



如何睡得好又巧？ ——智慧睡眠眼罩

成大資訊工程學系副教授兼醫學資訊研究所副教授／梁勝富

人的一生大約有三分之一的時間是在睡眠，而在學校趴在課桌上睡午覺，也是大家共同的記憶；如何睡的好，睡醒之後精神好，逐漸成為大家關心的問題。舒適方便的睡眠量測與分析，成為瞭解、改善與優化睡眠的第一步。智慧睡眠眼罩是我們針對睡眠感測與優化需求所提出的創新產品。



智慧型眼罩雙層結構組合後外觀。

設計理念

午睡有助於提升下午的讀書、工作效率，然而，午睡時間很短，有時候越睡越累，該怎麼辦？晚上上床時好熱，冷氣與風扇開的很強，方便入睡，睡到半夜又冷醒，或者定時關掉空調又被熱醒，該怎麼辦？失眠者佔人口比例約2-3成，但即使沒有睡眠症狀的人，在生活上也有上面這些困擾。因為居家型睡眠分析與回饋裝置的出現將有助於一般人的日常睡眠品質與效益提升。那這個裝置應該具備什麼條件？我們認為要融入日常生活並發揮效益應該要滿足下面幾點：

(1)方便居家量測：因此現有的臨床睡眠感測系統，雖為專家睡眠判讀所必須，但量測通道數

越多，越容易造成睡眠干擾，未必適合居家使用。

(2)與日常用品結合：在日常生活中穿戴一套在日常生活中不易出現的設備，會減低使用者的穿戴意願或造成生活困擾。

(3)能推估睡眠週期：若穿戴裝置僅能分析清醒與睡眠比率，估測睡眠效率，無法推估完整睡眠週期，對於睡眠效益提升幫助有限。

(4)為現有成熟技術：感測系統若是現有成熟技術，可快速成為新一代產品，或讓現有產品提高附加價值，而不用寄望於遙遠的未來。

而智慧眼罩與內含的相關技術，就是以滿足上述理念為設計目標。

現有睡眠感測裝置的限制

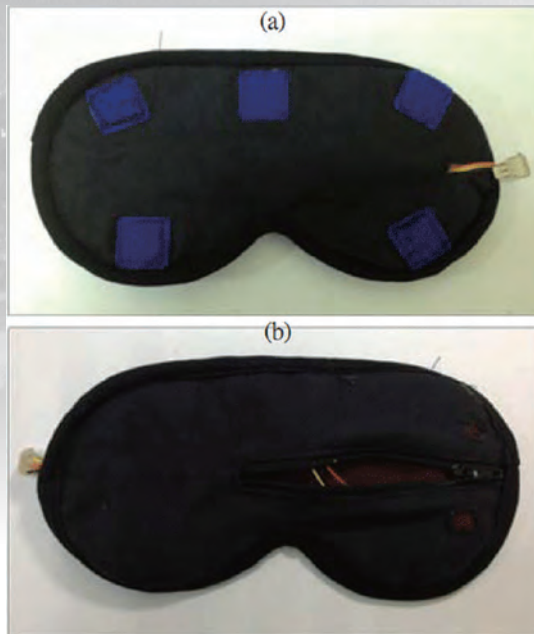
在臨床診斷上常以多重睡眠生理記錄儀 (Polysomnography, PSG) 收錄病患整晚的睡眠生理訊號，並以此來觀察病患的睡眠品質或結構，輔助醫師診斷。PSG 使用上需黏貼大量的腦電、心電、肌電等感測電極，及呼吸與血氧等感測器，雖然是臨床診斷所需，但大量的電極線往往對受測者的睡眠品質造成影響。這些專業設備的使用，往往需要專業人員從旁協助，如黏貼電極、軟體設置等，使用者無法獨立操作，故不適用在居家環境的自我睡眠評估應用上。為了減少使用者的行動束縛感，有較大的動作自由度，目前已有專業設備，利用藍牙或無線區域網路來傳輸睡眠生理訊號，但是這樣的無線傳輸，只是將生理記錄感測器與電腦或監控室之間的連接線取代掉，感測器一樣要先連接到身上或床邊的記錄器，再進行無線傳輸。而這些集中到記錄器的感測線組，對使用者的不適感與傳統設備並無太大差別。

另一方面，隨著行動裝置與穿戴式裝置的蓬勃發展，利用運動感測器紀錄睡眠過程中使用者的姿態變化，進而估測使用者睡眠品質的睡眠活動紀錄錶或手機軟體，在使用上具方便使用、減少干擾、與日常用品完美結合的特

