BrienHoldenVisionInstitute

THỊ LỰC THỜI GIAN

TÁC GIẢ

Thomas Salmon: Đại học bang Northeastern, Hoa kì

THẨM ĐỊNH

Scott Steinman: Đại học khúc xạ nhãn khoa Nam California, Hoa kì

CHƯƠNG NÀY BAO GỒM CÁC NỘI DUNG:

- Hàm chuyển điều biến thời gian (TMTF)
- Sự giảm độ nhạy ở các tần số thời gian thấp
- Sự giảm độ nhạy ở các tần số thời gian cao

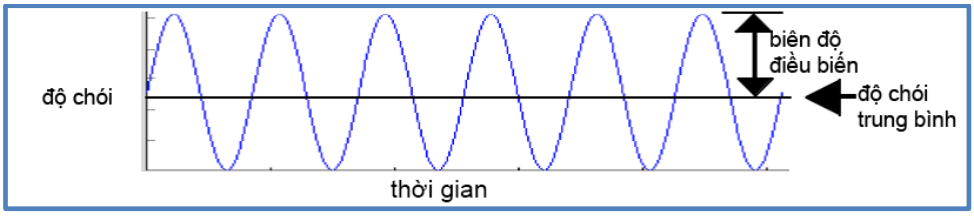
GIỚI THIỆU

Lĩnh vực *thị lực không gian (spatial vision)* nghiên cứu việc chúng ta nhận biết thế nào những thay đổi độ chói trong không gian (các ảnh), trong khi **thị lực thời gian** (temporal vision) đề cập đến việc chúng ta nhận biết thế nào những thay đổi độ chói theo thời gian. Điều này liên quan chặt chẽ với nhận thức chuyển động.

Chúng ta đã thấy rằng thị lực không gian có thể được thử bằng nhiều loại kích thích: chữ cái, cách tử sóng vuông, v.v. Tuy nhiên, cách tử sóng sin được các nhà khoa học thích dùng hơn, bởi vì:

- Chúng là các đơn thể cơ bản của ảnh
- Chúng rất phù hợp với phân tích Fourier
- Nếu vật tiêu là một cách tử sóng sin thì ảnh võng mạc sẽ là một cách tử sóng sin có cùng tần số không gian, mặc dù tương phản bị giảm

Kích thích cơ bản dùng để nghiên cứu thị lực thời gian là một ánh sáng với một biên dạng độ chói thay đổi theo hình sin theo thời gian (Hình 18-1, dưới). Đây là một ánh sáng nhấp nháy.



Hình 18-1: *Kích thích để nghiên cứu thị lực thời gian là một ánh sáng có độ chói thay đổi theo hình sin theo thời gian*

GIỚI THIỆU (TIẾP THEO)

Trong thị lực không gian, đôi khi chúng ta gọi tương phản là điều biến. Hàm chuyển điều biến (MTF) mô tả lượng tương phản (điều biến) được quang hệ chuyển từ vật đến ảnh. Độ tương phản (được biểu diễn bằng tỉ lệ phần trăm) có thể có một giá trị trong khoảng 0 đến 100%.

Tương đương thời gian của độ tương phản không gian được gọi là **độ điều biến** (percentage depth of modulation). Bạn có thể hình dung nó như là **độ tương phản thời gian** (temporal contrast). Nó được tính giống như độ tương phản không gian, chỉ khác là độ tương phản thay đổi theo thời gian chứ không phải không gian. Schwartz, 2004 Hình 8-2 cho thấy các thí dụ của điều biến cao và điều biến thấp, tức là độ tương phản thời gian cao hoặc thấp. Công thức dưới đây (của độ tương phản thời gian) cơ bản giống như độ tương phản Michelson, ngoại trừ độ tương phản thay đổi theo thời gian.

(% điều biến) = (biên độ điều biến)/(độ chói trung bình)*100

Ngoài độ tương phản thời gian (độ điều biến), kích thích dùng để nghiên cứu thị lực thời gian có thể thay đổi về **tần số thời gian**. Tần số thời gian có thể dễ hiểu hơn tần số không gian. Một lí do khác mà thị lực thời gian ít phức tạp hơn thị lực không gian là nó là một hàm một chiều chứ không phải hàm 2 chiều. Schwartz, 2004 Hình 8-3 là thí dụ của các biên dạng tần số thời gian cao và thấp.

