

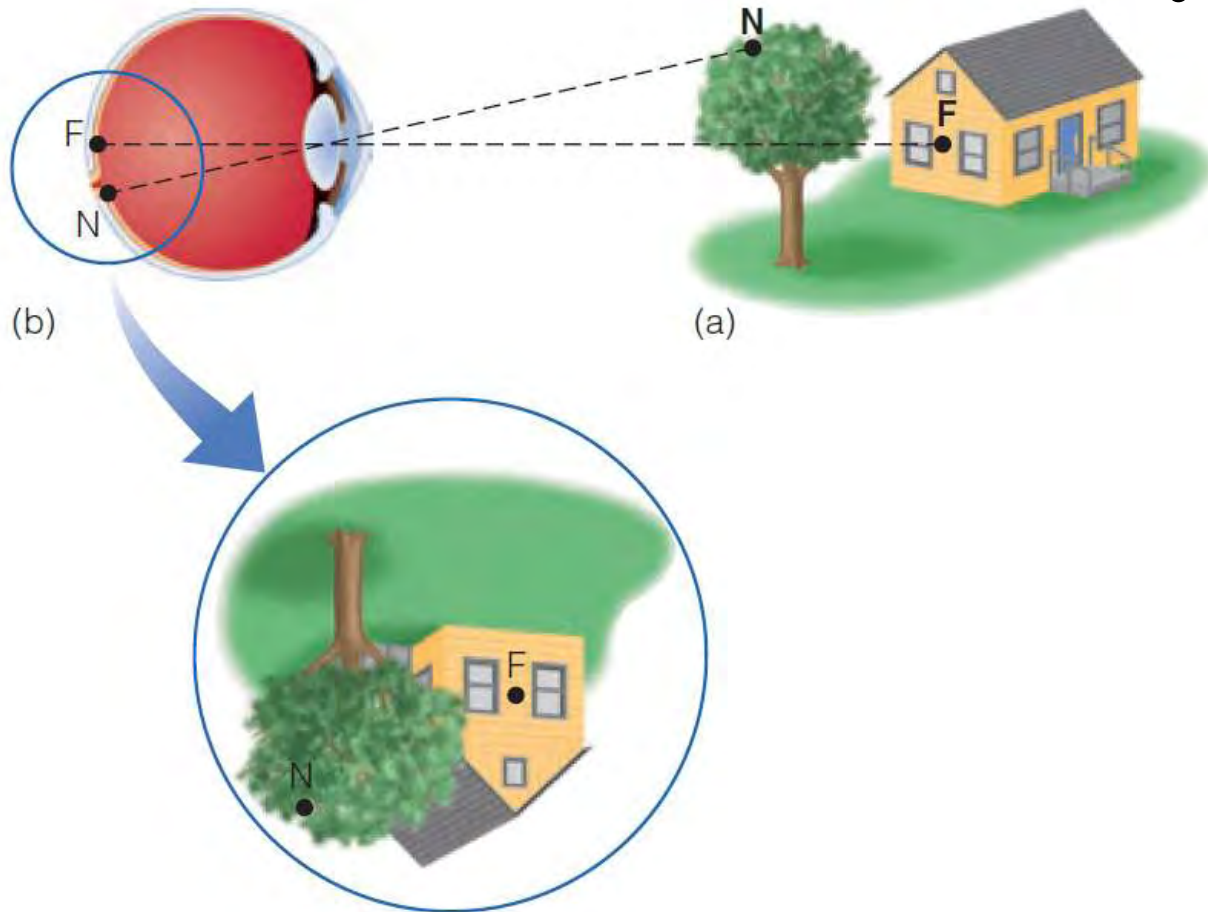
Wykład 12

Widzenie przestrzenne
i głębia ostrości widzenia

Widzenie głębi

- Jak możemy widzieć obraz trójwymiarowy bazując na płaskim obrazie na siatkówce?
- Dlaczego widzimy głębię lepiej dwójgiem oczu niż jednym?
- Dlaczego ludzie nie wydają się zmniejszać jak oddalają się od nas?

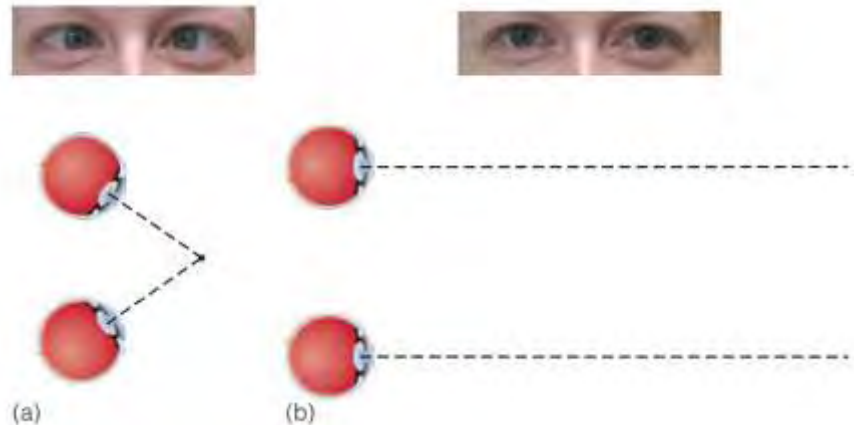
Płaski obraz na siatkówce



- Wskazówki głębi (np. przykrywanie)
 - Związane z ruchem gałek ocznych
 - Jednoczne
 - Dwuoczne

