

論文大綱

個人資料：

林其融，台大物理系碩士班。*論文尚未發表，目前已通過口試。

指導教授：

陳志強博士，中研院物理所博士

論文題目：

Information Synergy Contributed to Anticipatory Dynamics in Retina
資訊協同對視網膜預測能力的貢獻

英文摘要 Abstract:

To avoid dangers or catch prey, animals must make predictions to compensate for delays in the visual processing pathway. Previous studies revealed that predictive information of motion is encoded in spiking activities of retinal ganglion cells. To study the predictive properties of a retina more systematically, stimuli in the form of a stochastic moving bar or whole-field-varying light intensity are used in experiments with the bullfrog retina in a multi-electrode system. The encoding of homogeneous light intensity $\xi(t)$ into spikes with firing rate $\gamma(t)$ at time t is further investigated. Partial information decomposition of the mutual information between γ and the joint variable $\{\Xi, \tilde{\Xi}\}$ is found to be consistent with the encoding form of linear combinations of ξ and $\tilde{\xi}$ where Ξ and $\tilde{\Xi}$ are the discretized states of ξ and $\tilde{\xi}$ respectively. This encoding form of $\gamma(t)$ indicates that a retina is capable of anticipation based on the synergistic information generation between ξ and $\tilde{\xi}$. Our results suggest that illusions such as the anticipation studied here during retinal perception can originate from the recombination of information extracted in the retinal network. On the other hand, we measured kernel K by the spike-triggered average from a white noise stimulation. And we try to reproduce the predicting behavior of the retina by K in the two kinds of stimulation, with and without spatial dependency. Our results show that the prediction of homogeneous light intensity in the retina happens in the first synapse and can be linearly described, while the prediction of a moving object cannot be described in a similar linear mechanism.

中文摘要：

為了避免危險或捕捉獵物，動物必須預測以彌補視覺處理途徑的延遲。先前的研究表明視網膜神經節細胞(RGC)具有對移動物體的預測信息編碼的能力。為了更系統性地研究視網膜的預測能力，實驗中，我們使用隨機移動的光條或全域均勻變化的光強度刺激牛蛙視網膜以及多電極系統測量視網膜神經節細胞的電位，並使用互信息(Mutual Information)分析視網膜的激發頻率(firing rate, $\gamma(t)$)與不同時間的刺激($\xi(t+\delta t)$)的關係。我們更進一步的利用部分信息分解(PID)

分解 y 與 ξ 和 ξ 的聯合隨機變數的互信息，並發現 $y(t)$ 關於 ξ 與 ξ 的協同資訊(syergy)來自於 $y(t)$ 的這種編碼形式為 ξ 與 ξ 的線性組合，而這表明視網膜能夠基於 ξ 與 ξ 之間的協同資訊生成預測。另一方面，我們通過來自白噪聲刺激與發放-觸發平均方法(STA)測量視網膜的核(線性算子， K)。並且我們嘗試用 K 再現視網膜對於有和沒有空間相依性的兩種不同刺激的預測行為。結果顯示，視網膜中對均勻光強度的預測可以發生視網膜前端並且可以線性描述，而對移動物體的預測則不能用類似的線性機制描述。

關鍵字：

視網膜, 預測, 隨機過程, 互訊息, Partial Information Decomposition

中文實驗細節說明：

實驗部份，我會先取下牛蛙視網膜並貼在多電極陣列(MEA)上，再以全屏的強度變化或螢幕上移動的光條來刺激視網膜，刺激的變化由 Ornstein-Uhlenbeck processes 產生，可以想成加上擾動的簡諧運動。最後計算不同時間差刺激與視網膜反應之間的互信息量來判斷視網膜是否能進行預測與如何預測。數據的初步處理與分析使用 Matlab。

模擬方面，我首先假設視網膜能夠計算刺激的變化速度，並用位置與速度的組合求出未來的位置，再用 Poisson Processes 產生電訊號(spike)，之後便可計算不同時間差的互信息量。後來，我又引用了一個簡單的負回饋電路來模擬視網膜。以上模擬皆使用 python。

相關研究成果(待發表至期刊)：

<https://arxiv.org/abs/2103.07122>