



第三章

最佳停車位與最佳路徑

在上一章中我們定義了系統中的各種名詞，接下來本章將介紹如何利用這些名詞去定義最佳停車位與最佳路徑並進而求解。在本系統中，最佳停車位與最佳路徑乃是同時決定的：我們使用多準則評估（Multi-criteria Evaluation; MCE）的方法，定義了一個 cost function 來計算每一個候選停車位的全部候選路徑成本，取其中成本最低的路徑為最佳路徑，對應最佳路徑的停車位為最佳停車位。

3.1 最佳停車位

在定義最佳停車位之前，首先我們回想當一輛車從進入停車場到最後離開停車場的過程：

1. 車輛進入停車場
2. 車輛在停車場中一邊行進一邊尋找停車位

3. 車輛停妥
4. 車主離開停車場去完成其私人事務
5. 車主回到停車場取車
6. 車輛離開停車場

大致上可以分為上面六個步驟。最佳停車位的目的就是讓上述的程序最快完成，定義如下：

最佳停車位：停車場目前可供停放的車位中，讓車主完成停車動作及取車動作成本最低的停車位

本系統採用多準則評估（Multi-criteria Evaluation; MCE）的方法來求解[14]，此法為在決策過程中同時考慮多個決策目標的數學規劃，特別著重在目標衝突時之權衡，以求得一組非劣解或折衷解，然後結合決策者之偏好資訊最後求得偏好解之分析方法。其優點是可以同時考慮，並解決多個具衝突目標之最適化問題。本系統實作的方式乃是利用一組可量化的目標，在定義之限制式下以數學規劃之方法求得非劣解。系統定義的限制式為一 cost function，目的是將每一個被考慮到的因素轉換成 cost function 中的一個項。從而將原本的問題轉換成 cost function 的最小化問題，所求出的解即為最佳解，在本文中即為最佳停車位。在定義 cost function 前，我們先分析在一個完整的

停車程序中，有哪些部分是可以藉由本系統來加以改善。如圖 3.1，首先我們考慮車輛在一般道路上駕駛的情形。車輛在一次的旅程中可能遭遇到的延遲，主要分為三種：停等延滯、鄰近路段延滯、旅行時間延滯。

