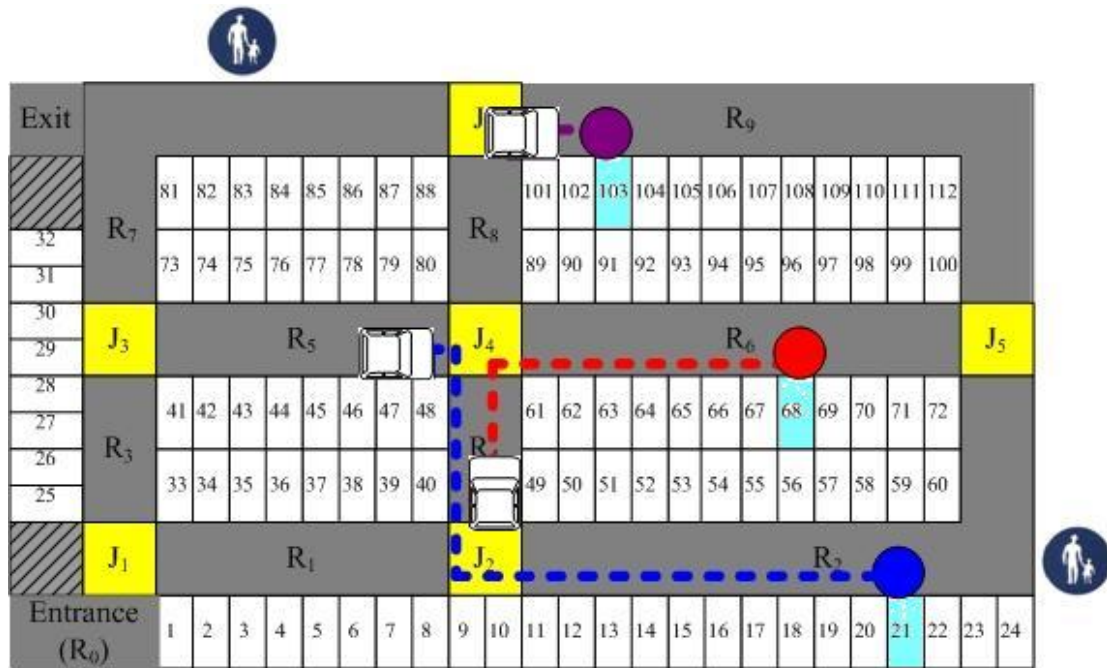


Fig. 5.11 Simulation result of case 11

$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,4}$	$L_{4,4}$	$L_{4,5}$	$L_{4,6}$	$L_{4,8}$
0	0	1	3	0	0	0

Table 5.11 Direction signal state of case 11

Case 12 事件 (三) 車輛未依規劃路徑前進

為了維持系統公平性以及避免車輛搶佔停車位的情形發生，所以僅為沒有依照規劃路徑的車輛重新計算最佳停車位並規劃最佳路徑。如圖 5.9，假設停車場內可供停放的停車位為 S_{20} 、 S_{43} 、 S_{63} 、 S_{102} ，車輛 V_i 、 V_j 、 V_k 在停車場中行進，其中優先權 V_i 大於 V_j 大於 V_k 。 V_i 、 V_j 、 V_k 現在位置分別為 S_{47} 、 S_{12} 、 S_6 。原先系統所規劃之最佳停車位是讓 V_i 停到 S_{20} ， V_j 停到 S_{43} ， V_k 停到 S_{63} 。不過 V_j 並未依照規劃路徑行駛，目前 V_i 位置為 S_{13} ，而 V_j 位置為 S_{88} ， V_k 位置為 S_{48} 。則系統為 V_j 所重新規劃的最佳停車位及最佳路徑如下

Start position & end position -> 88 102
 Minimum cost -> 99
 Optimal path -> S88 R8 J6 R9 S102