Wskazówki związane z ruchem gałek ocznych

- Oparte na tym, że czujemy napięcie mięśni oka
 - Zbieżność
 - Akomodacja
- Zbieżność, czujemy lepiej, więc jest silniejszą wskazówką głębi



Wskazówki jednooczne

- Działające w każdym oku oddzielnie
 - Adkomodacja
 - Wskazówki obrazowe
 - Wskazówki głębi, które mogą zostać wywnioskowane z interpretacji widzianej sceny
 - Ruch obiektów w polu widzenia
 - Wskazówki głębi, które mogą zostać wywnioskowane z ruchu obiektów w polu widzenia

Wskazówki obrazowe

- Przykrywanie
 - Przedmioty będące bliżej zazwyczaj częściowo zasłaniają te, będące dalej
 - Dają informację jedynie o odległościach względnych
 - wiemy że jeden obiekt jest za drugim, ale nie wiemy jak daleko

Wskazówki obrazowe

- Względna wysokość
 - Poniżej horyzontu obiekty bardziej odległe znajdują się wyżej w polu widzenia
 - Powyżej horyzontu (np. chmury) sytuacja się odwraca i obiekty dalekie znajdują się niżej
 - Ma to związek także z kierunkiem spojrzenia – jeśli patrzymy prosto przed siebie widzimy obiekty dalekie, jeśli spoglądamy w dół patrzymy na obiekty bliskie

Wskazówki obrazowe

- Względna wielkość
 - Jeśli obiekty są tej samej wielkości to im dalej się znajdują tym mniejszy obszar pola widzenia będą zajmować
 - Wskazówka ta wymaga wcześniejszej wiedzy o rzeczywistej wielkości obiektów
- Zbieżność perspektywy
 - Widząc dwie równoległe linie rozciągające się w dal odbieramy je jako zbiegające się (będące coraz bliżej siebie) wraz z rosnącą odległością

Wskazówki obrazowe

- Znana wielkość
 - Jeśli wiemy jakiej wielkością są obiekty, możemy wnioskować o ich odległości z ich rozmiarów kątowych w polu widzenia
 - Wskazówka dosyć słaba używana przy braku innych

