

適用於數位學習輔助性人因需求之基因演算行程最佳化單指鍵盤

謝明哲

國立台東大學資訊管理學系

E-mail: hmz@nttu.edu.tw

摘要

傳統鍵盤的按鍵太多、手指偏移距離太大等設計，可能引起國小學童在打字時，出現手指關節過度屈曲或伸張、肩膀及手肘未能正確擺位、頭部前傾、椎體間應力過大等問題；而且，多數精細動作受到限制的身心障礙者習慣使用傳統鍵盤加上鍵盤保護框，以頭杖、手杖或單指打字，亦容易造成打字傷害。針對數位學習鍵盤設計上的輔助性人因需求，本研究以單指鍵盤為前導，使用單擊鍵法及長按鍵法，將傳統鍵盤之 47 個英文字母及數字符號鍵化簡為 26 個按鍵，以減輕尋找與定位上的困難。中文注音輸入則使用連合編碼將 42 個中文注音符號對應到鍵盤上的 26 個英文字母。鍵群佈局以空白鍵為中心，將字母鍵呈六角放射狀排列，並使用基因演算法，根據字母出現頻次及相鄰頻次設計目標函數，搜尋單指移動行程最佳化之鍵群排列。本研究提出之條件式雙點交配法，經實驗證明可以獲得較佳之適合值與較快之收斂速度。

關鍵詞：替代性鍵盤，人體工學鍵盤，基因演算法，電腦人機介面，資訊教育，中文注音。

Abstract

With too many keys and being too widespread for fingers to reach each key, the standard QWERTY keyboard may cause some typing problems with primary school students. Especially, when their typing motions turn up to be over-bended, over-expanded, unrelaxing, or over-slanted with their joints, shoulders, elbows, and heads. Further, the standard keyboard with keyguards usually used by persons with limited fine motor skills also easily causes typing injury. For the assistive ergonomic requirements, a single finger keyboard is designed as a pilot research work. The single-clicking and long-pressing methods are used to reduce the key numbers of the standard keyboard from 47 to 26. For Chinese Phonetics input, a connection-coding scheme that maps the 42 Chinese Phonetics into the 26 alphabetic characters is also utilized. In the keyboard layout, the space key is positioned as a center key surrounded with the alphabetic keys which looks like concentric hexagons. To apply the generic algorithm to find the minimum moving distance for single finger typing, an objective function based on the usage frequency of the alphabetic characters is defined. A conditional double point crossover approach is also proposed which is demonstrated to converge more rapidly and find a better fitness value.

Keywords: alternative keyboard, ergonomic keyboard, genetic algorithm, human-computer interface, information education, Chinese Phonetics.

1. 前言

在數位學習時代，資訊科技正衝擊著教育的核心理念。知識競逐與全人成長未能相輔相成，就如同經濟發展與環境生態經常發生衝突一樣，難以和諧。這樣的情形明顯發生於資訊融入中小學教育的過程，其中以電腦人機介面的不適當使用及資訊與人格分離式的片段學習最常被忽視。中小學學生電腦人機互動的主要傷害因素，包括螢幕輻射與閃爍、螢幕上所呈現的文字圖像太小、眼睛過度注視、鍵盤按鍵大小距離未能符合人因需求、打字或操作滑鼠時產生關節過度屈曲或伸張、肩膀及手肘未能正確擺位、頭部前傾、椎體間應力過大等[1-4]。這種種生理傷害對學童的成長發育、學習歷程（如注意力集中與視動協調能力）與學習效果都產生了不良影響，其中又以鍵盤操作所引起的傷害最為明顯，應列為主要改進項目[5][6]。

鍵盤一直是我們使用電腦輸入資料的主要工具，因為手部輸入若能經由適當的訓練使之達到協調的運動時，則手部輸入將與大腦的思維活動配合，讓我們進入極為省力的文字表達與寫作狀態。同時，協調的手部運動訓練，對恢復小腦的平衡功能亦有所助益，並能制衡大腦的過度活動。因此，除了將打字工具回歸人體工學設計之外，打字的運動模式亦必須使之能夠回歸小腦本來的平衡功能。