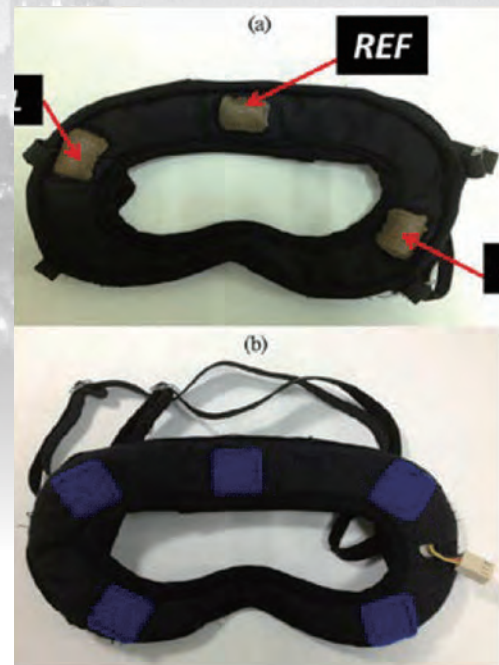
性，在臨床上，已逐漸應用於睡眠評估、不同症狀治療前後之睡眠狀況改善分析等應用。就健康管理應用而言，更成為穿戴式裝置的必備功能。基於間接估測的限制，此技術可應用於清醒與睡眠比率及睡眠效率估測，但不能進一步提供不同睡眠階段資訊，判斷完整睡眠週期，因此限制其進一步應用於睡眠調控與回饋的發展性。

新型睡眠眼罩裝置

為了克服現有睡眠感測裝置過與不及的問題，經過反覆思考與辯證，我們設計一套創新的智慧眼罩作為折衷方案。相較於腦波訊號，由於沒有毛髮阻隔，眼電圖 (Electro-oculography, EOG) 只需在眼部周圍安裝電極就可感測，甚至不需要導電膏，使用上相當方便。而就標準睡眠判讀而言，因為在快速動眼期 (rapid eye movement, REM) 眼睛時常會有明顯與快速的移動，而這個階段的腦波與清醒或淺睡腦波相當接近，不易分辨；因此，眼電訊號主要用來輔助判斷快速動眼期。而經由長期對睡眠腦波與眼電訊號的比對分析，除了眼動外，我們發現一些其他睡眠階段的腦波特徵也會出現在眼電訊號中，因此可以利用訊號分析



智慧眼罩外層結構主要為眼罩，內裝訊號放大與無線傳輸電路，一面有魔鬼氈與內層眼罩接合，另一面外觀與一般眼罩無異，並設計拉鍊可放入或取出電路模組。



智慧眼罩內層與臉部接觸面有三個導電布織電極，另一面有魔鬼氈，可與外層眼罩接合。

技術結合機器學習，將眼電訊號作為自動睡眠分期的主要依據。

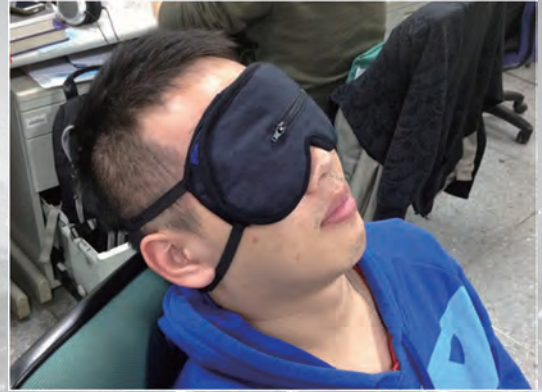
整個系統開發，主要可以分為前端硬體設計，包括眼罩、電路等；後端軟體技術，包含使用者介面、演算法等；而中間連結硬體及軟體則為韌體設計，將擷取到的眼動訊號轉換為數位訊號並傳送至電腦或行動裝置儲存及分析。我們設計了一套創新的雙層可組合與分離式眼罩，內層眼罩與臉接觸，上面裝設了三個導電布織電極，分別對應到右眼上方、左眼下方與額頭中央眉心處，左右眼電極主要感測眼電訊號，而眉心電極作為參考電位。外層結構

主要為眼罩，外觀與一般眼罩無異，但有一拉鍊可放入或取出訊號放大與無線傳輸電路模組。為了讓使用者能方便確認系統運作是否正常、操作軟體介面、或隨時觀看外在環境，我們特別設計眼罩內外兩層利用魔鬼氈接合，外層眼罩可輕易外掀，讓使用者可快速觀看螢幕裝置或四周環境，而不需脫下眼罩，增加使用便利性。此外，布織眼罩與布織電極的柔軟觸感，更可提供使用者較為舒適的使用經驗。對同時使用過智慧眼罩與PSG系統的受測者，所進行的體驗問卷調查，亦顯示感測眼罩相較於PSG有更高的舒適度與便利性。