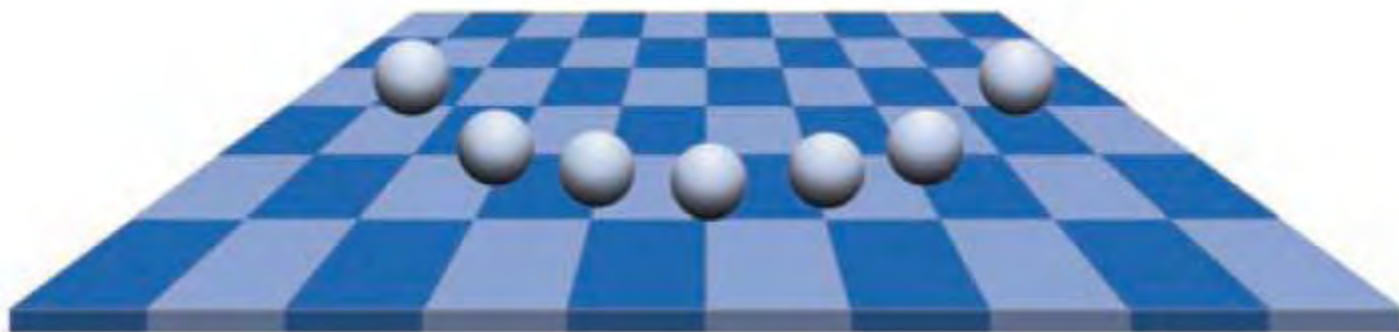


Wskazówki obrazowe

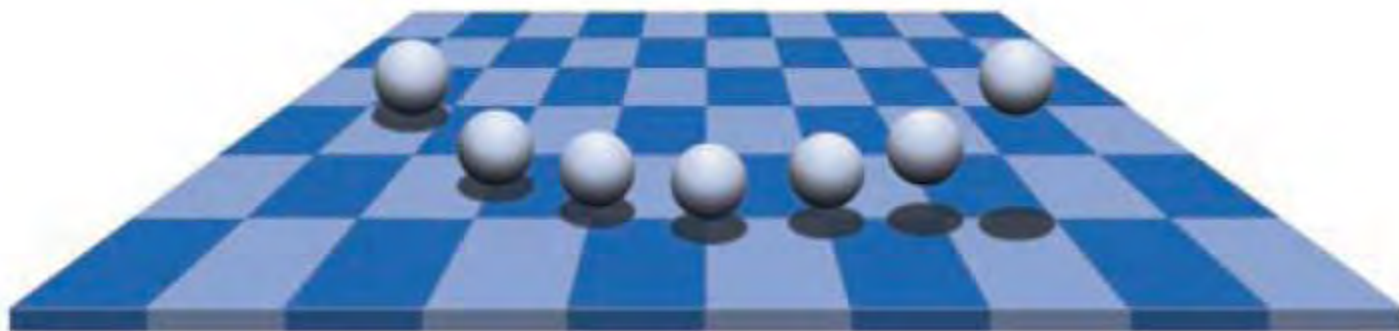
- Perspektywa atmosferyczna
 - Bardziej odległe obiekty stają się mniej wyraźne i doświadczają przesunięcia barwy ku niebieskiemu
 - Związane jest to niepełną przezroczystością atmosfery (kurz, kropelki wody, zanieczyszczenia)
 - W różnych częściach świata (i różnych przejrzystościach atmosfery) wskazówka ta może być różnie „wykalibrowana” w naszym mózgu

Wskazówki obrazowe

- Gradient tekstury
 - Przedmioty (elementy przedmiotów) które są równomiernie rozłożone w przestrzeni wydają się być gęściej upakowane w miarę wzrostu ich odległości
- Cienie
 - Cienie obiektów mogą zawierać informację o ich lokalizacji
 - Cienie także zwiększają „trójwymiarowość” obiektów



(a)



(b)

