

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

小波轉換於可適性弱視電子閱讀輔助系統應用之研發

An Adaptive Vision Aid for Low Vision with Wavelet Transform

計畫類別：☐ 個別型計畫 ☒ 整合型計畫

計畫編號：NSC91 - 2614 - E - 002 - 004 -

執行期間： 90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

計畫主持人：林啟萬

共同主持人：

計畫參與人員：林鑫志 林啟明

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學 醫學工程研究所

中 華 民 國 92 年 10 月 12 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

小波轉換於可適性弱視電子閱讀輔助系統應用之研發

An Adaptive Vision Aid for Low Vision with Wavelet Transform

計畫編號：NSC 91-2614-E-002-004

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：林啟萬 國立台灣大學 醫學工程研究所

計畫參與人員：林鑫志 林啟明 國立台灣大學 醫學工程研究所

cwlin@cbme.mc.ntu.edu.tw

一、中文摘要

一般的視覺障礙輔具大多以觸覺或聲音來增加視障者的生活機能，在此報告中我們針對因白內障與黃斑症而引致的弱視者研發一套具個別調適功能之數位弱視影像輔助系統，此系統不僅具有傳統視障輔具所具有適用於單色之高色差對比與放大功能與亮度、視野可調整外，更進一步可根據患者的視力狀況(CSF)，進行最佳化的調整，同時運用小波轉換函數(Wavelet transform)進行影像強化處理，使之可同時適用於文字與彩色影像，有助於患者視覺訊息品質的提昇，達到增加閱讀自習效能之目標。

關鍵詞：弱視輔具、對比敏感函數、影像對比、可適性影像強化、小波轉換、數位信號處理

Abstract

The traditional aids for vision impairment normally rely on tactical or sound perceptions to partially restore the quality of daily activities. It is our goal to pursuit An Adaptive Digital Vision Aid for Low Vision, especially those caused by cataract and macular degeneration diseases. This system not only provides the traditional monochromatic high contrast, brightness, field adjustment and necessary enlargement but also optimally compensates each individual's visual loss according to the measurement of his/her own contrast sensitivity function (CSF). The features of wavelet transform can allow the applications to both text and color images, which certainly increases the quality of visual perception.

Keywords: Vision aid, contrast sensitivity function, image contrast, adaptive image enhancement, DSP

二、緣由與目的

一般的視覺障礙(vision impairment)輔具大多以觸覺或聲音來增加視障者的生活機能，但是因為在視障的定義中包含有不同程度的弱視(low-vision)及失明(blind)，視障者有相當大比例的人數屬於漸進式的弱視情形，一般相信若能在此階段給予較好的視覺訊息，則不論是年幼或年長之視障，在日後之復健中都能有相當大的助益[1-3]。但目前一般弱視輔具的功能主要是以影像放大與對比調整為主，並無法解決弱視者對於閱讀的需求[4-6]。對於弱視患者的閱讀來說，圖形或

文字的放大是可以提高他們對於影像的解析能力，因為放大會把影像所位在頻域上的頻譜移到較低的空間頻率上，而圖形出現在較低頻的空間頻率對於弱視者來說是比出現在中、高頻空間頻率更讓他們看的清楚。但是，放大卻不能完全地解決弱視者的閱讀問題，因為放大率的增加，會使得視野中所能看到的文字數目降低，而導致閱讀的速率減低與閱讀時的不方便[7]。若能夠針對個別弱視者的視覺系統特性作合適的影像強化補償，讓弱視者在現有的殘餘視力下，經過影像強化補償的方式，來增加弱視者辨認影像資訊的能力，以協助閱讀使用，進而擴展到不同應用層次的弱視輔具。特別是在步入高齡化社會的台灣，方便且有效的弱視輔具，將是提高弱視者生產力、活動力與生活品質的重要因素。

在前一年度的成果中，對於影像強化的處理，係以頻率帶通濾波後分段施以數位處理放大(cos-log filtering)，較適用於文字類型影像[8]。對於複雜度高的灰階與彩色影像則仍有待改進。故而在本年度研擬利用小波轉換方式，對不同影像頻率成分處理，以提昇視覺系統對於影像的辨識能力，增加閱讀效率。