大部份國小學童及特殊學童無法同時使用雙手不看鍵盤打字，單手輸入或左右手交替輸入是較為可行的打字模式。此時，若使用傳統鍵盤做為打字工具，則打字傷害很容易發生。多數的徐動型腦性癱瘓者會使用傳統鍵盤加上鍵盤保護框以頭杖、手杖或手指對孔觸鍵，來輸入文字或進行文書編輯。這種打字方式，因為需要精細的對位動作，容易造成手指與鍵孔邊緣的過度摩擦或是手部關節過度屈曲、伸張；而複雜的選鍵動作則容易引起疲勞並降低打字效率[7]。國小學童雖然沒有腦性癱瘓者手部協調的問題，但是傳統鍵盤的按鍵太多、手指偏移距離太大等設計，極易引起國小學童在打字時，出現手指關節過度屈曲或伸張、肩膀及手肘未能正確擺位、頭部前傾、椎體間應力過大等問題。

在本研究為半側癱瘓與中度徐動型腦性麻痺者設計 26 鍵單手替代性鍵盤之前期測試與發展過程中[7]，曾提出以單擊鍵法及長按鍵法，將傳統鍵盤之 47 個字母及數字符號鍵化簡為 26 個按鍵，以減輕學童尋找與定位上的困難。與國外目前較常使用的 MALTRON[8]單指鍵盤與單手鍵盤比較起來，按鍵數目可以減少 70%，因此大幅提輸入時尋

的韻母(例如‘ㄩ’)

規則 7. 若輸入為介母(例如‘ㄨ’)且前有未確定之聲韻連合符號(例如‘ㄅ’)則輸出先前的聲母(例如‘ㄅ’)後再輸出目前輸入的介母(例如‘ㄨ’);否則直接輸出介母(例如‘ㄨ’)

規則 8. 若輸入為韻母①(例如‘ㄩ’)且前有未確定之聲韻連合符號(例如‘ㄅ’)則輸出先前的聲母(例如‘ㄅ’)後再輸出目前輸入的韻母①(例如‘ㄩ’);否則直接輸出韻母①(例如‘ㄩ’)

規則 9. 若輸入為聲母②則直接輸出聲母②

規則 10. 若輸入為韻母②則直接輸出韻母②

圖 2 所示之解譯流程圖,為依據規則 1 至規則 10 所設計。在實作上,使用者輸入連合注音出現未確定之情形時,解譯器可以直接顯示連合注音符號於螢幕上,待使用者輸入下一個連合注音符號後,再修正連合注音符號為正確的注音符號。

2.3 字母出現頻次及相鄰頻次統計

在使用基因演算法進行英文字母鍵群排列最佳化搜尋之前,必須取得英文字母出現頻次及相鄰頻次之統計資料。因此,本研究蒐集了英文故事、英打檢定、專業書籍、及英文新聞共 1,015,287 字(每字以五個字母計算),進行字母出現頻次及相鄰頻次之統計分析,統計結果如表 2 及表 3 所示。