Bruce Goldstein



Bruce Goldstein

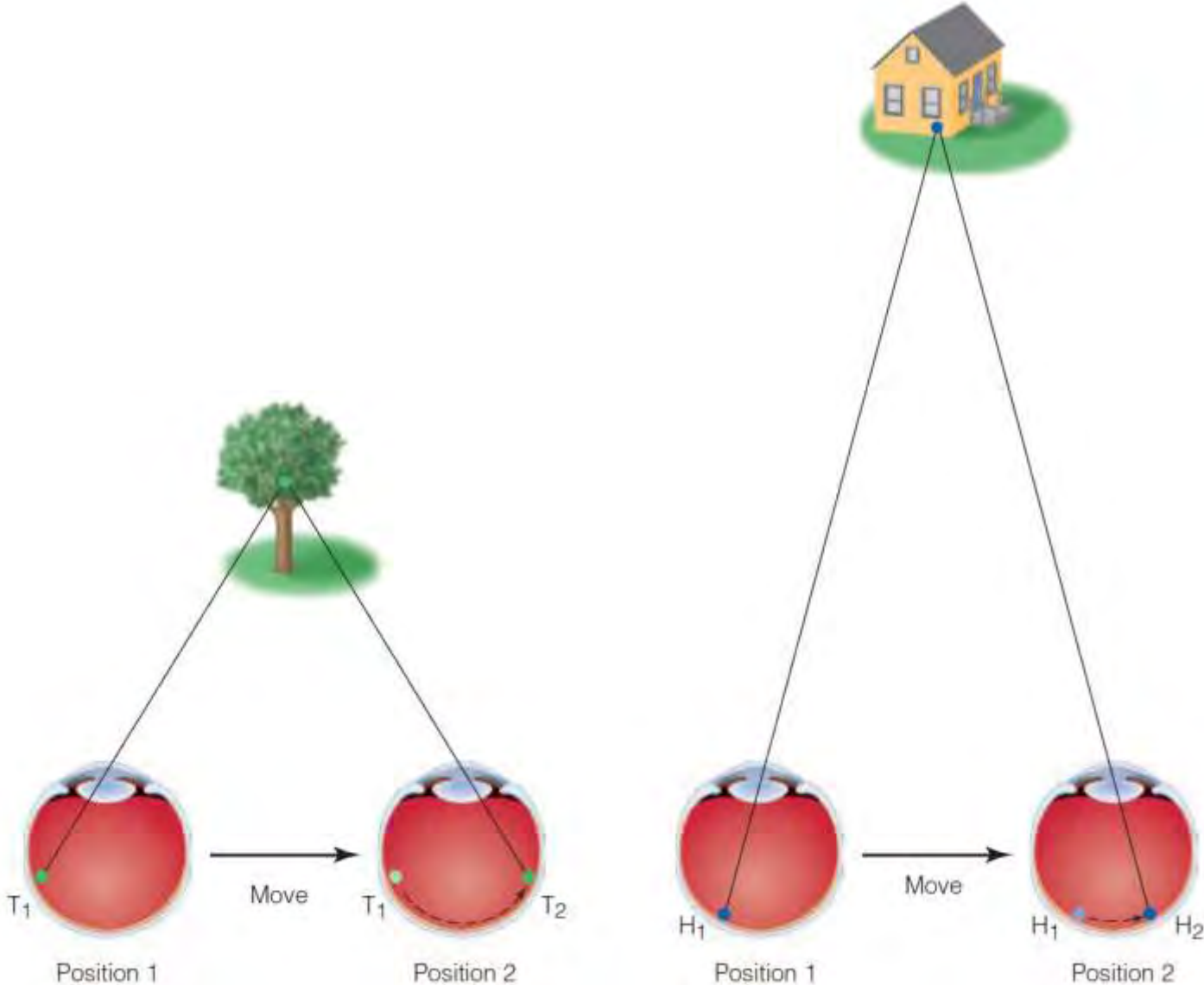




Wskazówki związane z ruchem przedmiotów w polu widzenia

- Paralaksa ruchu
 - Jeśli się poruszamy obiekty bliższe wydają nam się poruszać szybciej niż odległe
 - Wskazówka ta wynika z optyki i tworzenia obrazów na siatkówce (tj. z paralaksy)
 - Wskazówka paralaksy ruchu jest bardzo ważna w widzeniu niektórych zwierząt i kontekście systemów wizyjnych robotów, jest także podstawowym sposobem prezentacji głębi w kreskówkach

Paralaksa ruchu



Wskazówki związane z ruchem przedmiotów w polu widzenia



- Znikanie i pojawianie się
 - Jeśli przesuwamy dwie powierzchnie względem siebie (np. dłonie), różne części znikają się (poprzez przysłonięcie) a potem pojawiają dając wnioskować o względnej odległości powierzchni

Obszar skuteczności wskazówek jednoocznych

- Poniżej 2 metrów
 - Przykrywanie
 - Względna wielkość
 - Akomodacja i zbieżność oczu
 - Paralaksa ruchu
- 2-20 metrów
 - Przykrywanie
 - Względna wielkość
 - Paralaksa ruchu
 - Względna wysokość



Obszar skuteczności wskazówek jednoocznych

- Powyżej 20 metrów
 - Przykrywanie
 - Względna wielkość
 - Względna wysokość
 - Perspektywa atmosferyczna

Wskazówki obuoczne

- Różnice (disparities, niesparowania) obrazów siatkówkowych
 - Dla danej odległości fiksacji dla każdego punktu pola widzenia istnieje para punktów na siatkówce, które są ze sobą sprzężone
 - Zbiór wszystkich takich punktów to horopeter – powierzchnia wszystkich punktów poprawnego widzenia dla danej fiksacji

Wskazówki obuoczne

- Różnice (disparities, niesparowania) obrazów siatkówkowych
 - Punkty z innych odległości nie nakładają się na siebie (są niezbieżne) i jawią się jako podwójne. Kąt między ich obrazami nazywamy kątem niesparowania. Ich poprawne widzenie wymaga zmiany punktu fiksacji. Te różnice stanowią jednakże wskazówkę głębi.

Niesparowania

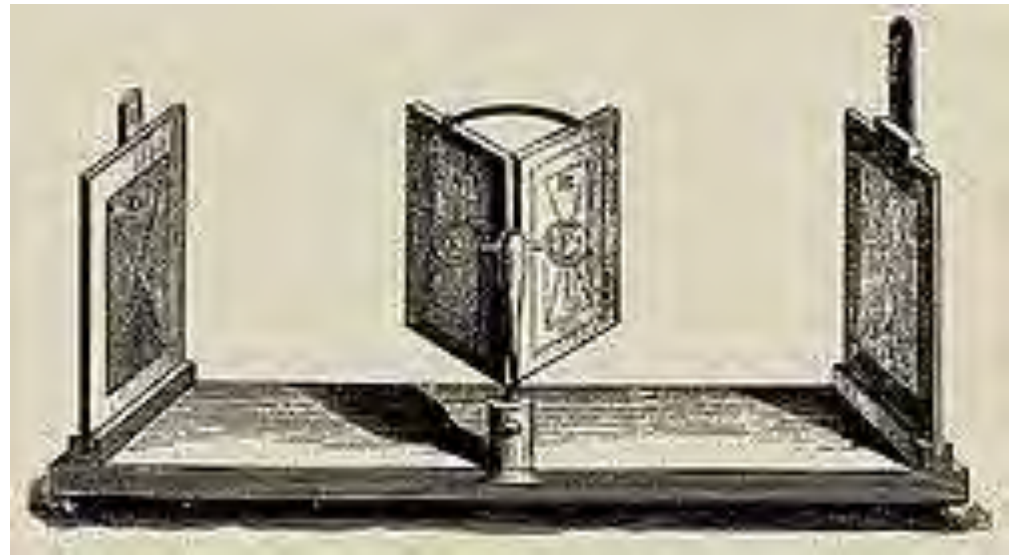
- Kąty niesparowania dla danej fiksacji są niewielkie (odległości widzenia zazwyczaj są dużo większe niż odległość między oczami)
- Ponieważ oko wykonuje średnio 3 fiksacje na sekundę ważne jest uwzględnienie względnych niesparowań (różnic położenia obrazów siatkówkowych) obiektów