三、方法

系統架構

目前系統的發展架構在電子擴影系統架構方面主如圖一之方塊圖。

電子擴影系統

目前電子擴影系統架構如下：

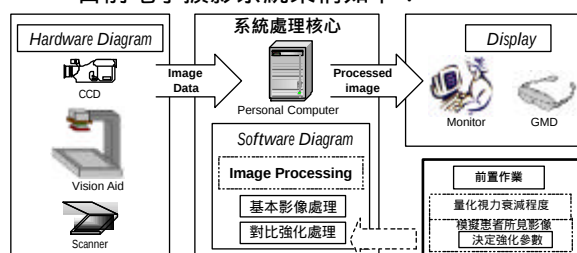


圖 1、電子擴影系統架構圖

電子擴影系統主要的研發部分著重於供視覺障礙者閱讀使用的輔助系統，其主要架構為硬體與軟體兩個部分。在硬體部分主要是能夠操控閱讀平台與即時得到外界影像為主，並且將影像資訊交由軟

體部分的影像處理來做適當的影像增強，產生能讓視覺障礙者與老年人能夠更容易地閱讀書籍與辨識的影像資訊。

硬體部分

由影像系統與控制系統組成並且連接個人電腦，可以做程式化的控制與處理。在影像系統中透過高倍放大率的鏡頭與攝影機可取得高達 60 倍放大倍率的影像，並且控制系統中可程式化地控制閱讀平台的移動，並且之需利用鍵盤的方向鍵就可達到操控的應用。

軟體部分

在此部分我們希望能夠預先地將影像根據患者的視力衰減程度做適當的影像處理並且增強影像對比資訊，將會使得患者能夠更容易地閱讀書籍與辨識書籍中的圖片。所以軟體部分，分為前置系統與影像處理核心兩個單元，前置系統主要是先要量化病人視力的衰減程度，並且藉由模擬出患者眼中的影像來決定出影像對比強化參數。再將此對比強化參數植入影像處理核心中，以便硬體部分所擷取的影像可以立即由影像處理核心來作影像對比強化處理，以增強影像中邊界部分的對比強度。

前置系統

在前置系統中，我們整合了量測患者視力衰減程度的功能與可以模擬患者所見的影像，進而可決定影像對比強化參數，以提供最合適患者的影像對比強化的效果。為了量化患者的視力衰減程度我們利用二維正弦式的影像圖型，以取得視覺系統對於脈衝刺激所得反應函數，可以利用正弦波條紋乘上高斯函數(稱做 Gabor 函數)的圖形來量測出視力對於空間頻率中最小的刺激強度，其倒數為對於單位脈衝刺激的敏感度。我們將量測弱視者在空間頻率分別為 0.5、0.7、1.5、3、4、8、10 cycles/deg 下視覺系統能夠偵測到脈衝刺激的最小臨界值，並且可將所量得的對比敏感度，以圖表顯示。最後，我們可根據視覺系統在紅、綠和藍光下所測得的 CSF 來得知視力在單位脈衝刺激下不同的空間頻率的衰退情形。並且利用患者的 CSF，分別地利用線性式模擬法與非線性模擬法來分別模擬出白內障患者與黃斑部退化症患者眼中所見影像，進而來決定影像對比強化的參數，然後再代入影像對比強化處理來強化影像邊界的對比，讓患者在現有的視力狀況下得到最佳的視力效果。

