

應用分散式最佳線性分配之無線車輛派遣系統

葉宸祐、陳震宇、周宗彥
國立東華大學電機工程學系

摘要—本論文針對機動性的車輛派遣系統(如計程車媒合系統)，提出一分區計算與含跨區媒合的架構，並在此架構下，利用分散式線性最佳分配演算法作計程車輛與客戶服務要求之配對媒合，以符合系統的應用服務品質(A-Qos)要求。我們並研究分散式線性分配演算法在包含跨區計程車時配對矩陣的各種優先權安排方式(FIFO、Fixed Ratio、Local First)，模擬實際結果證明我們的分散式跨區配對演算法在以 Local First 優先權方式時，不論客戶的需求率多寡皆比文獻中傳統非跨區配對的方法有較佳之應用服務品質(A-Qos)。

一、簡介

在現代社會中搭乘計程車是一種便利且重要的交通方式，其不僅幫忙負擔龐大的通勤運輸量，更可以提供個人化的舒適服務，因此提供一個優質且迅速的搭乘服務是必要的。

現今的計程車派遣系統大多會使用 Global Positioning System(GPS)，其原因為精簡人力需求和求取更高的計程車位置精確度，所以文獻[1][2][3][4]為基於 GPS 而發展的自動化計程車派遣系統。

上述的自動化計程車派遣系統，在派遣時主要是以 First Come First Serve(FCFS)的方式，其改進目標為提供單一客戶更精準或更短的載客時間，以提升客戶和計程車對派遣系統的滿意度，又文獻[5][6]提出以探索時空特性的資料分析出更精準的載客時間或提前部署計程車以縮短載客時間，而文獻[7]提出 NtuCAB(N-taxi GroUp CollABorative)系統，使用 MA^3-LM (Multi-Agent Assignment Algorithm-Local Mediation)[8]交換分配所選取之計程車，提升整體計程車與客戶的滿意度。

本研究之其餘部分如下。Section II 描述計程車與客戶為何種配對問題；Section III 描述本系統的基本架構及三種不同優先權的排列方式；Section VI 討論本系統與現今派遣系統比較的模擬研究；Section V 總結這篇研究的重點及未來方向。

二、相關研究

CWT(Customer Waiting Time)、SR(Success-Rate)、ECT(Empty Cruising Time)這三個參數關係著我們系統應用服務的品質(Application-Quality of Service, A-Qos)，其會影響客戶和計程車對系統的滿意度，而如何妥善地分配計程車給客戶可視為組合最佳化中的線性分配問題，

因此以下我們將介紹解決線性分配問題的演算法及相關計程車派遣系統。

2.1 Distributed Linear Assignment Algorithm

MA^3 (Multi-Agent Assignment Algorithm)：文獻[9]提出 MA^3 是以 BDI(Believe、Desire、Intention)為概念解決線性分配的問題，以下為文獻[9]對 BDI 的定義。

Believe Set：任務 t_i 正選取之資源為 $r^i \in R$ ， d 為系統所估計此配對產生的 A-Qos

$$B_i = \{r \in R \mid d[t_i, r] > d[t_i, r^i]\} \quad (1)$$

式(1)為任務 t_i 從所能選取的資源集合 R 裡，有配對後利益大於本身所選取的，則放入 Believe Set。

Desire Set：如果 $B_i \neq null$ ，任意一個任務 t_j 選取之資源 $r^j \in R$ ，且 $r^j \in B_i$ ，則

$$[(t_i, r^j), (t_j, r^i), \rho] \in D_i \quad (2)$$

$$\rho = -d[t_i, r^i] + d[t_i, r^j] - d[t_j, r^j] + d[t_j, r^i] \quad (3)$$

式(2)為 t_i 與 t_j 互相交換資源所得之利益為 ρ ，如果 $\rho > 0$ 才可以放入 Desire Set。

Intention Set：如果 $D_i \neq null$

$$I_i = [(t_i, r^j), (t_j, r^i), \rho] \in D_i \quad (4)$$

$$\rho = \max\{\rho' \mid [-, -, \rho']\} \quad (5)$$

式(4)為在 D_i 裡選取一個交換利益 ρ 最大的為 I_i ，透過 I_i 我們可以知道兩個任務作資源交換可獲得多少利益。

2.2 現今計程車派遣系統

STNU(Select the Taxi Near by User)[3]：文獻[3]所提出，服務方式為 FCFS，針對依序進來系統的單一客戶位置取附近的 20 台計程車，將載客時間最短的分配給此位客戶，因為在真實環境中，系統並無法精確地計算出實際載客時間，因此選取客戶位置附近的 20 台計程車，擁有較大機率獲得實際載客時間最短的計程車。

cPAQ[4]：文獻[4]所提出，其對客戶的服務方式為 FCFS，而計程車在序列裡為 FIFO 排序，依序分配給客戶，未來將放入自動計算成本效益來決定分配的任務。

