

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

控制—顯示增量對遙指作業績效之影響

Effect of Control-Display Gain on Remote Pointing Performance

計畫編號：NSC 88-2213-E-009-034

執行期限：87 年 08 月 01 日至 88 年 07 月 31 日

主持人：許尚華教授 國立交通大學工業工程與管理學系

一、中文摘要

遙指作業和一般傳統的指向作業在本質上有很大的不同。過去的研究顯示作業特性與使用者特性等因素會影響遙指績效，惟系統設計對遙指績效的影響尚付之闕如。控制器的控制—顯示增量 (C-D gain) 為設計指向裝置時常被考量的設計參數。一般輸入設備將 C-D gain 定義成 (1) 顯示器和控制器間位置 (一階) 的對應，和 (2) 速度 (二階) 的對應關係。本研究的目的是在探討速度 C-D gain、遙指距離、目標尺寸和移動幅度對手部以遙指器執行間斷型作業績效的影響。

75 位交通大學的學生被隨機指派到 5 (速度 C-D gain) X 3 (遙指距離) 個實驗情境之一，進行以 Fitts' Law 為基礎 4 (目標尺寸) X 3 (移動幅度) 個情境的遙指作業。實驗結果顯示當遙指距離愈長、目標尺寸愈小和移動幅度愈大時，完成作業時間會愈長。當遙指距離愈長和目標尺寸愈小，點選錯誤率會愈高。高速度 C-D gain 會造成較短的作業完成時間和較高的選擇錯誤率，所以最佳速度 C-D gain 的決定還要視遙指作業特性而定。速度 C-D gain 對遙指機制也有顯著的影響，速度 C-D gain 愈高會使第一副移動時間愈短，而過高或過低的速度 C-D gain 皆會使第一副移動速度、調整副移動時間和副移動次數增加。最後根據實驗結果，提出遙指介面設計原則的建議。

關鍵詞：人因工程，遙指，增量，人機介面

Abstract

Control-display gain of pointing devices is an important factor in determining the performance effectiveness. The control-display gain (C-D gain)

is usually defined as either the relationship between control displacement and display displacement (i.e., first order) or the relationship between control velocity and display velocity (i.e. second order). The purpose of this study is to investigate the effects of the velocity control-display gain on the performance of discrete remote pointing task based upon hand input device.

Seventy-five students of National Chiao Tung University were randomly assigned to one of 5 (velocity C-D gain) X 3 (remote distance) experimental situations to perform cursor positioning tasks by using a remote pointing device. The results showed that velocity C-D gain, movement amplitude, target width, and remote distance had a significant effect on task completion time. In addition, target width and remote distance also had a significant effect on selection error rates. High velocity C-D gain made tasks faster and less accurate. Moreover, the optimal level of velocity C-D gain depended on the characteristics of the task required. Velocity C-D gain also had a significant effect on mechanism of remote pointing. At last, the author offered suggestions for the remote pointing interface design at the end of the paper.

Keywords: human factors, remote pointing, control-display gain, human-computer interface

二、計畫緣由與目的

隨著視訊科技的日益進步，未來電子產品將對人類的生活造成很大的影響。在這些新型態科技產品的研發及推廣下，如何設計出良好的人機介面系統使成為一個很重要的議題。

遙指器是一種新型態的輸入裝置，其特點為結合一般滑鼠和遙控器的功能。使用者手握

遙指器，指向位於一段距離外的顯示器，仰賴手臂與腕部的移動將螢幕上的游標移至目標物上，而後運用遙指器上的按鍵以達成點選的指令。由於遙指器在操作上的簡易性，並且又能與目前普及的「指向和點選」型式的人機介面系統相容，使得這種裝置在需要操作人員執行遙控作業的應用上佔有重要的地位。