Đặc điểm cơ bản của các kích thích thời gian:

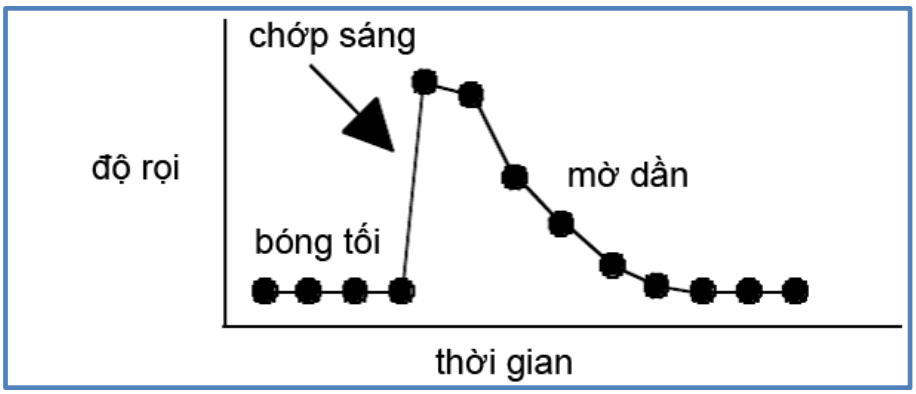
- Tần số là số chu kì nhấp nháy bật-tắt mỗi giây. Đơn vị của số chu kì mỗi giây là **Hertz (Hz)**
- Tần số thấp nghĩa là nhấp nháy chậm, tần số cao nghĩa là nhấp nháy nhanh
- Ở một số tần số, nhấp nháy trở thành nhanh đến mức bạn không nhận thấy được nhấp nháy nữa: nó dường như là ánh sáng không đổi. Tần số này được gọi là **tần số hợp nhất nhấp nháy tới hạn (critical flicker fusion frequency = CFF)**
- Đây là giới hạn phân giải thời gian. Nó tương tự giới hạn phân giải tần số không gian (hoặc ngưỡng tần số cao).

HÀM CHUYỂN ĐIỀU BIẾN THỜI GIAN (TMTF)

Trong trường hợp ánh sáng nhấp nháy, độ rọi võng mạc gây ra bởi ảnh rơi vào một vị trí võng mạc cụ thể thay đổi theo thời gian. Sự thay đổi độ rọi võng mạc ở điểm đó có thể được biểu diễn như là một hàm một chiều.

Hãy xem xét thí dụ một người đang nhìn chớp sáng đơn của pháo hoa (Hình 18-2)

- Lúc đầu người này đang nhìn vào bầu trời trống trơn. Độ rọi võng mạc ở thời điểm này gần bằng 0. Đột nhiên pháo hoa nổ, và có sự tăng tức thời độ rọi võng mạc (chớp sáng ở Hình 18-2)
- Độ rọi hoàng điểm mức cao tồn tại trong một phần nhỏ của giây
- Độ sáng sau đó giảm nhanh (mờ đi ở Hình 18-2). Sau vài giây nó giảm trở lại xuống gần như bằng 0



Hình 18-2: *Độ rọi ở một điểm trên võng mạc của thí dụ pháo hoa (theo thời gian)*

HÀM CHUYỂN ĐIỀU BIẾN THỜI GIAN (TMTF) (TIẾP THEO)

Cũng như bất kì hàm số nào, hàm số một chiều này cũng có thể phân tích Fourier.

- Hàm này có thể được phân tích thành các thành phần cơ bản
- Mỗi thành phần là một sóng sin cho thấy độ rọi võng mạc theo thời gian. Bất kì hàm số nào (trong trường hợp này độ rọi theo thời gian) cũng đều có thể được phân tích thành các sóng sin, do đó cũng hợp lí khi sử dụng các kích thích không gian hình sin để nghiên cứu những đáp ứng cơ bản theo thời gian của hệ thống thị giác
- Nói một cách khác, kích thích cơ bản dùng để nghiên cứu hệ thống thị giác nhận thức thế nào sự thay đổi độ chói theo thời gian là một chớp sáng nhấp nháy có độ chói thay đổi theo hình sin theo thời gian

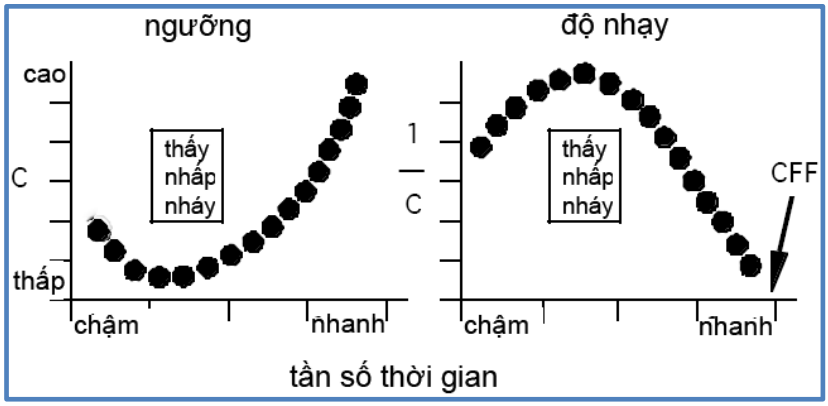
2 tham số cơ bản của một kích thích thời gian hình sin là:

- Độ tương phản thời gian (độ điều biến)
- Tần số thời gian (tốc độ nhấp nháy)

Để nghiên cứu hệ thống thị giác nhận thức thế nào sự thay đổi độ chói theo thời gian, chúng ta cần đo mắt với các kích thích nhấp nháy hình sin có các độ tương phản và tần số khác nhau. Điều này dẫn đến khái niệm **hàm chuyển điều biến thời gian**. Nó cho thấy giới hạn khả năng chúng ta nhận biết nhấp nháy khi kích thích thay đổi về tương phản thời gian và tần số. TMTF tương tự CSF (cho thấy giới hạn khả năng chúng ta nhận biết một cách tử sóng sin có các độ tương phản và các tần số không gian khác nhau).

Ở Hình 18-3, chúng ta có thể thấy cách lập ra một TMTF:

- Bệnh nhân nhìn vào một mảng sáng nhấp nháy ở tần số thấp, và có tương phản thời gian thấp. Tương phản chỉ khoảng ±1 nit so với nền. Sự thay đổi độ chói (độ tương phản) này nhỏ đến mức bệnh nhân không phát hiện được nhấp nháy
- Giữ cho tần số không đổi, nhưng tăng tương phản (điều biến) đến khi bệnh nhân phát hiện được nhấp nháy. Đây là ngưỡng tương phản thời gian (điều biến) của tần số đó
- Làm lại với các tần số khác và vẽ biểu đồ ngưỡng theo tần số (Hình 18-3, trái)
- Nghịch đảo của ngưỡng là độ nhạy, do đó chúng ta cũng có thể vẽ biểu đồ độ nhạy theo tần số (Hình 18-3 phải). Đây là TMTF của hệ thống thị giác



Hình 18-3: *Thí dụ dữ liệu của một thí nghiệm ngưỡng dùng để vẽ biểu đồ TMTF*

HÀM CHUYỂN ĐIỀU BIẾN THỜI GIAN (TIẾP THEO)

Quan sát kĩ biểu đồ bên trái, chúng ta có thể nhận thấy các điểm sau:

- Trên trục y, các giá trị cao biểu thị điều biến cao (tương phản thời gian cao), các giá trị thấp biểu thị điều biến thấp (tương phản thời gian thấp)
- *Trong thị lực không gian, tương phản cao bao giờ cũng dễ thấy hơn tương phản thấp.* Tương tự, trong *thị lực thời gian, điều biến cao bao giờ cũng dễ thấy hơn điều biến thấp*
- Tất cả các giá trị điều biến nằm bên trên đường cong ngưỡng là điều biến có thể nhìn thấy. Đường cong là điều biến thấp nhất có thể nhìn thấy
- Các kích thích có giá trị điều biến nằm bên dưới đường cong *không thể* phát hiện được. Nhấp nháy không được nhìn thấy và ánh sáng sẽ biểu hiện không đổi

Tương tự, xem xét một số đặc điểm của TMTF (Hình 18-3, bên phải hoặc Hình Schwartz 8-4):

- Do trục y biểu diễn nghịch đảo của điều biến, các giá trị cao tương ứng với điều biến thấp (độ tương phản thời gian thấp) và các giá trị thấp tương ứng với điều biến cao
- Độ nhạy cao nghĩa là bệnh nhân có thể thấy điều biến thấp
- Các giá trị điều biến tương ứng với vùng bên dưới đường cong là khoảng các giá trị nhấp nháy và tương phản mà bệnh nhân có thể thấy. Các giá trị độ nhạy ở bên trên đường cong là những kích thích mà nhấp nháy không nhìn thấy được. Ánh sáng sẽ biểu hiện không đổi
- Chú ý sự giống nhau với CSF. Độ nhạy cực đại xảy ra ở các tần số khoảng giữa nhưng kém hơn ở các tần số cao hơn và thấp hơn

Tần số không gian cao nhất mà một người có thể phân giải được cho biết bằng giá trị ngoài cùng bên phải trên đường cong TMTF. Tần số này được gọi là tần số hợp nhất nhấp nháy tới hạn (critical flicker fusion frequency-CFF) cho độ tương phản thời gian cao ở Hình 18.3 bên phải. Bình thường, khi nói đến CFF, chúng ta nghĩ đến CFF tương phản cao như ở hình trên. Tuy nhiên, như ở Hình Schwartz 8-7, nếu bạn dùng tương phản thấp hơn nhấp nháy thì CFF có thể ám chỉ nhấp nháy thấp nhất hoặc cao nhất có thể phát hiện được.