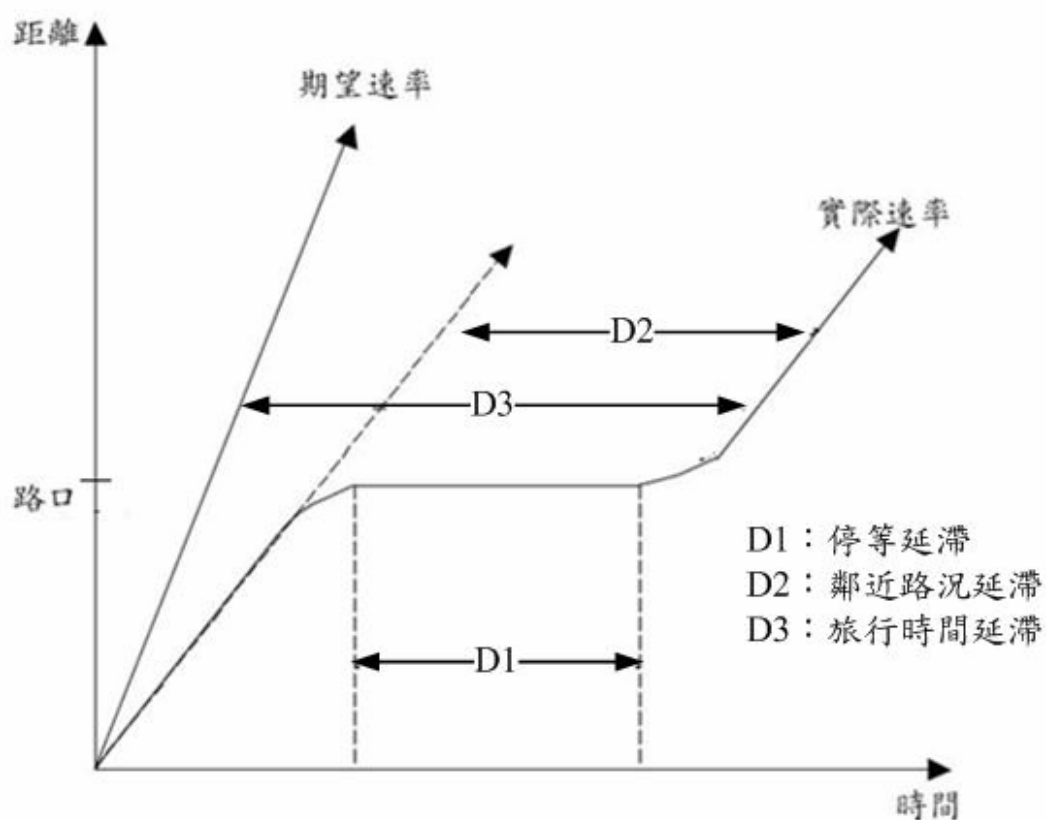


Fig. 3.1 Time delay of a traveling

將此觀念轉換到停車場中，我們可以分析車輛從進入停車場到離開停車場，所耗費的成本如下：

1. 車輛從停車場入口行駛至停車位
2. 在尋找停車位過程中可能會有

- a. 找不到車位
- b. 等待其他車輛停妥或離開
3. 將車輛停妥
4. 車主步行離開停車場
5. 車主處理私人事務
6. 車主步行回到停車位
7. 車輛從停車位行駛至停車場出口後離開

其中 5 屬於私人事務範疇，不在系統規劃之內。因此我們可以定義 cost function 如下：

$$C = \sum_{i=1}^n w_i d_i \quad (3.1)$$

其中各符號意義如下：

C : total cost

d_1 : 車輛現在位置到停車位的距離

d_2 : 路徑擁塞程度

d_3 : 停車位到行人出口的距離

d_4 : 停車位停車困難度

d_5 : 停車位到停車場出口的距離

w_i : 對應的權重 (weight)

因為停車位乃是由系統所分配，所以車主不需要耗費時間尋找停車位。而路徑擁塞程度則反映了車輛停等時間。這裡的權重有兩個涵義：

1. 每一個因素的重要程度
2. 不同因素重要程度的值域範圍不同

雖然系統所處理的主體是車輛，可是實際上駕駛車輛的乃是人類，因此系統規劃時必須將”人”這個 factor 也考慮在內。根據 Groeger 對駕駛行為的相關研究[30][31]，我們知道駕駛者的心理狀態與其駕駛行為有相當程度的關聯：駕駛者的心理壓力--特別是焦躁不安的情緒，與危險駕駛行為以及交通意外事故率有相當程度的正相關。另外在 Ishihara 所提出的 Emotional algorithm [32][33]中也特別強調道路擁塞程度會造成駕駛者的壓力，而壓力跟一個人的情緒還有工作表現的關聯性，在心理學的領域中有過諸多研究[34]，以下作個簡短的介绍：

首先我們用圖 3.2 來說明 Emotional Space，Emotional Space 可以分為四個因素，分別代表”Happy”，”Relief”，”Afraid”，”Angery”。