遙指作業和一般傳統的指向作業在本質上有很大的不同：(1)使用者在操作遙指器時，手是以懸空或半懸空地進行空手運動對目標進行選取，且有三個向度的活動範圍，手臂和手腕多作垂直面的運動。這和操作一般傳統滑鼠或軌跡球時，手可以放置或支撐在桌面上進行水平面兩個向度的運動截然不同。進行遙指作業時，由於使用者需要較高的穩定度，因此瞄準動作的困難度會比使用其他輸入設備時高。(2) 進行遙指作業時，使用者和顯示器之間保持一段較遠的距離，這也與一般近距離輸入設備的使用方式有所差異。例如使用互動電視時，使用者和電視螢幕之間大約 15 呎左右；而在使用滑鼠或搖桿時，使用著通常都是直接接近在顯示器前。所以，要設計一個良好的遙指介面系統，除了考慮影響一般指向作業的因素之外，還要考慮遙指環境特有的因素。

Hsu、Huang 和 Sun (1997)對於影響遙指作業績效的作業因素作了有系統的探討。他們利用傳統的 Fitts 作業典型，要求受試者在不同的距離下，以手控制遙指器將游標移到位於不同位置、不同尺寸的目標。結果發現，遙指的時間不僅受到目標尺寸與移動幅度的影響，而且還受到受試者所在位置和顯示器間遙指距離的影響。因此，作業的困難度在遙指環境中需要考慮在不同遙指距離下，移動幅度與目標物尺寸的相對量度。

除了作業因素之外，控制器的 C-D gain 也是影響操作行為的主要因素之一 (Chapanis & Kinkade, 1972 ; Sanders & McCormick, 1993 ; MacKenzie & Ridderma, 1994)。C-D gain 的定義為控制器運動對顯示器運動的比。一般輸入設備將 C-D gain 定義成顯示器和控制器間位置 (一階) 的對應，即游標位移對控制器位移的比例。有很多研究已證實在很多不同的輸入設備如滑鼠、搖桿等，位置的 C-D gain 對指向作業績效都有影響 (Jenkins & Comer, 1949 ; Buck, 1980 ; Lin, Radwin &

Vanderheiden, 1992)。

除了位置 C-D gain 定義之外，有些系統將 C-D gain 定義為顯示器和控制器間速度 (二階) 的對應關係，即顯示器上游標的運動速度乃由控制器的運動速度來決定。目前許多指向定位產品都有調整這種控制特性的功能，但是現在並沒一致的證據可以證明速度 C-D gain 對手部定位作業績效有幫助。例如，雖然 Jellinek 和 Card (1990) 及 Trankle 和 eutschman (1991) 的研究結果顯示速度 C-D gain 對滑鼠的作業績效沒有幫助，但 MacKenzie 和 Ridderma (1994) 則指出速度 C-D gain 對手部控制滑鼠作業有顯著的影響。

而這些結果未必全都能直接應用於手控遙指器，因為人員對於手部移動的控制能力要比頭部高，所能控制的移動速度和精確度也有所不同。因此，有必要探討此一新型輸入器的速度 C-D gain 和其他重要變項對遙指作業行為的影響。

本研究的目的是在探討速度 C-D gain、遙指距離、目標尺寸和移動幅度對手部以遙指器執行間斷型作業績效與遙指機制的影響。並且進一步探討不同的速度 C-D gain 在遙指裝置設計上的優劣，提供作為設計遙指裝置的參考依據。

三、結果與討論

3.1 結論

本研究最大的特點即在探討速度 C-D gain 的設計對遙指作業績效及機制的影響。實驗結果顯示速度 C-D gain、遙指距離、目標尺寸和移動幅度皆為影響遙指作業績效的重要因素。當遙指距離愈長、目標尺寸愈小、移動幅度愈大時，完成遙指作業的所需時間會愈長。當遙指距離愈長和目標尺寸愈小時，點選的錯誤率會愈高。移動幅度或手部移動角度對錯誤率並沒有影響。速度 C-D gain 對速度和精確度則有權衡的效果。速度 C-D gain 愈高時，遙指時間會愈短而錯誤率會愈高。所以，最佳速度 C-D gain 的決定還要視遙指作業特性而定。