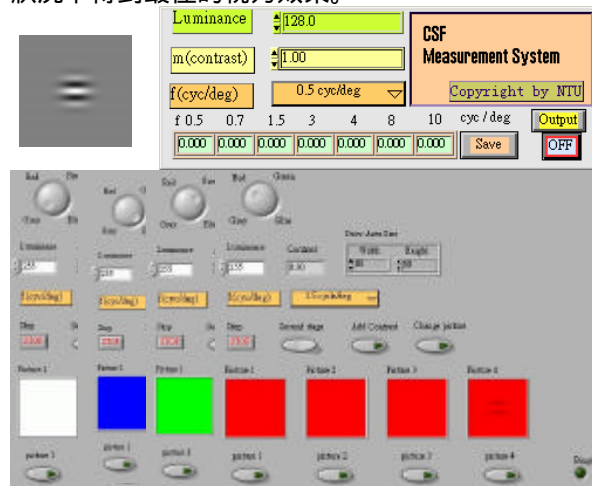


圖 2、量測對比敏感函數系統的程序介面

影像處理核心：

在影像處理核心中，提供基本的影像處理與影像對比強化處理兩部分的影像處理單元。在基本影像處理方面，由硬體部分所得數位影像資料可以作立即影像處理如放大、亮度、反白、影像儲存與前後景的顏色調整。因為視覺障礙者對於文字與背景的對比愈高會覺得影像更清楚，所以系統提供了文字與背景顏色反白的功能，並因視覺障礙者可能對於某些特定的顏色會較為敏感，所以我們也在系統中加入文字與背景的顏色可以自行調整，以求使用者可得到最好的閱讀品質。由前置系統求得最佳影像對比強化參數後，將此參數提供給影像對比強化處理來做影像邊界的對比強化，我們利用了影像處理中的可適性濾波，來強化影像邊界的對比資訊。我們分別影像對比強化的方法，強化文字與圖片影像的邊界對比強度，讓視覺障礙者更容易辨識出文字與圖片資訊。

因為人類視覺對於對比的敏感度是和空間頻率是有很大的相關性，當空間頻率越高，人類對於對比的敏感度也就愈差。且由對比敏感函數也可以得知，人類視覺所察覺的資訊視類似一個帶通濾波器。所以可將人類視覺系統，視為不同空間頻率下帶通濾波器的總合[9-11]。所以影像經過人類視覺是可以會被解析成不同空間頻率下的子影像資訊(sub-image)，因此可以利用不同空間頻帶下所解析的子影像，來求得不同頻帶下子影像的對比參數，這種方法稱為 Local Band-Limited Contrast。

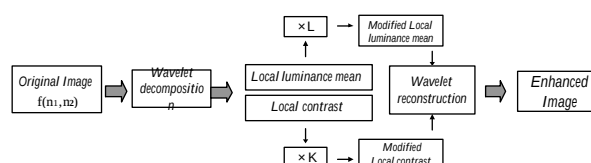


圖 3、可適性影像對比強化處理說明圖

四、結果與討論

在實際地量測對比敏感函數時，考慮視覺系統接受域的限制與利用螢幕顯示正弦波影像並不合適當作一個脈衝刺激，所以採用 Gabor 函數當作量測對比敏感函數的刺激脈衝。系統設定觀察者與螢幕之間的距離為 57cm，在此距離下觀察者相對於螢幕上一個點距的視角為 0.05deg，所以在此觀測距離、螢幕大小與螢幕解析度中，螢幕所能夠解析最小的條紋圖形(grating)為 0.1deg 的大小，所以螢幕所能夠提供的條紋圖形其最大空間頻率為 10 cycle/deg。螢幕中的刺激影像大小，採用 4 deg × 4 deg 尺寸大小的影像，並且分別量測空間頻率為 0.5、0.7、1.5、3、4、8、10 cycle/deg 下的對比值。在每一個空間頻率下，對比值由低往上增加，每一次的增加量為 0.1 個 log 刻度。當調整對比值增加的同時，Gabor 條紋相對於背景值的明度也會增加，一直到 Gabor 條紋可以被視覺系統所察覺，而可以看到 Gabor 條紋的影像，則此刻的對比值就是視覺系統在此空間頻率可以偵測到得最小刺激強度，其倒數為對比敏感度。當將在不同頻率下所量測得觀察者的對比敏感度視作一個函數，則可稱為對比敏感函數。在量測空間頻率對比敏感函數時，此系統不僅僅量測受試者在灰階影像下的反應，同時，也量測受試者在三原光紅、綠與藍等顏色的空間頻率對比敏感函數。之後再根據受試者的情況，分別對這三種顏色的影像做強化處理，再加

以組合成為一張新的影像。

因為對於弱視患者(low vision)最為讓他們所困擾莫過於閱讀書籍，尤其是中心視力喪失的弱視患者，根據 Legge 與 Rubin 所作的研究[12]，發現患有中心視力喪失的患者閱讀書籍的速率是其他弱視患者閱讀書籍速率的一半。