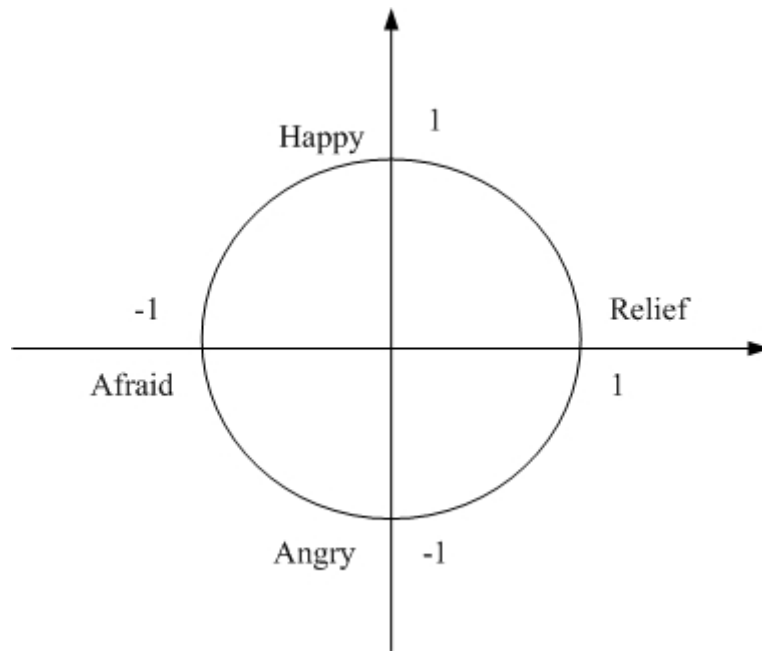


Fig. 3.2 Emotional Space

一個人的 emotion 可以利用 Emotional Space 中的角度 (angle) 跟強度 (magnitude) 來表示。不同的 condition 跟工作表現的關係如下：

1. Happy : Continuing its works actively,
2. Relief : Continuing its works positively,
3. Afraid : Continuing its works positively,
4. Angry : Continuing its works actively.

這些 condition 乃是由數種不同的原因所造成的，而圖 3.3 則說

明了駕駛時心理壓力的成因：駕駛時的心理壓力乃是由許多因素所構成，大致上可分為人因（Human Factor）及環境兩類

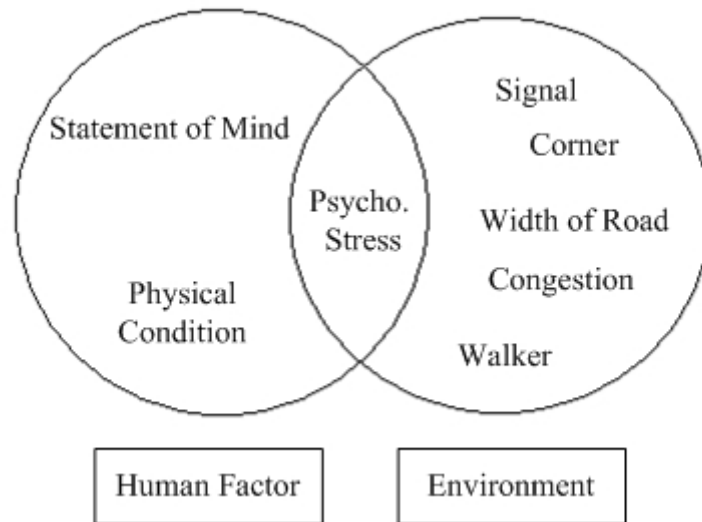


Fig. 3.3 Psychological stress during driving

結合以上兩個 model，我們可以產生另一個 model 以估計駕駛者的情緒跟心理狀態。如圖 3.4，在一般道路上，駕駛者的心理壓力主要是由下列幾個因素所產生：

1. Time to keep the signal statement: 當交通號誌即將轉變為紅燈時，駕駛者會感受到強大的心理壓力。
2. Continuity of moving: 當車子連續通過數個路口而沒遭到紅燈阻攔時，駕駛者的心情會比較愉悅。
3. Congestion：當道路擁塞以致於車輛前進緩慢時，駕駛只會感