當目標尺寸視角大於 0.3 度時，速度 C-D gain 對錯誤率並不會造成顯著的差異，較高

之速度 C-D gain 可縮短遙指作業執行的時間；當目標尺寸視角小於 0.3 度時，速度 C-D gain 則會有所影響，高速度 C-D gain 錯誤率會較高。

速度 C-D gain 對遙指機制也有顯著的影響。速度 C-D gain 愈高會使第一副移動時間愈短，而過高或過低的速度 C-D gain 皆會使第一副移動速度、調整副移動時間和副移動次數增加。

隨機最佳化副移動模型除了對副移動次數的低估外，其餘的績效預測皆為遙指作業所支持。不同速度 C-D gain 的作業績效仍符合隨機最佳化副移動模型的假設。

3.2 遙指環境設計原則

根據實驗的結果，本研究提出幾項建議以作為遙指器和遙指作業的設計原則：

- (1) 由於速度 C-D gain 的高低對遙指作業時間和錯誤率之間有相互消長的關係，因此在設計時須格外注意。當圖像尺寸視角大於 0.3 度時，建議採用較高之速度 C-D gain；當圖像尺寸視角小於 0.3 度時，則視作業特性而定，在比較重視快速移動的作業上，可設計有較高的速度 C-D gain；在比較重視精確程度的作業上，則可設計有較低的速度 C-D gain。
- (2) 盡量避免設計在過遠的距離時執行遙指作業，可減少執行遙指作業的時間。若遙指距離過遠時，可適當地增加手部穩定度的設計，如扶手等。
- (3) 在可接受的範圍內，顯示器上的圖像尺寸愈大愈好。如此的設計可降低遙指作業的困難度和提昇精確度。在設計圖像的尺寸時，應考慮遙指器和顯示器之間距離的效果，以圖像的觀看視角來作為考量的標準。
- (4) 圖像的分佈設計應該儘量群組化，圖像之間的距離應愈小愈好，避免分散於螢幕的四周。

四、計畫成果自評

根據本研究的目的，研究範圍限定在四個作業相關因素，即速度 C-D gain、遙指距離、目標尺寸、移動幅度等變項對遙指作業績效的影響。其他可能影響遙指績效之系統相關因素

(如遙指器之外型、重量、系統遲延時間)、使用者相關因素(年齡、性別、疲勞、左右手偏好、熟練度)或環境相關因素(如使用環境之物理特性或干擾)皆不列入本研究的探討範圍。

由於實驗設備的關係，本研究所操弄的速度 C-D gain 為類別變項，非連續變項，所以在應用本研究的關於 C-D gain 結果時便沒有精準的客觀依據。

本研究實驗的作業為間斷型的指向作業，研究結果不能直接推論至其他遙指器作業，如拖曳或追蹤等。

而在未來研究方向上，因為速度 C-D gain 並沒有一個很明確而通用的定義方式，所以許多研究往往因此而限制了其研究結果的推廣性。因此，本研究建議接下來應朝和控制理論結合的方向來研究 C-D gain 的效果。若能以詳細運算式子描述速度 C-D gain 複雜的動態反應，設計者在進行人機介面的設計時便能有共同依循的基礎。

由於速度 C-D gain 使得控制器和顯示器之間的運動呈現非線性的關係，Trankle 和 Deutschman(1991) 認為速度 C-D gain 的設計違背了移動相容性的設計原則。高速度 C-D gain 時顯示器游標的大幅度移動會超出使用者的預期，造成使用者在操作上的不便，這方面值得考慮。對於 C-D gain 的研究向來都是以客觀的量測，如作業的速度和精確度來作為比較的依據，而使用者對 C-D gain 設計的喜好程度則沒有相關的研究。使用者主觀的喜好也可能為影響作業績效的重要因素之一，能讓使用者感到操作舒適和便利的設計是人因工程努力的目標，所以未來可朝此方向進行探討。