自動眼電睡眠判讀技術

傳統PSG睡眠資料需要專家進行人工判讀，這項工作通常非常費時，且不可避免會有前後判斷不一或因人而異等情況；因此開發自動睡眠判讀演算法來減少判讀所需耗費的時間並且透過一致的標準來進行判讀，是醫學資訊領域的熱門研究議題，而眼罩系統由於只量測眼電訊號，判讀專家更無法據此進行完整睡眠階段分期，因此眼電睡眠週期自動判讀軟體更是睡眠眼罩不可或缺的核心技術。

就眼電訊號與睡眠階段自動分期技術而言，最具代表性的是芬蘭團隊的研究，此團隊開發的技術與專家判讀結果比較，整體準確率約72%。由於專家睡眠判讀一致性平均可達82%，因此我們開發的眼電睡眠判讀技術就以超過80%正確率作為基本要求。我們藉由統計分析，擷取眼電訊號不同解析度的複雜度 (complexity)、自迴歸模型 (autoregressive model)、線段長度 (line length) 等重要特徵，再透過線性判別分類器 (linear discriminant analysis)，開發一套滿足上述目標的睡眠判讀軟體。這套軟體對16筆使用者整夜，包含PSG與眼電睡眠同時量測的睡眠紀錄(總共超過120小時)進行自動判讀，判讀結果與專家對PSG的判讀，在完整包含清醒、淺睡一、二期(S1,S2)、深睡期 (slow wave sleep) 及快速動眼期等五類睡眠分期一對



在辦公室環境配戴智慧眼罩午休自然而不突兀。

一比較，平均可達83%的一致性，滿足當初預設目標。最後我們開發一個人性化的操作軟體 (APP)，可無線接收眼罩量測到的眼電訊號，利用我們開發的自動睡眠判讀方法，分析使用者各項睡眠指標，提供使用者完整睡眠結構資訊，包含睡眠時間、睡眠延遲與整個睡眠階段分佈等，可應用於日常居家環境。

智慧午睡鬧鐘

由於智慧睡眠眼罩具備即時分析睡眠階段的功能，因此適合午睡喚醒與睡眠環境自動調控等針對特定睡眠階段進行調整或回饋的即時性應用。一般認為午睡有助於提升下午的讀書或工作效率，然而究竟要睡多久，才能睡得巧又睡得好，就令人好奇。由於午休時間有限，一般很難可以睡滿完整九十分鐘睡眠週期，因此我們針對午睡中在不同睡眠階段喚醒對睏睡度改善效益的差異，進行超過100位受試者的實驗。實驗結果發現在淺睡第二期(stage 2)進入後約十分鐘喚醒受試者，相較於進入深睡期或不睡覺，對睏睡度的改善有最佳的表現，而所需時間更比進入深睡期短。因此在淺睡第二期

喚醒使用者，既可避免進入深睡期導致醒來後的疲憊，又可有效提升精神。而我們開發的睡眠眼罩，就午睡應用而言，讓使用者設定預計睡眠時間，系統開始執行後則會開始顯示剩餘時間，若使用者睡到一半突然醒來，就可以馬上知道離原本設定的時間還剩多久。當使用者進入淺睡第二階段後約十分鐘，即發出鈴聲喚醒使用者，以避免進入深睡期後被鬧鈴吵醒，產生睡後遲鈍（sleep inertia），比不睡更累。而到了預設時間，即使還沒入睡，也要提醒使用者，可能要上課或上班。

我們開發的智慧睡眠眼罩，就機構設計而言，其與一般眼罩相仿的外型，對於使用者不會造成心理上的負擔，且使用者可自己獨立穿戴，容易融入日常生活中。而可攜式的設計，不管是在辦公室需要午睡或是開車累了需要小憩一番，搭配執行眼電睡眠分析軟體的手機、

平板或電腦，讓使用場所與情境不受限。除了根據個人睡眠變化，調整睡眠環境的光線、溫度、聲音等，實現舒適睡眠環境營造的幸福感外，更期待未來，透過智慧眼罩確實能獲得有效益的休息，讓長途運輸駕駛者減少疲勞駕駛造成的傷害；災難搜救人員，減低疲憊造成的自身安危風險，提升搜救效益，以增進社會整體安全。

技術開發大事記

2010 發表腦波午睡鬧鐘及午睡效益分析研究，並以「午睡與程序記憶強化之探討」論文榮獲中國工程師學會99年度工程論文競賽電機工程組優等獎。

2011 單一通道睡眠腦波週期判讀技術於聖地牙哥BioCAS 2011發表。

2012 眼電睡眠週期判讀技術於新加坡GHC 2012發表。

2013 智慧睡眠眼罩鬧鐘榮獲教育部智慧電子創新應用與設計競賽醫學電子組特優獎。

2014 在葡萄牙舉辦的PhyCS 2014發表眼電睡眠分析技術於睡眠環境調控的應用。



於102年榮獲教育部智慧電子創新應用與設計競賽醫學電子組特優獎。