Steroskopia



- Percepcja związana z niesparowaniem obrazów siatkówkowych nazywana jest stereoskopią (steropsis)
- Jest najsilniejsza wskazówka głębi

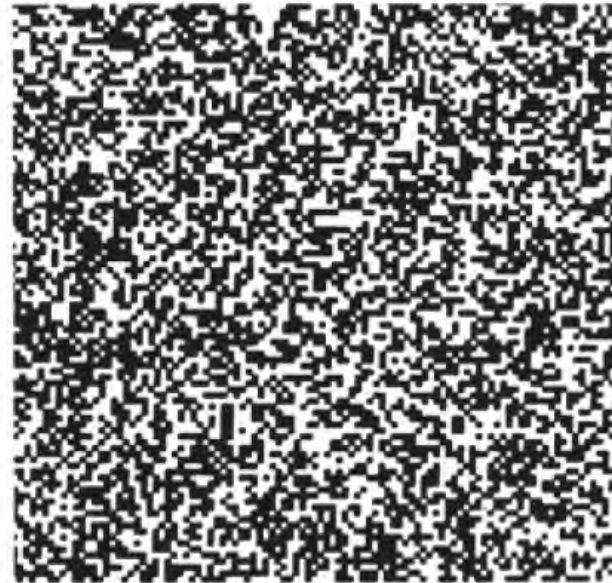
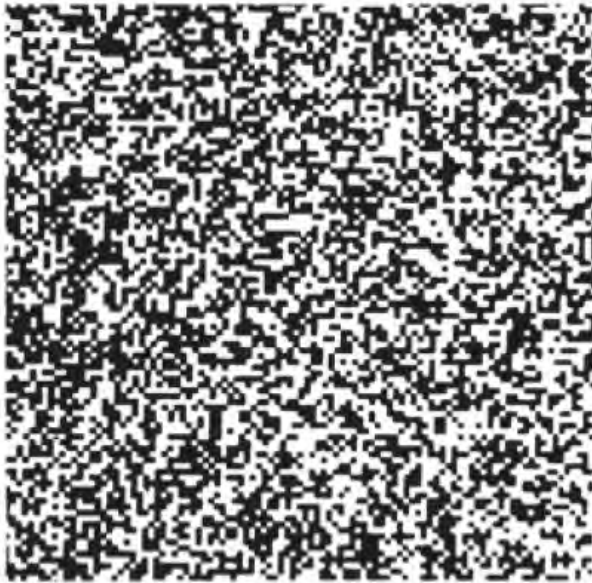
- Charles Wheatstone – stereoskop 1835



Stereogramy



- Bela Julesz w 1971 roku pokazał, że niesparowanie obrazów siatkówkowych wystarczy do percepcji głębi pokazując tzw. Stereogram punktów losowych
- Okazuje się, że samo widzenie stereoskopowe wystarczy do widzenia głębi. Nie potrzebna jest nawet interpretacja obrazu!



(a)

1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
0	1	0	A	A	B	B	1	0	1
1	1	1	B	A	B	A	0	0	1
0	0	1	A	A	B	A	0	1	0
1	1	1	B	B	A	B	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	1	1	1	1	0

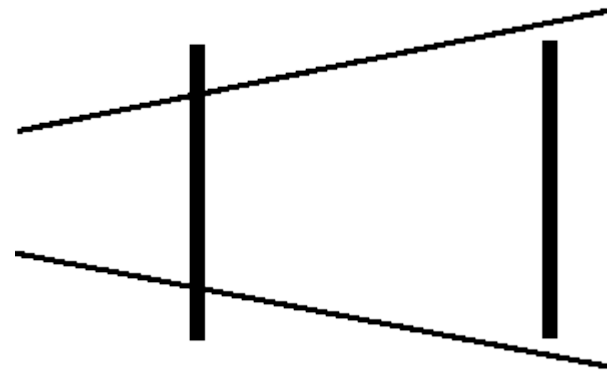
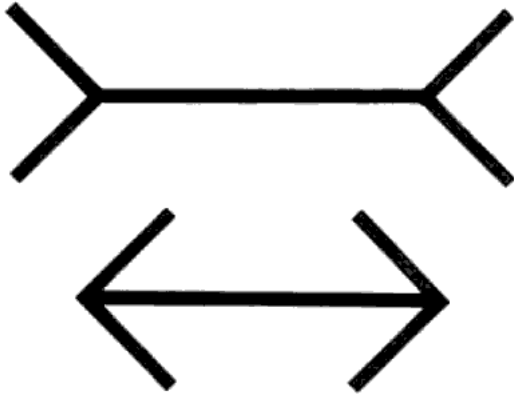
1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
0	1	0	Y	A	A	B	B	0	1
1	1	1	X	B	A	B	A	0	1
0	0	1	X	A	A	B	A	1	0
1	1	1	Y	B	B	A	B	0	1
1	0	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	1	1	1	1	0