受到強大的心理壓力。

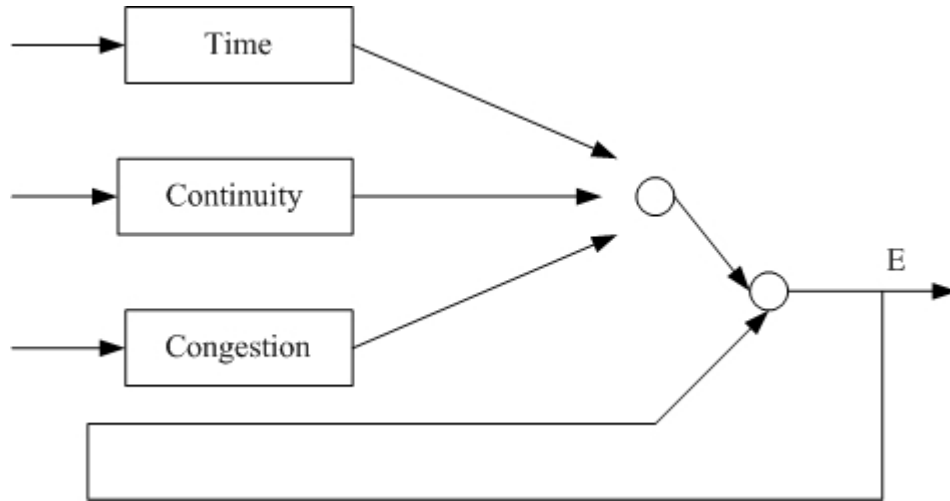


Fig. 3.4 Estimate system of emotion

因為本系統乃是應用在停車場內，跟一般道路的情況有些微不同，必須作適當的修正。所以本系統特別加重權重 W_2 ，也就是特別強調道路壅塞的程度，目的是希望減低駕駛者的心理壓力並從而減少意外事故發生的機率，這也是在 MOP 中本系統決策之偏好。

3.2 最佳路徑

所謂的最佳路徑，實際上就是系統為車輛所規劃從起點到最佳停車位的路徑，最佳停車位以及最佳路徑在本系統中是同時被決定。最佳路徑完整的定義如下

最佳路徑：從起點到最佳停車位的眾多路徑中，滿足 total cost 最低的那一條即為最佳路徑

值得注意的是最佳路徑乃是 cost 最低的路徑，而非單純只是距離最短的路徑。這是因為本系統有考慮路徑的擁塞狀況，避免大量的車輛都擠在一個小區域中反而造成效率的低落。一條路徑可以分解如下：

1. 起點到鄰近的路口
2. 路口經由某條道路到達另一個路口
3. 重複步驟 2 直到抵達鄰近終點的路口
4. 路口到終點

所以系統實際在計算最佳路徑時，可以把最佳路徑切割為以下三個部分：

1. 起點到鄰近路口（令為 A，B）的距離
2. 終點到鄰近路口（令為 C，D）的距離
3. 根據道路擁塞狀況調整原先的 Parking lot graph（見圖 2.6），採用著名的 Dijkstra algorithm[35]以計算最短路徑（A 到 C，A 到 D，B 到 C，B 到 D）。

其中第 1 項跟第 2 項是固定的，在系統初始化時即可建表以供查詢，實際計算時系統只需要動態計算第 3 項，然後從全部的可能路徑中取 total cost 最小的作為最佳路徑，所以計算相當地快速，可以做到即時反應 (Real time response)。雖然近年來對於最短路徑問題有相當多的研究並提出許多不同的解法[36]，但因為本系統考慮較為周詳，利用 edge 長度的變化來反應道路擁擠程度的改變，此種複雜的 graph 採用 Dijkstra algorithm 作為計算最短路徑的方法較為合宜。

在一般的情況下，起點 (或終點) 的鄰近路口為兩個，而搭配的可能路徑會有數條。本系統決定最佳路徑的方法，乃是由簡而繁，先考慮單一車輛對單一停車位的情形，接著推廣至單一車輛對多個停車位的狀況，最後是多台車輛對多個停車位的狀況，我們用圖 3.5 來說明。圖 3.5 是一個簡單的例子，用來說明單一車輛與單一停車位時系統如何決定最佳路徑。令車輛為 S ，其指定的停車位為 E ，則所有可能到達 E 的路徑為 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ ，對應的 costs 分別為 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 。其中具 minimum cost c^* 的路徑為 r^* ，若以數學式子表示，即為 $r^* = \arg \min_R c_i$ 。接著推廣至單一車輛對多個停車位，如圖 3.6，令車輛為 S ，共 m 個停車位分別為 E_1, E_2, \dots, E_m ，到達每一個停車位的最佳路徑為 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ ，對應的 cost 分別為 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 。則其中具