NtuCAB(N-taxi GroUp CollABorative)[7]：文獻[8]所提出，使用 $MA^3 - LM$ [8] 做資源交換分配及 $H - Max$ (Heuristic-Max) [10] 提升交換分配的效率，以提升其他客戶和計程車的滿意度。在文獻[11]中，將預借時間的計程車(將要抵達客人目的地)視為空車納入系統等待分配，提升了客戶及計程車對此系統的滿意度。

三、跨區計程車派遣系統

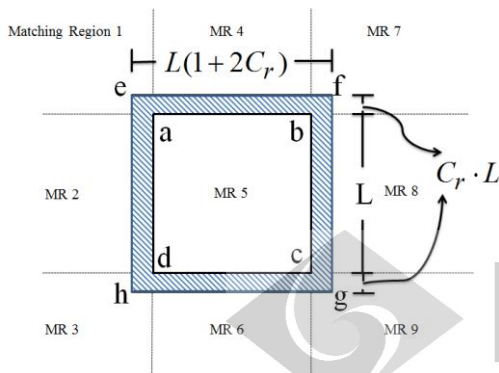
為了考慮鄰居配對區域之間可能更佳的配對及各配對區域資源分布不均的情況，而提出跨區計程車派遣系統，以下我們分成兩部分介紹。

3.1 系統架構

系統依據客戶和計程車登入之 GPS 座標位置，將其放入該配對區域的派遣中心負責排序分配，如圖一的 $\square abcd$ 範圍為各派遣中心負責任務的範圍，客戶並依據登入時間排序；本研究為了考慮鄰居配對區域之間可能更佳的配對，我們將各配對區域可用計程車之範圍向四周增加 C_r 倍，如圖一的 $\square efgh$ 所示，其中 L 為配對區域之邊長， C_r 為增加配對區域範圍的比例；圖一中 $\square efgh$ 減去 $\square abcd$ 的斜線範圍為此配對區域因增加服務範圍所獲得額外資源的地區，因此我們將 GPS 座標位置落於此藍色斜線區的計程車定義為跨區計程車。

系統在運行一段時間後，將客戶序列與計程車序列切成 N 大小等份作分配，若不足則以補 zero 方式，將其補滿成 $N \times N$ 矩陣做交換分配，分配後由各派遣中心傳送結果給計程車；由於跨區的特性，使得跨區計程車可能收到兩個以上派遣中心傳來的任務需求，因此我們設定跨區計程車會挑選最大 A-Qos 的任務，而原本挑選此計程車的派遣中心，將對未獲得資源的客戶重新作交換分配一次，直至無計程車可使用。

我們將本區、跨區計程車區分成不同的資源序列，以三種不同的優先權混合後，再與客戶做交換分配，其交換分配方式為 MA^3 [9] 及使用加速交換分配的 $H - Max$ [10]，並將載客中的計程車(將要抵達客人目的地)亦視為空車[11]，並補入本區計程車序列和跨區計程車序列等待分配。



圖一：派遣中心負責任務範圍及可用資源範圍

3.2 三種不同優先權排列方式

由文獻[7]、[9]得知，group size 會影響分配的效率和配對的品質，所以我們必須謹慎地放入可能配對較好的計程車作分配，故有下列三種對計程車作不同的優先權排序的方式。

FIFO(First In First Out)：Local Taxi 序列和 Cross Taxi 序列的計程車，其排序方式為 FIFO，只依照登入系統時間作排序後混合放入準備作分配的序列，而此序列的長度為 group size。