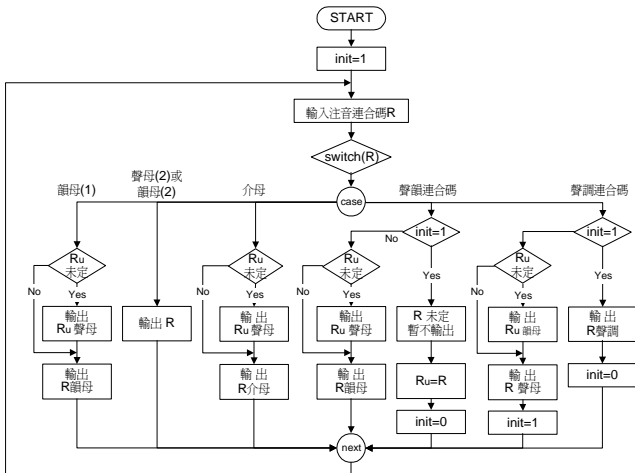


圖 2 中文連合注音解譯流程

表 2 英文字母出現頻次統計結果

字母	出現頻次	排名	字母	出現頻次	排名
Space	894547	1	N	303673	7
A	351151	4	O	316222	5
B	64169	21	P	92286	16
C	134989	13	Q	4982	26
D	163914	12	R	264786	9
E	506668	2	S	289415	8
F	88005	17	T	372962	3
G	84469	18	U	112804	14
H	192636	10	V	42899	22
I	308619	6	W	80179	19
J	9512	25	X	9523	24
K	32975	23	Y	73820	20
L	170240	11	Z	4306	27
M	106682	15			

表 3 英文字母相鄰頻次統計結果

	Space	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Space	0	74210	23641	28615	63337	100903	37361	25178	33886	37707	38888	8148	27646	27780	53672	54598	26373	1313	42691	98079	120417	8491	3678	33945	1516	31933	495
A	74210	78	8186	19370	13680	17882	5535	8013	19701	16153	1806	3291	31616	18550	47633	1844	11166	571	36618	25832	38524	4848	6503	10406	898	8199	855
B	23641	8186	333	270	160	12025	20	30	180	4066	140	32	4011	1888	209	6224	22	3	2582	751	260	6166	62	56	12	3601	6
C	28615	19370	270	1484	196	22205	82	41	12483	17926	9	3891	3520	191	7112	19122	287	67	5914	3589	8299	6525	18	43	407	908	10
D	63337	13680	160	196	1445	38613	93	543	271	18093	144	24	6669	452	25049	7632	158	20	6210	3430	403	4786	559	380	14	1190	15
E	100903	17882	12025	22205	38613	7824	7329	9857	54429	10957	896	7338	27552	22322	43611	2277	13173	674	77904	43689	35032	3665	22029	13273	4241	6326	1316
F	37361	5535	20	82	93	7329	3308	90	23	9398	5	45	2125	128	1325	27575	89	0	4844	471	2679	2059	7	17	7	161	1
G	25178	8013	30	41	543	9857	90	613	4808	8145	5	80	1027	149	24074	5618	69	1	5616	1295	507	3885	2	23	8	819	3
H	33886	19701	180	12483	271	54429	23	4808	9	13765	3	93	268	236	1165	11198	1726	5	1967	7260	65448	1536	13	6633	61	557	42
I	37707	16153	4066	17926	18093	10957	9398	8145	13765	102	435	3692	24864	13497	59606	16067	4578	204	20339	31337	44373	2128	10807	9537	980	907	1578
J	3888	1806	140	9	144	896	5	5	3	435	4	3	3	2	292	1718	6	0	46	10	15	1351	0	0	0	16	0
K	8148	3291	32	3891	24	7338	45	80	93	3692	3	24	909	85	2323	2746	40	0	2636	2609	103	337	7	94	1	259	8
L	27646	31616	4011	3520	6669	27552	2125	1027	268	24864	3	909	13208	626	1365	15537	6343	6	2237	4544	3759	8428	511	496	4	7430	26
M	27780	18550	1888	191	452	22322	128	149	236	13497	2	85	626	1762	1037	19079	5165	1	3458	3132	796	3960	11	97	21	2033	14
N	53672	47633	209	7112	25049	43611	1325	24074	1165	59606	292	2323	1365	1037	2008	43040	198	102	4253	9750	20561	10500	1211	1741	25	2575	87
O	54598	1844	6224	19122	7632	2277	27575	5618	11198	16067	1718	2746	15537	19079	43040	5121	12527	7	42389	14034	33255	18932	5389	12628	541	4577	261
P	26373	11166	22	287	158	13173	89	69	1726	4578	6	40	6343	5165	198	12527	2830	3	9812	4977	1563	5311	12	16	1339	689	5
Q	1313	571	3	67	20	674	0	1	5	204	0	0	6	1	102	7	3	0	8	103	4	2372	1	22	2	0	2
R	42691	36618	2582	5914	6210	77904	4844	5616	1967	20339	46	2636	2237	3458	4253	42389	9812	8	2429	10473	15881	12781	1208	880	0	5075	20
S	98079	25832	751	3589	3430	43689	471	1295	7260	31337	10	2609	4544	3132	9750	14034	4977	103	10473	7141	30853	14672	57	3116	9	3603	16
T	120417	38524	260	8299	403	35032	2679	507	65448	44373	15	103	3759	796	20561	33255	1563	4	15881	30853	3275	13819	146	2258	777	3887	109
U	8491	4848	6166	6525	4786	3665	2059	3885	1536	2128	1351	337	8428	3960	10500	18932	5311	2372	12781	14672	13819	31	99	74	138	359	160
V	3678	6503	62	18	559	22029	7	2	13	10807	0	7	511	11	1211	5389	12	1	1208	57	146	99	6	9	3	111	11
W	33945	10406	56	43	380	13273	17	23	6633	9537	0	94	496	97	1741	12628	16	22	880	3116	2258	74	9	90	5	216	3
X	1516	898	12	407	14	4241	7	8	61	980	0	1	4	21	25	541	1339	2	0	9	777	138	3	5	18	31	0
Y	31933	8199	3601	908	1190	6326	161	819	557	907	16	259	7430	2033	2575	4577	689	0	5075	3603	3887	359	111	216	31	14	48
Z	495	855	6	10	15	1316	1	3	42	1578	0	8	26	14	87	261	5	2	20	16	109	160	11	3	0	48	68