minimum cost 的路徑為 P^* ，若以數學式子表示，即為 $P^* = \arg \min_P c_i$ 。

最後推廣至多台車輛對多個停車位的情形，如圖 3.7，系統乃是利用上述的方法，並根據車輛的優先權順序一一規劃最佳停車位及最佳路徑。

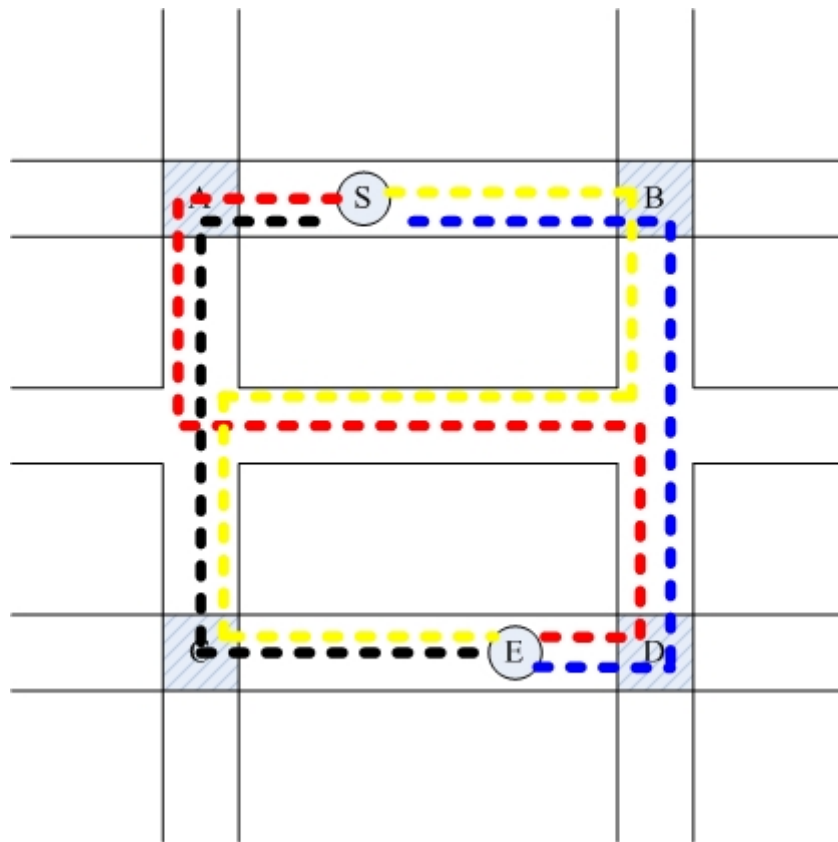


Fig. 3.5 Optimal path (a)