Fixed Ratio：Local Taxi 序列和 Cross Taxi 序列的計程車排序方式，與上述之 FIFO 相同，這裡我們將以跨區計程車占 group size 的比例混合，若放入本區計程車占 group size 的 80%，而剩下的 20% 由跨區計程車補滿，若本區計程車不足，則以跨區計程車補滿 group size。

Local First：Local Taxi 序列和 Cross Taxi 序列的計程車排序方式，與上述兩種相同，這裡我們以本區計程車為優先補滿 group size，若本區計程車不足再將跨區計程車補入 group size。

四、模擬實驗

為了比較計程車派遣系統使用交換資源的方式做配對的性能，以及計算負荷量，我們將 STNU 改為可劃分服務區域，並服務其所屬配對區域 N 內的客戶需求，其方式為依序選取在 N 內最大 A-Qos 的計程車。

4.1 模擬環境設置

表 I
系統設置參數定義表

Variable	Definition
Duty Cycle(T)	系統多久收集一次客戶需求
λ	單位時間內客戶需求產生率
M matching regions	配對區域數量
C_r (cross ratio)	跨區比例
δt (delta time)	預借時間
N (BDI group size)	計算 BDI 矩陣大小 ($N \times N$)

本模擬使用 Matlab 設置環境為 24x24 平方公里的無障礙區域，計程車的數量固定為 100 台，其位置為 uniformly random 產生在這服務區域內。

計程車若為空車，其隨機移動後位置為式(7)和式(8)。計程車從目前位置 (v_x, v_y) 朝向隨機產生的目標位置 (v_m, v_n) 移動一個 Duty cycle (T) 時間的直線距離。式

(6)至式(8)中 (v_x, v_y) 為計程車目前位置、 (v_x, v_y) 為 uniformly random 產生在這服務區域內任一目標位置、 (v'_x, v'_y) 為其隨機移動後的位置、 v_{speed} 為該計程車速率 (km/hr)、Duty cycle (T) 為系統多久一次收集客戶需求的時間間隔。

$$\theta = \tan^{-1}(v_y - v_y / v_x - v_x) \quad (6)$$

$$v'_x = v_x + \cos(\theta) \cdot v_{speed} \cdot T / 60 \quad (7)$$

$$v'_y = v_y + \sin(\theta) \cdot v_{speed} \cdot T / 60 \quad (8)$$

客戶需求位置為 uniformly random 產生在這服務區域內，而一個 Duty cycle (T) 內的需求數量則依據 Poisson random variable 產生，如式(9)。設 $X(t)$ 為一 intensity λ 之 Poisson Point Process，它是在 $[0, t]$ 時間內系統所收集到整個服務區域的客戶需求數量，在此 λ 即為單位時間內平均客戶需求產生率，故 random variable $X(T)$ 代表一 duty cycle $[0, T]$ 內，計程車派遣系統總共收集到的人數， $X(T)$ 是一個隨機變數，其 pmf 為式(9)：

$$P(X(T) = k) = ((\lambda T)^k / k!) \cdot e^{-\lambda T}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

在我們的模擬環境中設置如下：

$$T=3 \text{ 分鐘}, \lambda T = \{ 5, 7.5, 10, 12.5, \dots, 27.5, 30 \}$$

表 II
系統設置參數定義表

Variable	Definition
CWT (customer waiting time)	從客戶發起需求至搭上計程車
CWST (customer waiting system time)	客戶等待系統分配的時間
CWRT (customer waiting road time)	計程車收到任務去指定位置的 時間
Success-Rate	在一小時內多少成功分配的人 數比例
ECT(Empty cruising time)	計程車空車巡航的時間
\mathcal{J} (improvement)	與 NtuCAB 系統比較改進幅度
FR	Fixed Ratio 裡所含跨區計程車 的比例

計程車派遣系統設定運行兩個小時，因為系統初始時計程車皆為空車於事實不符，所以本實驗設定運行一個小時作為暖機。因此，系統只求取第二小時產生的人數需求的 CWT、CWST、CWRT，計程車亦只求第二小時 ECT，SR 也只計算第二小時配對成功人數比率。

4.2 結果比較

經由我們實驗模擬結果顯示，cPAQ 和 STNU 因無使用交換分配資源的方法，所以無法有較好的表現，因此以下我們不放入 cPAQ 和 STNU，此外，跨區計程車派遣系統與 NtuCAB 效能相近不易看出，我們將轉換為 improvement 的方式與 NtuCAB 以較，轉換公式如下：