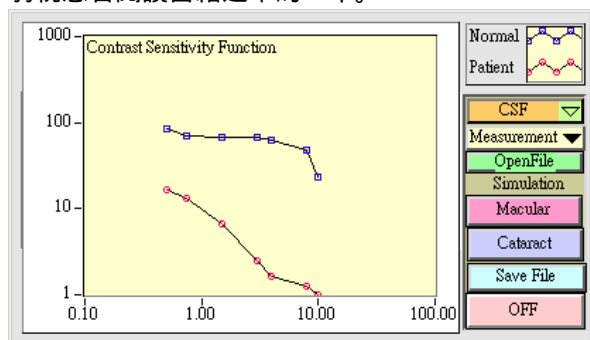


圖 4 對比敏感函數輸出圖表的展示介面(黑色方塊為正常人，紅色圓圈為弱視者)

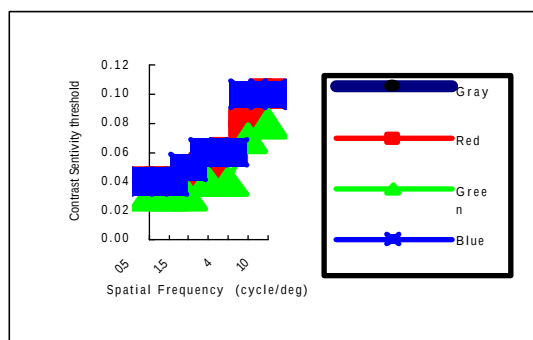


圖 5、正常人的不同顏色的對比敏感臨界值

當給予高對比值 100% 的影像時，患有中心視力喪失的弱視者，其平均閱讀速率為每分鐘 68 個字；而中心視力也沒有損害的弱視者其閱讀速率為 112 個字/分鐘；而正常人的閱讀速率則為 330 個字/分鐘。將正常人對於影像的對比需求與弱視者相比，發現給予正常影像對比值為 100%，並不會對於增加閱讀速率有何影響，因為若將給予正常影像對比值降低於 6% 時，此時正常人的閱讀速率會下降到原來閱讀速率的一半。但若給予弱視者影像對比低於 34% 時，此時弱視者的閱讀速率就已經下降到原來速率的一半的速率。可見提供弱視者高對比資訊是有效地增加其影像資訊，進而提高閱讀效果。先前 Lawton[16] 已經證實了利用空間濾波器來達成影像對比的增強，對於弱視者閱讀來說是可以增加閱讀速率的。她提出增強弱視者對於影像文字所喪失的敏感度(如中頻與高頻成分)是可以增加閱讀速率的理論，並且利用根據患者對於不同頻率下敏感度的喪失，設計一高通濾波器來作補償，結果顯示，未強化影像文字需要高的放大倍率才能讓弱視者看的清楚，而強化過的影像文字給弱視者看的清楚，其放大倍率不需要太高，並且閱讀速度也比未強化過的影像文字加快 2~4 倍左右，可得知利用空間濾波器來達成影像對比的增強，是可以幫助弱視者的閱讀效果與增加其速率。根據 Lawton 採用空間濾波器來增強影像成分的結果證實對於弱視者而言影像的高頻資訊的強化是有其必要性的。所以

利用前一章節所介紹的可適性影像對比強化處理可以用來強化影像資訊的中、高頻成分，並且也沒有直接使用高通濾波器會導致影像過度強化的缺點，應該是最適合使用於提供給弱視者閱讀使用的影像強化方法。