SỰ GIẢM ĐỘ NHẠY Ở CÁC TẦN SỐ THỜI GIAN THẤP

Các tần số thời gian thấp là những mức độ chói thay đổi rất chậm. Một số thí dụ:

- **"Nhấp nháy" ngày-đêm**: Bạn có thể coi các chu kì chiếu sáng ngày-đêm gây ra bởi mặt trời như là một nhấp nháy tần số rất thấp. Nếu bạn quan sát một mảng vỉa hè vào một ngày không có mây thì độ chói của nó sẽ thay đổi rất từ từ, do độ rọi bức xạ thay đổi bởi chu kì 24 giờ của mặt trời. Không cần phải quan sát mảng này trong toàn bộ chu kì, *tốc độ* thay đổi vẫn dựa vào tần số rất thấp 1 chu kì / 24 giờ (bằng 1.0 chu kì/86400 giây), hoặc tần số 0.000016 Hz. Rõ ràng là bạn rất khó nhận thấy sự thay đổi độ chói theo thời gian này
- **Vật chuyển động chậm**: Định thị hoàng điểm vào một điểm trên một đồng hồ trong khi kim phút đi qua. Nó chuyển động chậm đến mức bạn sẽ rất khó khăn để phát hiện được thay đổi độ rọi võng mạc kèm theo chuyển động

Có thể thấy rõ bằng trực giác là những thay đổi rất chậm của độ chói rất khó phát hiện. Sự giảm độ nhạy đối với các tần số thời gian thấp dường như được gây ra bởi các quá trình ức chế bên ở võng mạc (tương tự thị lực không gian). Một thí dụ của hiện tượng này là **các ảnh võng mạc ổn định**.

HÀM CHUYỂN ĐIỀU BIẾN THỜI GIAN (TIẾP THEO)

Mạch máu võng mạc tỏa bóng tối lên tế bào quang thụ, nhưng chúng ta không thể thấy chúng. Các bóng tối ở võng mạc không chuyển động, do đó chúng có tần số thời gian là 0, và mắt rất kém nhạy với các kiểu độ chói không chuyển động (không thay đổi). Đôi khi, chẳng hạn khi soi đáy mắt hoặc khám đèn khe, ánh sáng đi vào mắt theo một góc bất thường và các bóng tối sẽ di chuyển. Với sự thay đổi (tần số thời gian cao) đột ngột độ rọi cục bộ, các bóng tối trở thành nhìn thấy. Chúng biểu hiện đối với bệnh nhân như là một hình cành cây gọi là **cành cây Purkinje**. Hiện tượng này dựa trên các nguyên lí thị giác được mô tả ở phần hàm chuyển điều biến thời gian (TMTF).

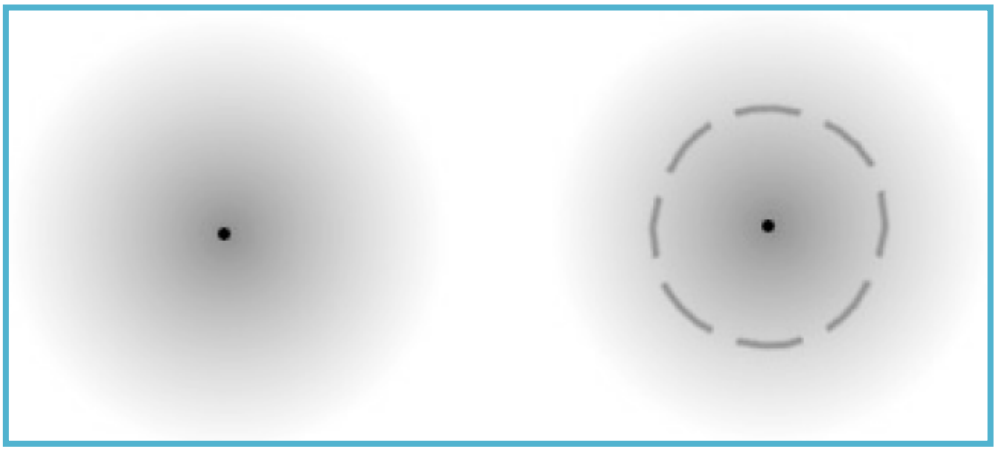
Tính không nhạy của hệ thống thị giác đối với tần số thời gian thấp cũng là cơ sở của **hiện tượng Troxler** hoặc **hiệu ứng Troxler**. Định nghĩa của hiện tượng này theo từ điển khoa học thị giác là: "Sự mờ dần nhất thời và không đều hoặc sự biến mất của một vật nhỏ trong thị trường trong khi định thị cố định một vật khác, thí dụ trong khi định thị một trong nhiều vết được vẽ trên một tờ giấy với sự biến mất và tái xuất hiện của các vết khác." (Hofstetter, 2000).