規劃方向指示號誌 $L_{4,8}=3$ ，全場方向指示號誌狀態如表 5.12，

圖 5.12 為模擬之結果。

$L_{4,4}$	$L_{4,5}$	$L_{4,6}$	$L_{4,8}$
0	2	0	3

Table 5.12 Direction signal state of case 12

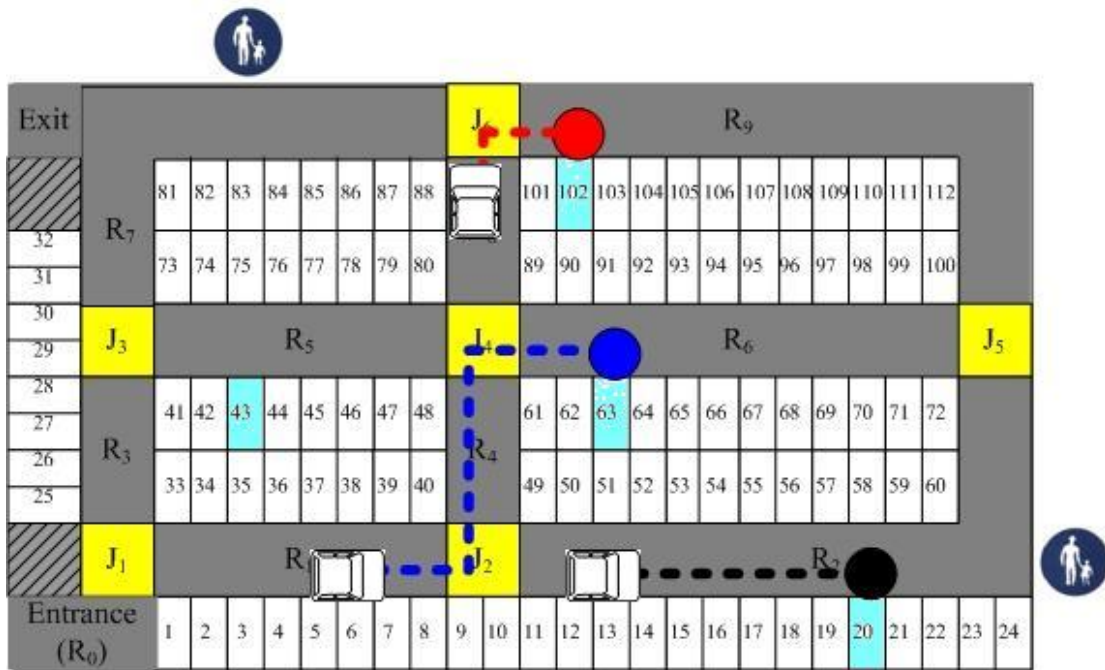


Fig. 5.12 Simulation result of case 12

Case 13~16 混合事件

只要利用上述的步驟依照事件發生的順序處理，便可解決各種混合事件的問題，故不贅述。

5.4 例外事件的處理

以上討論的是在正常情形下可能會遇到的狀況，不過就如同在一般道路上的駕駛行為，在停車場裡也是可能發生預期之外的狀況。因此本系統定義兩種例外事件，並提出解決的策略如下。

Special case 1 意外事故

意外事故的原因有兩種，其一為車輛發生故障，其二為車禍。當意外事故發生時，根據意外事故發生地點在道路或是路口，系統有不同的策略。系統判斷意外事故的方法，乃是根據 IPS 中監控系統的資料，由影像判斷是否發生車禍；或是當車輛在同一定點停留超過一段時間（令為 ΔT ）後，即表示該車輛發生故障。當意外事故發生在道路時的處理步驟如下：

1. 系統偵測到意外事故的發生
2. 發生意外事故的道路上所有停車位狀態皆改為 occupied
3. 發生意外的道路擁擠程度改為無窮大
4. 停車場中所有車輛依照優先權順序重新規劃
5. 當意外事故排除後重新設定停車場的狀態（因為 IPS 的監控子系統可以提供停車場中的真實情況）

而當意外事故發生在路口時的處理步驟如下：

1. 系統偵測到意外事故的發生
2. 與發生意外事故的路口有連接的道路上所有停車位狀態皆改為 occupied
3. 與發生意外事故的路口有連接的道路擁擠程度改為無窮大
4. 停車場中所有車輛依照優先權順序重新規劃
5. 當意外事故排除後重新設定停車場的狀態

Special case 2 車輛放棄最佳停車位

雖然本系統乃是考慮種種因素而為車輛計算最佳停車位，然而實際上可能因為該停車位停車困難或是駕駛者的偏好等因素，產生車輛雖然被引導到最佳停車位但駕駛者卻不願意停入的狀況。類似 case 12 車輛未依規劃路徑前進的狀況，當這種情形發生時本系統必須為該車輛重新規劃，但在同時也降低該車輛的優先權以做為代價；而當該車輛搶佔了其他車位的時候，則被搶佔停車位的車輛成為 case 11。