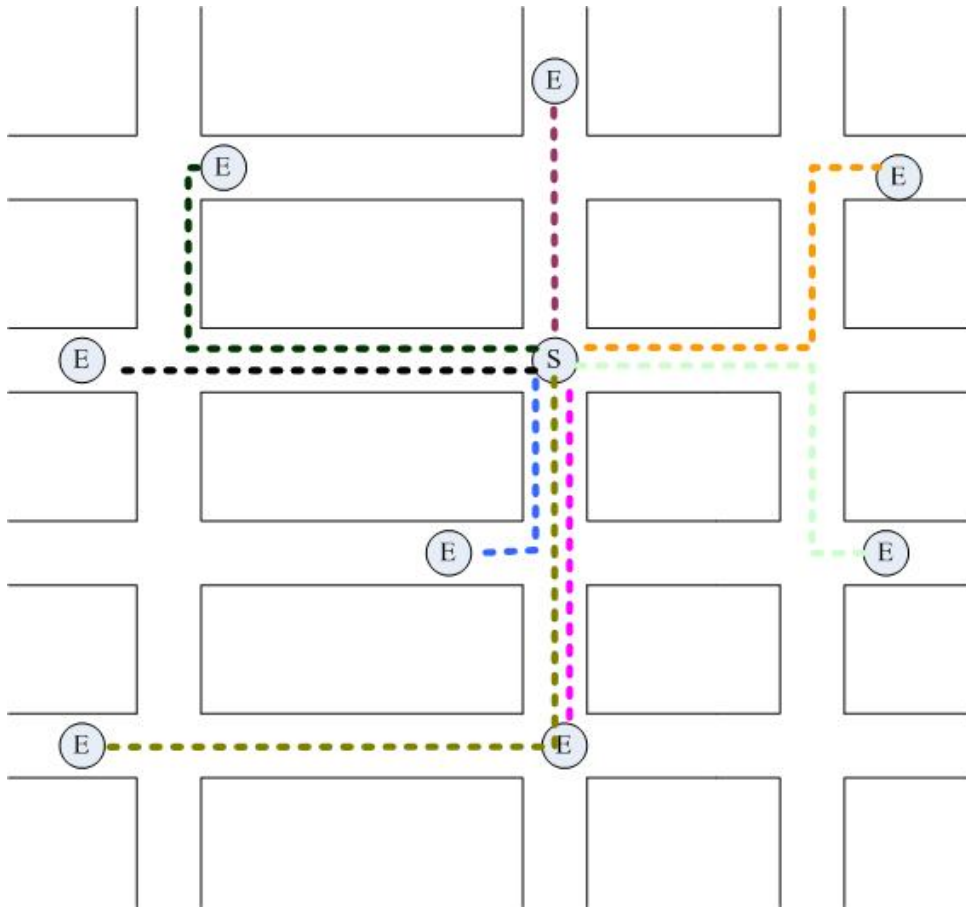


Fig. 3.6 Optimal path (b)

另外值得注意的是當所規劃的路徑造成車輛必須迴轉 (reverse) 時，total cost 的值必須再加上一個迴轉成本 (reverse cost)，所以最佳路徑未必是距離較短的路徑，而是成本較低的路徑。此外利用本法計算最佳路徑還有一個額外的好處，因為有考慮道路擁擠程度的關係，所以系統為不同車輛所規劃出的最佳路徑自然會減少路徑重疊及同時經過相同路口的情形，這部分的細節在第四章會再做討論。