2.4 目標函數與基因演算搜尋法則

基因演算法是由 Holland 於 1975 年所提出 [11]，是基於自然選擇和遺傳學理論的一種最佳化搜尋機制。基因演算法在處理排程(scheduling)、空間配置(space allocation)、行銷員(traveling salesman)、和分割(partitioning)等複雜的最佳化問題上有極佳的搜尋效率[12-14]。26 鍵鍵群配置最佳化屬於 NP-hard 空間配置問題，本研究因此採用基因演算法來進行求解工作。首先，令 X 為鍵群排列最佳化之解， x_i 為鍵位 i 所代表之英文字母。其中鍵位 i 之實際位置如圖 1 (a)所示，但 x_0 表示固定不變之空白鍵。根據基因演算理論， X 即是以鍵位表示法(location representation)編碼成稱為染色體(chromosome)的英文字母串列，而 x_i 為染色體上的基因。染色體 X 的定義以數學式表示如下：

$$X = \{x_i\}, \text{其中 } i = 0, 1, 2, \dots, 26. \quad (1)$$

染色體之定義完成後，本研究將目標函數定義為一均方根函數如下：

$$f(X) = \frac{\sqrt{s(X)^2 + d(X)^2}}{2}. \quad (2)$$

其中 $s(X)$ 表示依據英文字母出現頻次，單指由空白鍵移至英文字母鍵之平均行程，定義如下：

$$s(X) = \frac{\sum_{i=1}^{26} D(x_i, x_0) \times Lfreq(x_i)}{TTL}; \quad (3)$$

而 $d(X)$ 則表示依據英文字母相鄰頻次，在輸入未含符號文章段落時，單指在鍵盤上移動的平均行程，其定義如下：

$$d(X) = \frac{\sum_{i=0}^{25} \sum_{j=i+1}^{26} D(x_i, x_j) \times ALfreq(x_i, x_j)}{TTL}. \quad (4)$$

在方程式(3)與(4)中， $D(x_i, x_j)$ 表示 x_i 與 x_j 兩鍵之距離， $Lfreq(x_i)$ 表示英文字母鍵 x_i 的出現頻次， $ALfreq(x_i, x_j)$ 表示 x_i 與 x_j 兩鍵所代表之英文字母相鄰頻次，而 TTL 則為英文字母及空白字元出現頻次之總和。因此，為搜尋鍵群排列之最佳化解，即相當於求解目標函數 $f(X)$ 的最小值。