(b)

Problem korespondencji

- W jaki sposób system wzrokowy łączy obrazy związane ze sobą (korespondujące) widziane obojgiem oczu?
 - Mózg interpretuje obiekty i przypisuje im obrazy w lewym i prawym oku?
 - Spróbujmy jednakże znaleźć różnice między obrazami stereogramu losowych punktów... ekstremalnie trudne, a jednak jeśli widzimy jednej obraz jednym okiem a drugi drugim, to efekt jest natychmiastowy –
 - Nie wiadomo do końca jak rozwiązać problem korespondencji!

przerwa



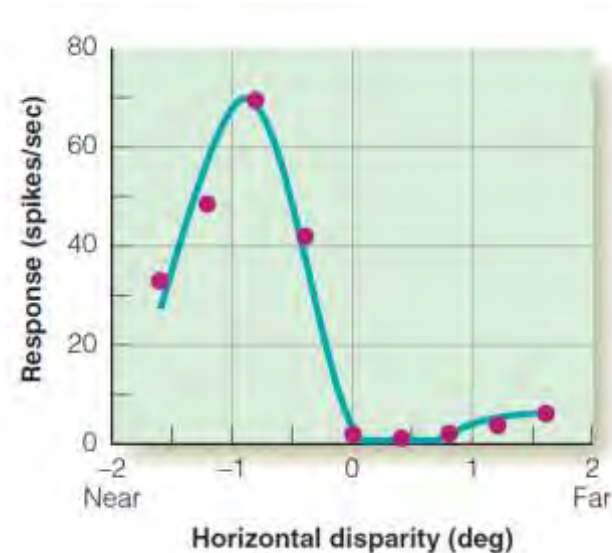
Wrażenie głębi

- Większość badań nad tworzeniem sygnałów nerwowych koncentruje się wokół problemu widzenia obuocznego
- Istnieją jednakże także ścieżki nerwowe formujące sygnały o wskazówkach obrazowych głębi
 - Część neuronów transmitujących informację o głębi wysyła sygnały także, gdy nie występują różnice w obrazach siatkówkowych ale w obrazie występują wskazówki co do głębi.



Sygnał o niesparowaniu

- W korze wzrokowej V1 występują komórki nerwowe, które reagują na konkretną wartość niesparowania bezwzględnego
- W dalszych obszarach kory wzrokowej znajdują się neurony reagujące na niesparowania względne