CWT_{NtuCAB} 、 $CWST_{NtuCAB}$ 、 $CWRT_{NtuCAB}$ 為 NtuCAB 系統的時間， $CWT_{proposed}$ 、 $CWST_{proposed}$ 、 $CWRT_{proposed}$ 為本論文系統的時間。

$$I_{CWT}(\%) = - \left(\frac{CWT_{proposed} - CWT_{NtuCAB}}{CWT_{NtuCAB}} \right) \times 100\% \quad (10)$$

$$I_{CWST}(\%) = - \left(\frac{CWST_{proposed} - CWST_{NtuCAB}}{CWST_{NtuCAB}} \right) \times 100\% \quad (11)$$

$$I_{CWRT}(\%) = - \left(\frac{CWRT_{proposed} - CWRT_{NtuCAB}}{CWRT_{NtuCAB}} \right) \times 100\% \quad (12)$$

圖二至圖六是在 $T = 3$ 、 $M = 9$ 、 $\delta t = 120$ 、 $C_r = 0.2$ 、 $N = 5$ 的情況下模擬。

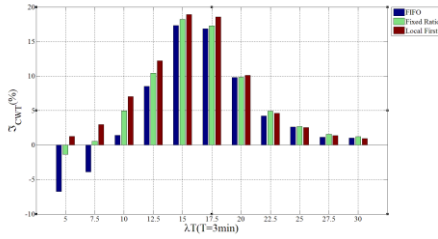
在 λT 等於 5 至 10 時，FIFO 因為採用進入系統時間排序的方式，使得放入 N 內的計程車，很大的比例為跨區計程車，因此在 λT 小的時候，客戶需求本在配對區域邊界的機會就不大，因此有機會選到 CWRT 較高的車如圖四，所以不管客戶需求量任意放置跨區資源是個錯誤的選擇，但提供跨區計程車仍能為客戶節省 CWST 如圖三。Fixed Ratio 採用比例制的方式放入跨區車，控制 N 內的跨區計程車比例，所以在 λT 少的時候，CWT 較差的程度比 FIFO 稍緩。

在 $\lambda T = 12.5$ 至 17.5 時，我們可由圖二發現開始大量省 CWST，這是因為客戶需求提高，跨區派遣系統會盡量提供空車以滿足客戶在進入系統的第一個 T 時被服務，所以不管哪種優先權方式都能在 CWST 上有優越的表現，但從圖四發現 Local First 能夠在 CWRT 虧損最少，所以在人數需求適中的時候，穩定地先提供本區計程車，再提供跨區計程車是較好的作法。

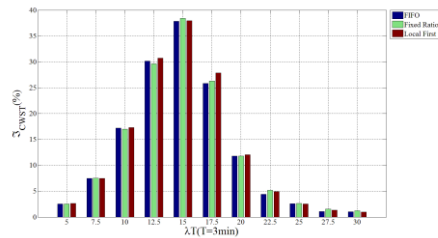
在 $\lambda T = 20$ 至 30 時，客戶需求已超過計程車所能負荷的量，從配對區域邊界上來看，跨區配對更佳的機會變多，所以 CWRT 下降如圖四。

跨區計程車提供系統選取在邊界上可能更佳的配對及計程車資源不足時先滿足客戶需求以節省 CWST 的方式好壞，可由圖五的 SR 顯示，在需求人數少時，所有系統皆為 100% 配對人數成功率，Local First 能以較少的 CWT 服務客人，在需求人數多時，三種跨區派遣系統皆能在 CWT、SR 都擁有比 NtuCAB 好的表現。

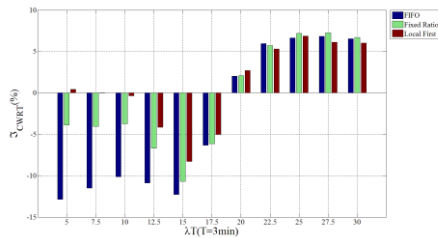
圖六顯示在 $\lambda T = 10$ 至 25 時，NtuCAB 的 ECT 皆較跨區計程車派遣系統高，這是因為 NtuCAB 未能盡善利用鄰居配對區域邊緣的資源，以及各配對區域資源、任務分布不均無法互通有無的情況。