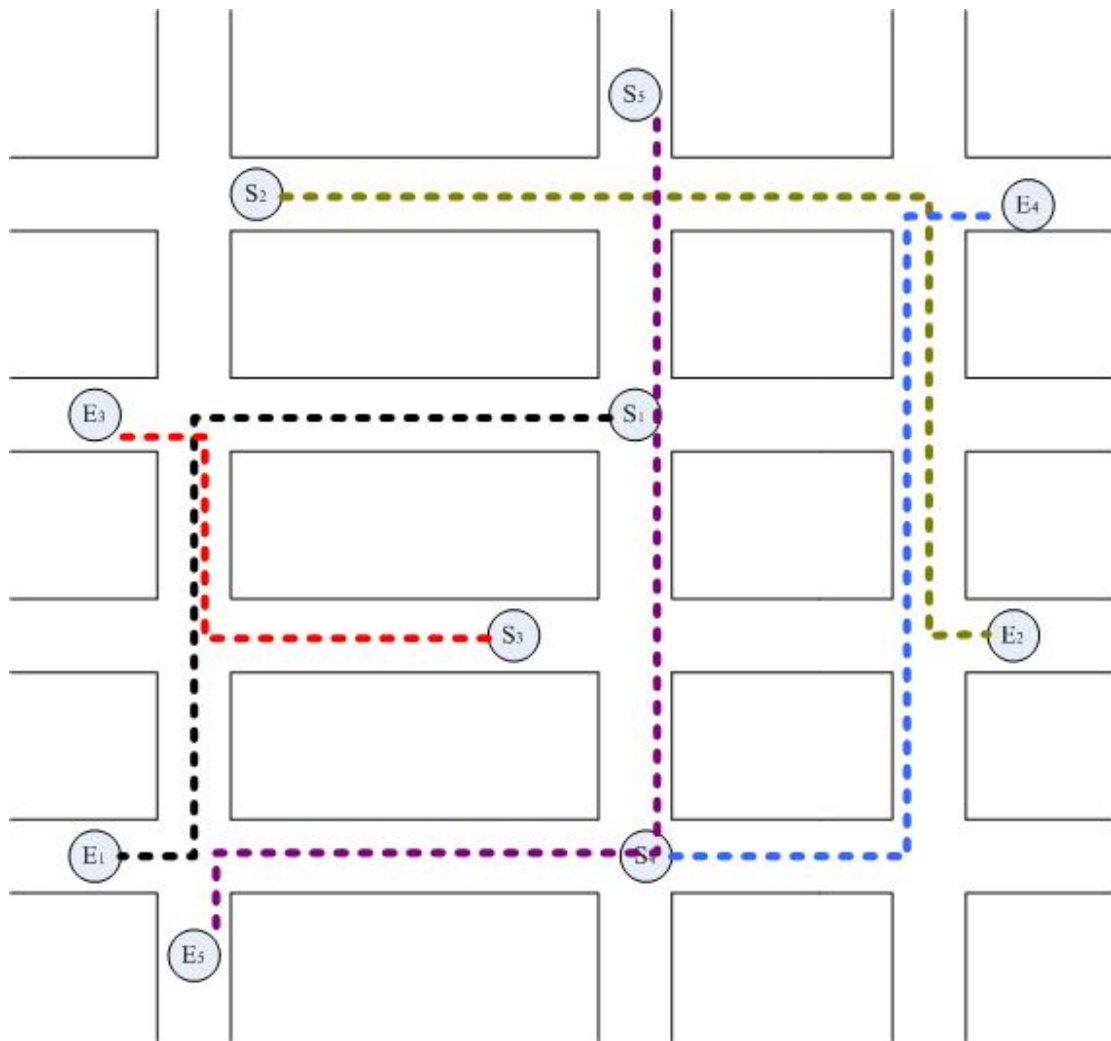


Fig. 3.7 Optimal path (c)

3.3 重新計算的原則

計算最佳停車位及規劃最佳路徑是本系統的核心工作，然而實際上停車場裡可能因為各種狀況的發生，導致原先為車輛所規劃的最佳停車位及最佳路徑並不適用。當這種情形發生時，系統應該為車輛重

新規劃以求得較佳的解。我們在此定義在哪些情形下系統必須重新計算最佳停車位及規劃最佳路徑，並針對每種狀況訂定如何重新規劃的策略。

我們定義三種事件為重新規劃的啟動條件，只要發生其中一種事件，則系統必須適當地為車輛進行重新規劃，三種事件如下：

1. 新增可供停放的停車位：當有車輛要離開停車場時，原先被該車輛所佔走的停車位變成可供停放的狀態。此時系統為停車場中每台車輛依其優先權高低順序重新規劃。
2. 規劃的最佳停車位被其他車輛搶佔：駕駛者可能因為個人偏好或是貪圖方便，因而將車輛停放到原本規劃給其他車輛的停車位。此時系統必須從被搶佔停車位的車輛開始，依照優先權順序進行重新規劃。
3. 車輛未依照規劃路徑前進：當此種情形發生時為了顧及系統公平性，避免未依指示前進的車輛反而分配到成本較低的停車位，所以系統僅對未依規劃路徑前進的車輛做重新規劃，並降低其優先權以作為處罰。

重新規劃的動作在車輛通過路口而尚未抵達方向指示號誌固定

點前都可以進行，不過當車輛抵達方向指示號誌固定點後即不可改變其路徑，必須等到車輛通過路口後再進行重新規劃。

以上介紹了最佳停車位跟最佳路徑的定義以及計算方式，同時也討論了在何種情況下必須重新規劃以及重新規劃的策略。接下來在第四章中我們將討論方向指示號誌的定義以及控制策略，並在第五章提供多個例子來說明解釋系統的實作。