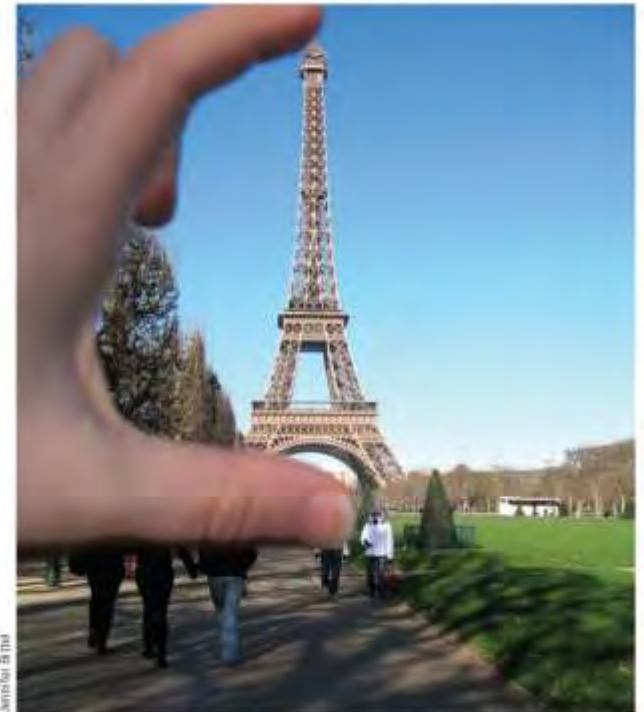


Widzenie przestrzenne a sygnał obuoczny

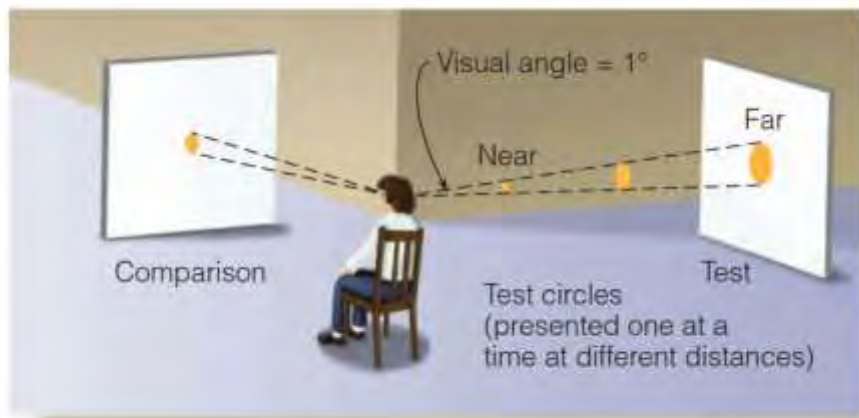
- Sam sygnał zależny od niesparowań nie stanowi jeszcze dowodu na tworzenie przez nie widzenia przestrzenne
- Eksperyment Randolpha Blake'a and Helmuta Hirscha na kotkach pokazał, że rzeczywiście tak jest

Wielkość obiektów a ich odległość

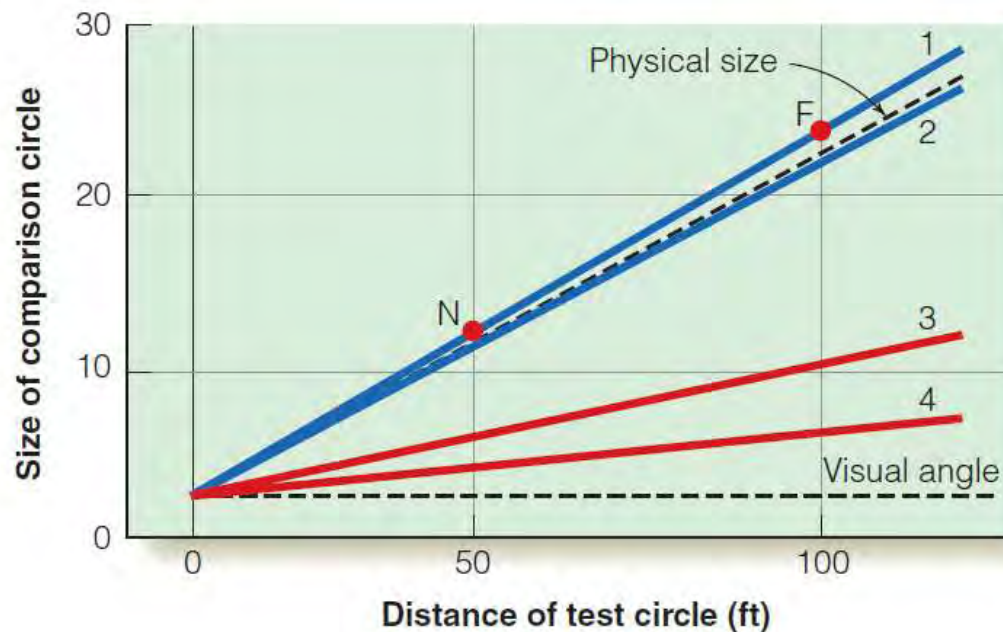
- Najlepszym parametrem do określenia bezwzględnej wielkości widzianych obiektów jest ich wielkość kątowna
 - Księżyc i Słońce mają wielkość kątowną $0,5^\circ$
 - Szerokość kciuka na wyciągniętej ręce ma wielkość kątowną 2°
- Percepcyjna wielkość liniowa jest zależna od kontekstu!



Eksperyment Holway'a i Boringa



- 1 – pełny widok
- 2 – jednoocznie
- 3 – przez mały otworek (bez paralaksy)
- 4 – bez cieni i odbić

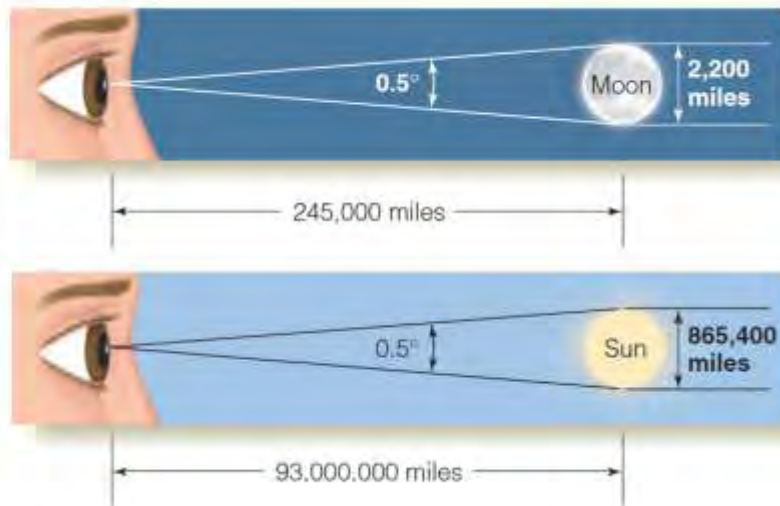


Percepcja wielkości

- Jeśli układ wzrokowy ma dobre informacje o głębi percepcja wielkości jest bliska rozmiarom liniowym → stałość wielkości
- Jeśli brakuje informacji o głębi percepcja wielkości bazuje na rozmiarach kątowych