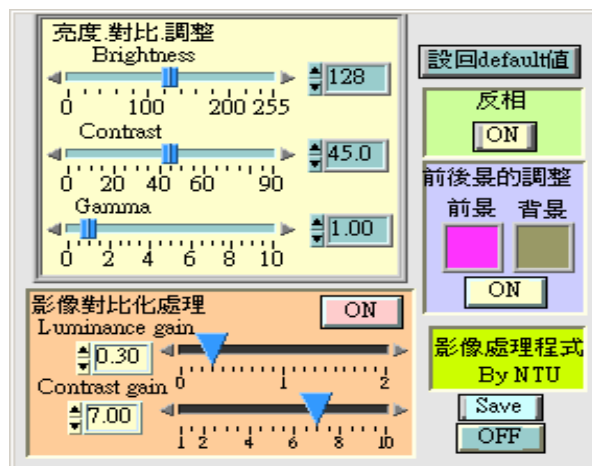


圖 6、影像處理核心的使用介面。

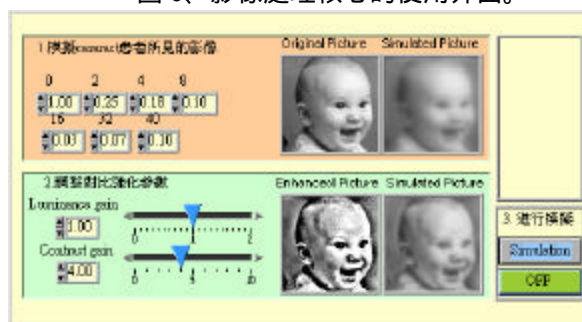


圖 7 模擬白內障患者所見影像介面

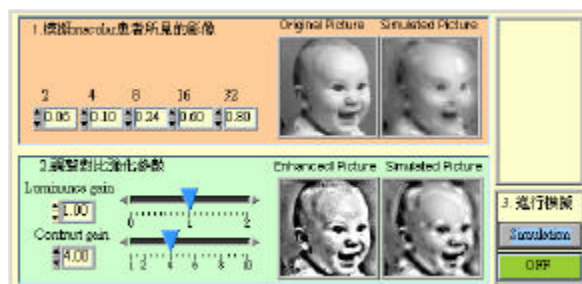


圖 8 模擬黃斑部退化症者所見影像介面

利用網路資料傳輸的概念，將影像資訊由伺服器系統經由網路協定 TCP/IP 傳輸到用戶端系統中。在用戶端系統中，可以多使用者同時取得伺服器系統的影像資訊，而在每一個用戶端系統中做影像處理與呈現。而用戶端系統的架構中也加入了伺服器系統的影像對比強化的功能，讓弱視者可依照自己的視力程度對影像對比強化的參數做一調整，使得弱視者可得到最佳的影像品質。我們將用戶端系統程式改寫成只需利用瀏覽器就可進行瀏覽影像，使得用戶端系統的電腦中，不需要額外安裝程式，只需要電腦中具備瀏覽器即可即時地觀看並且調整適合自己的影像強化參數，將使得加快網際網路式的教學閱讀系統的普及與增加使用的方便性。

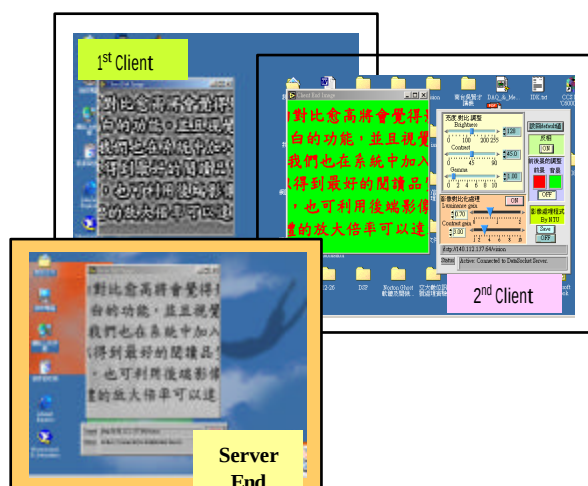


圖 9 實際網際網路教學閱讀系統使用畫面。伺服器端(Server End)提供原始影像資訊，並且將影像經過網路傳給多個用戶端(Client End)，並且讓使用者做合適影像處理參數的調整。