在進行基因演算搜尋法則時，將 $f(X)$ 做為適合值函數，其演算流程如圖 3 所示。在進行基因演算前，先以隨機方式產生 N 個初始染色體 X_1, \dots, X_N ，然後依據 $f(X)$ 函數計算每一個染色體的適合值。接著，將適合值較低者依據標準比例選擇法(standard proportional selection) [13] 或輪盤式選擇法(roulette wheel selection) [15] 挑選至交配池(mating pool)中，再依交配及突變過程運算，以完成一代的基因演算法則。如此，計算適合值、選擇、交配、突變重複進行，直到產生適合值最低的鍵群排列為止。

在染色體交配過程，本研究進行單點交配法(single point crossover)與條件式雙點交配法

(conditional double point crossover)之比較。本研究所提出之條件式雙點交配法，是以隨機方式產生兩個交配點，交配條件為兩條染色體在兩個交配點之間的交配段皆含有相同的基因。傳統之單點交配法，是以隨機方式產生一個交配點後即進行兩個染色體的基因互換。

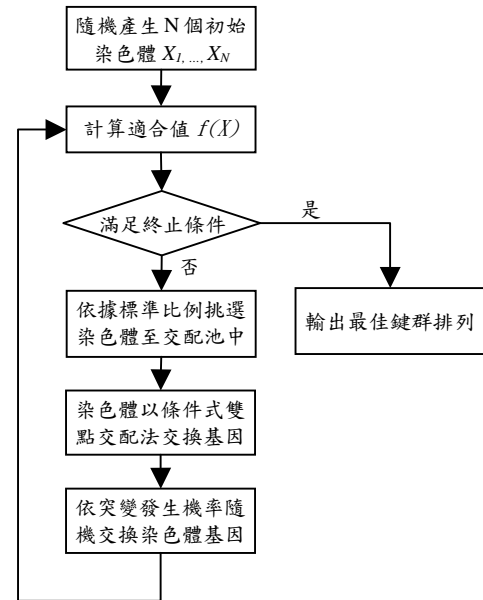


圖 3 最佳化鍵群排列之基因演算流程

3. 結果

本研究以基因演算搜尋法則進行之鍵群排列最佳化實驗，設定突變機率為 0.15，基因池大小為 100，分別測試單點交配及條件式雙點交配。最後得到的最佳鍵群排列，產生自條件式雙點交配法，其染色體最佳解為：

(EASONTMHIUDFRPLCWYKBXGJQVZ)。

圖 4 所示即為依據英文字母最佳鍵群排列，結合表 1 之中文連合注音，所得到之基因演算行程最佳化單指鍵盤完整佈局。

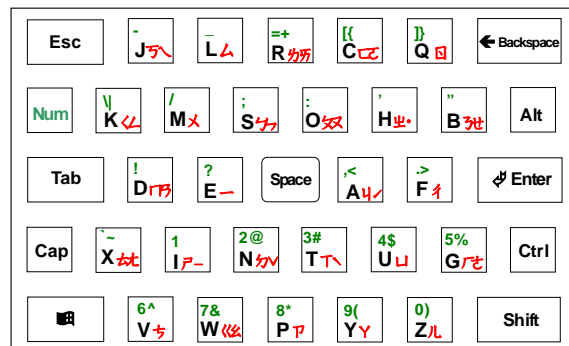


圖 4 基因演算行程最佳化單指鍵盤完整佈局

條件式雙點交配法收斂在第 193,746 世代，適合值為 1.03062， $s(X)$ 值為 1.56028， $d(X)$ 值為 1.34694；而單點交配法收斂在第 6,286,204 世代，適合值為 1.04465， $s(X)$ 值為 1.56429， $d(X)$ 值為 1.38499。