Hiện tượng này cũng được mô tả tỉ mỉ bởi William Hart, ở cuốn Sinh lí mắt của Adler (ấn bản lần thứ 9), 1992, trang 509. *Một hiện tượng các viền tương phản có liên quan được gọi là "hiện tượng Troxler." Nếu một vết sáng được đưa ra ở thị trường ngoại vi với một lượng tăng cố định trên một ánh sáng nền thích nghi, và nếu vị trí của vết sáng không thay đổi trong khoảng thời gian vài giây thì chúng bắt đầu từ từ biến mất khỏi tầm nhìn. Ngay khi điểm sáng được thay đổi vị trí, hoặc nếu điểm định thị của mắt được thay đổi thì vết sáng sẽ lập tức xuất hiện lại. Lúc đầu, người ta nghĩ rằng hiện tượng này có thể được giải thích bằng sự tẩy trắng cục bộ của các tế bào quang thụ ở vị trí của vết sáng ổn định. Tuy nhiên, việc vết sáng xuất hiện ngay khi mắt chuyển động cho thấy là sự hồi phục độ nhạy gần như tức thời và không theo diễn biến thời gian của sự tái sinh các quang sắc tố. Nói đúng hơn, đây dường như là một cơ chế nhanh có lẽ dựa trên cơ sở thần kinh.*

Bạn có thể thấy hiện tượng này khi xem biểu diễn sân khấu. Khi nhìn chăm chú vào một diễn viên, các nhân vật khác không chuyển động được nhìn bởi thị giác ngoại vi sẽ mất đi, đến khi bạn định thị lại vào họ.

Hình 18-4 (và Schwartz, 2004 Hình 8-5), giúp minh họa tính không nhạy của mắt đối với các tần số thời gian thấp. Nếu bạn nhìn chằm chằm vào chấm đen ở bên trái, các bờ của vùng xám sẽ nhanh chóng mờ đi khỏi tầm nhìn. Tuy nhiên, ở hình bên phải đường cách quãng không mờ đi.

Câu hỏi: **Tại sao**



Hình 18-4: *Tính không nhạy của mắt đối với các tần số thời gian thấp*

SỰ GIẢM ĐỘ NHẠY Ở CÁC TẦN SỐ THỜI GIAN CAO

Điều gì gây ra giảm độ nhạy của mắt ở các tần số thời gian cao? Thí dụ các đèn huỳnh quang ở bên trên đầu nhấp nháy ở tần số khoảng 60 Hz, nhưng chúng dường như không nháy. Chúng vượt quá tần số hợp nhất nhấp nháy tới hạn (CFF) của mắt, do đó mắt không phân giải được nhấp nháy. **Ngưỡng tần số cao** TMTF là nhấp nháy cao nhất có thể phân giải khi độ điều biến là 100%. *Khi bạn nghe nhắc đến CFF mà không nêu rõ với điều biến, bạn có thể cho rằng người ta đang nói đến ngưỡng tần số cao có độ điều biến 100%.* Ngưỡng tần số cao là do hạn chế ở tốc độ xử lí của hệ thần kinh.

Một nơ-ron có thể dẫn truyền và xử lí dữ liệu càng nhanh thì CFF của nó càng nhanh, và nó cũng sẽ phát hiện chuyển động tốt hơn. Dữ liệu từ các tế bào nón của võng mạc (nhìn ban ngày) được chuyển đến não qua 2 loại nơ-ron, **tế bào magno** và **tế bào parvo**. Các tế bào magno chủ yếu chuyển dữ liệu từ các tế bào nón ở chu vi, có sợi trục đường kính lớn hơn và dẫn truyền tín hiệu nhanh hơn các tế bào parvo. Do đó, hệ thống tế bào magno phát hiện chuyển động tốt hơn hệ thống tế bào parvo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004
- Hofstetter HW. **Dictionary of visual science and related clinical terms**. Butterworth-Heinemann. 2000
- Adler FH and Hart WM. **Adler's physiology of the eye. 9th Edition**. Mosby, St Louis. 1992