在 Keyson(1997) 的研究中指出一種動態的游標 C-D gain 會影響軌跡球目標取得的績效。這種動態的 C-D gain，或稱黏性游標(Worden、Walker、Bharat & Hudson, 1997)，其設計游標在目標區域中的 C-D gain 會和在目標外的 C-D gain 不同。當游標在目標中朝向目標中心移動時，C-D gain 會較目標外的高；游標在目標中朝向目標外移動時，C-D gain 會較目標外的低。如此的設計便會造成使用者將游標移出目標要比移進目標困難，而造成抓取游標的效果。實驗結果顯示這種設計可增加軌跡球和滑鼠的作業績效

(Keyson 1997; Worden 等人, 1997)。在困難度較高的遙指環境中, 亦可針對顯示器游標和目標之間的處理作探討, 以提供設計遙指器時的參考依據。

虛擬實境是一種新的人機介面型式, 三個向度的遙指作業將被廣泛地運用於這種介面中。Johnsgard(1994) 對虛擬實境手套的作業績效進行探討, 發現位置 C-D gain 能縮短指向作業時間但會造成錯誤率的上升。未來尚可探討速度 C-D gain 對虛擬實境作業的影響, 以找出增進作業績效的方法。

五、參考文獻

中文部份

黃建中, *Fitts' Law 在遙指環境之適用性*, 國立交通大學工業工程與管理學系博士論文, 民 86 年。

魏憲章, *控制一顯示增量對遙指作業績效之影響*, 國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文, 民 87 年。

英文部份

Buck, L. (1980). Motor performance in relation to control-display gain and target width. *Ergonomics*, 23, 579-589.

Chapanis, A., & Kinkade, R. (1972). Design of controls. In H.P. Van Cott & R. Kinkade (Eds.), *Human Engineering Guide to Equipment Design* (rev. ed.). Washington, DC: Government Printing Office.

Hsu, S., Huang, C.C., Tsuang, Y.H. & Sun, J.S. (1997). Age differences in remote pointing performance. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 515-527.

Jenkins, W.L., & Connor, M.B. (1949). Some design factors in making settings on a linear scale. *Journal of Applied Psychology*, 33, 395-409.

Jellinek, H.D., & Card, S. K. (1990). Powermice and user performance. *Proceedings of the CHI '90 Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 213-220). New York: ACM.

Johnsgard, H. (1994). Fitts' Law with a Virtual Reality Glove and a Mouse: Effects of

Gains. In R. M. Baecker, J. Grudin, W. A. S. Buxton, & S. Greenberg (Eds.), *Readings in Human-computer interaction: Toward the year 2000* (pp. 8-15). San Francisco: Morgan Kaufmann.

Keyson, D.V. (1997). Dynamic cursor gain and tactual feedback in the capture of cursor movements. *Ergonomics*, 40, 1287-1298.

Lin, M.L., Radwin, R.G., & Vanderheiden, G.C. (1992). Gain effects on performance using a head-controlled computer input device. *Ergonomics*, 35, 159-175.

MacKenzie, I.S., & Ridderama, S. (1994). Effects of output display and control-display gain on human performance in interactive systems. *Behavior & information technology*, 13, 328-337.

Sander, M.S., & McCormick, E.J. (1993). *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill.

Trankle, U., & Deutschman, D. (1991). Factors influencing speed and precision of cursor positioning using a mouse. *Ergonomics*, 34, 161-174.

Worden, A., Walker, N., Bharat, K., & Hudson, S. (1997). Making computers easier for older adults to use: Area cursors and sticky icons. *Proceedings of the CHI '97 Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 273-279). New York: ACM.