4. 討論與後續發展

本研究以單擊鍵法及長按鍵法，將傳統鍵盤之 47 個字母及數字符號鍵簡化成 26 個按鍵之後，將鍵群依字母出現頻次及相鄰頻次，以基因演算法搜尋得到之最佳化行程單指鍵盤，目的在改善傳統鍵盤按鍵太多、手指偏移距離太大之設計，以減輕學童尋找與定位上的困難，並解決學童在打字時，出現手指關節過度屈曲或伸張、肩膀及手肘未能正確擺位、頭部前傾、椎體間應力過大等問題。對於多數使用傳統鍵盤加上鍵盤保護框，以頭杖、手杖或手指輸入文字或進行文書編輯的徐動型腦性麻痺者，行程最佳化單指鍵盤亦能減少精細的對位動作與複雜的選鍵動作，避免造成手指與鍵孔邊緣的過度摩擦或是手部關節過度屈曲、伸張，進而提高打字效率。這兩項從設計理念所得到的推論仍須進行個案測試，以獲得實際操作結果，並探討資訊融入中小學教育之電腦人機介面發展與管理策略。

為了能夠符合單手輸入與雙手輸入之輔助性人因需求，本研究將繼續應用單擊鍵法與長按鍵法，參考輔助科技與人體工學原理，將鍵群分別以左手、右手、及左右手同時使用之打字模式進行設計；同時，使用基因演算法求取行程最佳化之鍵群排列。未來將其應用在掌上型電腦或筆記型電腦，可以簡化目前鍵盤的設計與製造成本，並提高輸入效率，降低打字之職業傷害。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會身心障礙者科技輔具專題研究經費補助（計畫編號：NSC91-2614-E-143-001），特申謝意；另外，國立彰化仁愛實驗學校特教教師陳佳伶、廖連喜、和物理治療師李淑瑩為測試訓練工作的辛勞付出與惠賜寶貴意見，資教系湯永麟同學協助執行英文字母頻次統計工作，以及接受測試訓練身心障礙學生之積極參與，使本研究得以順利完成，在此亦一併致最大謝意。

參考文獻

- [1] English, C.J., Maclaren, W.M., Court, B.C., Pethick, A.J., and Soutar, C.A., "Relations Between Upper Limb Soft Tissue disorders and Repetitive Movements at Work," American Journal of Industrial Medicine, vol.27, pp.75-79, 1995.
- [2] Garey, M. and Johnson, D., Computers and Intractability, W.H. Freeman, San Francisco, 1979.

- [3] Gordon, A.M., "The computer user syndrome," Journal of the American Optometric Association, vol.58, no.11, pp.892-901, 1987.
- [4] Smutz, P., Serina, E., and Rempel, D., "A system for evaluating the effect of keyboard design on force, posture, comfort, and productivity," Ergonomics, vol.37, no.10, pp.1649-1660, 1994.
- [5] Lee, C. H., Advances in Occupational Ergonomics and Safety, IOS Press, Amsterdam, 1999.
- [6] Gerard, M.J., "An ergonomic evaluation of Kinesis Ergonomic Computer Keyboard," Ergonomics, vol.37, no.10, pp.1661-1668, 1994.
- [7] 謝明哲，為半側癱瘓與中度徐動型腦性麻痺者設計 26 鍵單手替代性鍵盤之前期測試與發展，台東師院學報，民 90，12 期（下），211~241 頁。
- [8] P.C.D. MALTRON LTD, The Ergonomic Keyboard Specialists, England, Web: <http://www.maltron.com>.
- [9] 謝明哲，適應性六鍵式摩斯碼鍵盤與肢體障礙者個案訓練研究，成大電機博士論文，台南，民 88。
- [10] Editorial Board of Mandarin Dictionary Concise Edition, "Statistical Report of Character and Phrase Usage Frequency for the Editorial Data of Mandarin Dictionary Concise Edition," Ministry of Education, Taipei, 1997.
- [11] Holland, J. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, 1975.
- [12] 楊銘賢，基因演算法在配置陳列空間上的應用，管理學報，民 88，16 卷，2 期，231~253 頁。
- [13] Michalewicz, Z, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, 3rd rev. and extended ed., Springer-Verlag, New York, 1999.
- [14] Bäck, T., Fogel, D.B., and Michalewicz, Z., Handbook of Evolutionary Computation, University Oxford Press, New York, 1996.
- [15] 蘇木春、張孝德，機器學習：類神經網路、模糊系統、以及基因演算法，台北：全華，民 88。