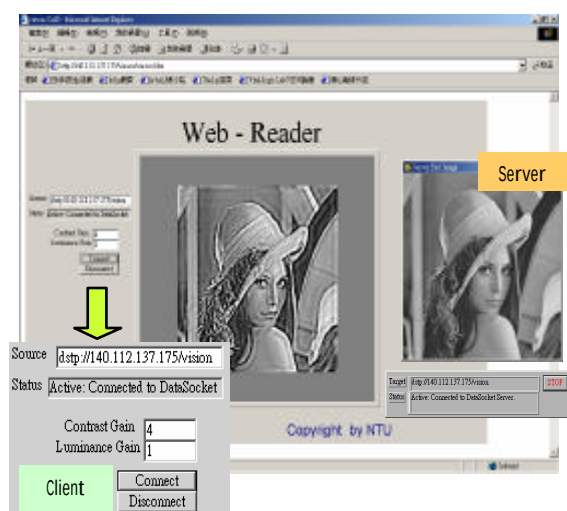


圖 10 為實際伺服器系統與用戶端系統傳遞影像資料展示圖

五、結論

本論文根據人類視覺系統的特性，利用 Gabor 函數來量得視覺系統不同空間頻率下對於單位脈衝的敏感度，藉此來了解弱視者的視力衰退情形，並利用可適性影像對比強化處理，來作為輸入影像的補償，以提高弱視者的辨識能力。此可適性影像對比強化處理，可依據個別弱視者的視力狀況，適用於白內障與視網膜病變的疾病患者，以作為不同程度上的強化補償參數決定的考量。目前只針對視覺系統的視力衰減程度來當作影像補償的指標，但是這裡所指的影像補償不僅與影像對比有關，且考慮到色彩對於視覺系統的影響。因為顏色可以增加視覺系統對於分辨物體的範圍，並且正常人所見的世界皆是充滿色彩的，所以若能夠針對弱視者的色彩視覺系統作合適的色彩補償，相信可提昇弱視者的閱讀品質。在論文中亦利用小波轉換與小波包轉換來做影像強化處理的應用，比單純利用低通 cos-log 濾波器，在應用上更為有彈性，且也能根據使用者的需求與情況，配合空間頻率敏感度函

數，在不同的空間頻帶的子影像給予適當的對比強化，以使強化的影像避免失真過多。且配合彩色空間頻率敏感度函數的量測，可以將影像強化的方法應用至彩色影像上。

本論文也將此可根據個別弱視者的視力來作影像補償的可適性影像對比強化處理應用到真正可以輔助弱視者閱讀的科技輔具上，根據其使用性與功能性的不同，設計三種提供弱視閱讀與教學的輔助系統。桌上型的電子擴影系統，可提供給弱視者在居家或是室內的良好閱讀輔助工具；網際網路教學閱讀系統，讓在課堂裡上課的弱視學生也可以和明眼學生一樣的教學品質，藉由利用影像擷取單元取得黑板的文字或是老師的講義教材，可立即地傳送到課堂中每一位弱視學生的螢幕中，並且可以作合適自己的影像處理，以提昇弱視學生的學習品質。可攜式閱讀系統，將提供給弱視者外出時閱讀使用的最佳工具。

六、致謝

本論文主要係由行政院國科會專題計畫「無障礙生活環境科技輔具之研發-適用於弱視者之電子擴影系統研發」補助進行(NSC91-2614-E-002-004)。

五、參考文獻

1. 萬明美, "視覺障礙教育", 五南出版社, 民國 85 年。
2. Clearinghouse E., "Handicapped and gifted children - Learning related visual problems fact sheet. Reston, 1981
3. Barraga N., Belmont, CA, Wadsworth, "Visual handicaps and learning: a developmental approach": 1976.
4. Bellecci VA.C., "What's new in low vision aids. Thechnology Update", Sensory Aids Foundation, 1990, August, 1-4
5. Kuyk T., James J., and Keverline M. (eds.) "A pilot study of a telescopic low vision aid with motorized focus". J. Vision rehab., 1990, 4(4), 21-30
6. Greene H., Beadles R. and Pekar J., "Challenges in applying autofocus technology to low vision telescopes". Opto. And Vision Sci. 1992, 69(1), 25-31
7. Ji Y-H, "Clinical Effect of Low Vision Aids", Korean J.Ophthalmol., 1999, 13:52-56
8. Lin C.-W., Lin H.-C., Lin C.-M., "A Web-Based Electronic Magnifier Imaging System for Vision Aid", Proc. BMES Annual Meeting, 2001
9. Peli E. and Peli T. "Image enhancement for the visually impaired". Optical Eng. 1993, 23: 47-51
10. Lawton T.B. "Improved reading performance using individualized compensation filters for observers with losses in central vision". Ophthalmology, 1989, 96: 115-26
11. Lawton TB. "Image enhancement filter significantly improve reading performance for low vision observers", Ophthal. Physiol. Opt, 1992, 12: 193-200
12. Rubin G.S., Legge GE, Psychophysics of reading VI—The role of contrast in low vision. Vision Res. 1989;29(1):79-91