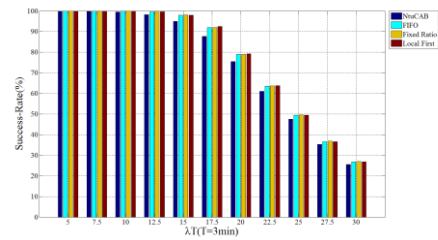
圖二： $J_{cwr}(\%)$ 與 λT 的關係



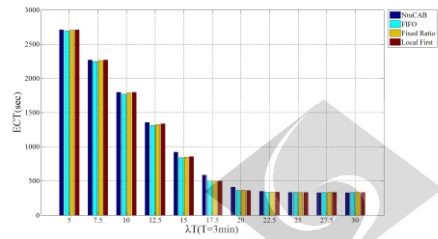
圖三： $J_{cwst}(\%)$ 與 λT 的關係



圖四： $J_{cwr}(\%)$ 與 λT 的關係



圖五：SR(%)與 λT 的關係



圖六：ECT(sec)與 λT 的關係

五、結論

本論文利用 Matlab 程式進行模擬驗證，設計不同的 λT 及 M ，以驗證劃分區域及跨區域的必要性。由實驗結果說明，本論文提出的跨區演算法，確實可以降低客人等待時間及空車巡航時間，合乎論文提出之理念。

為降低客戶等待時間及空車巡航時間，本論文依提出的計程車派遣系統架構，讓鄰近配對區域的可用計程車也納入計算，並對可跨區域的計程車以三種不同的優先權方式排序，最後以 Local First 表現最佳。

我們未來的研究方向想在雲端使用 map-reduce 的概念去提昇跨區計程車派遣系統所需要的計算效率。未來如果能針對地區特性，切割成不同形狀，並輔以時空特性統計資料，提前佈署資源，應能使其系統更佳完善。

參考文獻

- [1] Z. Liao, "Taxi dispatching via Global Positioning Systems," *Engineering Management, IEEE Transactions on*, vol.48, no.3, pp.342-347, Aug 2001.
- [2] Z. Liao, "Real-time taxi dispatching using global positioning systems," *Commun. ACM*, vol. 46, no. 5, pp. 81-83, May 2003.
- [3] D.-H. Lee, H.Wang, R. L. Cheu, and S. H. Teo, "A taxi dispatch system based on current demands and real-time traffic information," *Transp.Res. Record*, vol. 1882, pp. 193-200, 2004.
- [4] CORDIC <http://www.cordic.com/pages/taxi.htm>
- [5] Y. J., J. Dai, C. T. Lu, "Spatial-Temporal Data Mining in Traffic Incident Detection," In *SIAM Conference on Data Mining, USA*, Apr 2006.
- [6] Wang, Chenggang; Ng, Wee Keong; Chen, Huaixin; , "From data to knowledge to action: A taxi business intelligence system," *Information Fusion (FUSION), 2012 15th International Conference on*, vol., no., pp.1623-1628, 9-12 July 2012.
- [7] Kiam Tian Seow; Nam Hai Dang; Der-Hong Lee; , "A Collaborative Multiagent Taxi-Dispatch System," *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on*, vol.7, no.3, pp.607-616, July 2010.
- [8] Seow, K.T.; Sim, K.M.; , "Decentralized Assignment Reasoning Using Collaborative Local Mediation," *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, vol.18, no.11, pp.1576-1580, Nov. 2006.
- [9] K. T. Seow and K. Y. How, "Collaborative assignment: A multiagent negotiation approach using BDI concepts," in *Proc. 1st Int. Joint Conf. Autonomous Agents and Multi-Agent Syst. (AAMAS'02)*, Palazzo Re Enzo, Bologna, Italy, ACM Press .pp. 256-263, July 2002,
- [10] K. T. Seow and K. M. Sim, "Collaborative assignment using belief-desire-intention agent modeling and negotiation with speedup strategies," *Inf. Sci.*, vol. 178, no. 4, pp. 1110-1132, Feb. 2008.
- [11] Kiam Tian Seow; Der-Hong Lee; , "Performance of Multiagent Taxi Dispatch on Extended-Runtime Taxi Availability: A Simulation Study," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol.11, no.1, pp.231-236, March 2010.