Eclipse of the sun



Stałość wielkości

$$S = K(R \times D)$$

- S – wielkość percepcyjna przedmiotu
- K – stała
- R – wielkość liniowa obrazu na siatkówce
- D – odległość percepcyjna przedmiotu

Kontekst



Kontekst



Kontekst



Kontekst



Głębina ostrości

- W każdym obrazującym układzie optycznym maksymalna dokładność ogniskowania zależy od dokładności wykrywania niedoskonałości plamki ogniskowej
- Zakres odległości w których detektor nie jest w stanie wykryć zmian w jakości plamki ogniskowej nazywamy głębią ostrości
- Głębina ostrości jest związana z zakresem ruchu w płaszczyźnie przedmiotowej (depth-of-field) lub obrazowej (depth-of-focus). Nie są one równe.
- W optyce widzenia głębię ostrości wyrażamy w różnicach zbieżności (dioptriach), która jest tym samym w płaszczyźnie obrazowej i przedmiotowej

Głębina ostrości widzenia

- Jest to zakres błędów refrakcyjnych układu optycznego oka (zakres mocy) który nie powoduje zmian w jakości widzenia bez zmian stanu akomodacji
- Określa precyzję z jaką może być mierzona wada refrakcyjna oka przy użyciu metod subiektywnych
- Określa także zakres odległości które mogą być widziane ostro przy użyciu układów optycznych (np. lupy, mikroskopu)

Czynniki warunkujące DOF oka

- Głębina ostrości widzenia zależy od:
 - Właściwości układu optycznego oka
 - Wielkości źrenicy (co ma związek z innymi właściwościami optycznymi)
 - Stopnia akomodacji
 - Aberracji monochromatycznych i chromatycznych
 - Dyfrakcji
 - Właściwości przetwarzania sygnału w siatkówce i układzie nerwowym
 - Gęstość fotoreceptorów i komórek zwojowych
 - Progi jakości widzenia i widzenia kontrastu
 - Uszkodzeń wzrokowych ścieżek nerwowych
 - Właściwości przedmiotu
 - Luminancji
 - Szczegółów przestrzennych
 - Kontrastu
 - Profilu spektralnego (np. koloru)

Głębina ostrości układów optycznych a głębina ostrości widzenia

- W układach optycznych DOF opisywana jest często jako wielkość krążka rozmycia w stosunku do wielkości i gęstości fotoreceptorów
- Takie podejście nie uwzględnia sposobu przetwarzania sygnału wzrokowego (a często także dyfrakcji i aberracji) i opisuje głębiny ostrości widzenia w dużym przybliżeniu

Kryterium 1

- Zakres błędów ogniskowania dla których nie ma zauważalnego rozmycia widzenia celu
 - Mierzymy najbliższą i najdalszą odległość (w sensie zbieżności), która pozwala widzieć nierozmyty obraz
 - DOF maleje wraz z zwiększaniem źrenicy, zwiększaniem luminancji celu, korekcją podłużnych aberracji chromatycznych
 - DOF jest najmniejsza dla celów wielkości zbliżonej do progu jakości widzenia i rośnie powoli wraz ze zwiększaniem celu
 - DOF z zakresu $1,7D$ (źrenica 1 mm) do $0,3 D$ (źrenica 7 mm)

Kryterium 2

- Zakres błędów ogniskowania dla których jakość widzenia lub wrażliwość na kontrast nie spada poniżej określonego poziomu lub o więcej niż określoną ilość
- Uwzględnienie aberracji zwiększa DOF
- DOF maleje ze zwiększaniem źrenicy (lekko) i zmniejszaniem wielkości (zwiększaniem częstotliwości przestrzennej) celu.
- Luminancja 10 cm/m^2 :
 - 30 linii/° DOF=0D
 - 20 linii/° DOF=1D
 - 10 linii/° DOF=5D
- Zwiększenie jasności zwiększa DOF

Kryterium 3

- Zakres błędów ogniskowania dla którego zmiany w kontraście nie są wykrywane dla celu w podłużnym sinusoidalnym ruchu
 - Cel (najczęściej siatka) jest przysuwana i odsuwana od oka w ruchu sinusoidalnym. Amplituda ruchu jest zmieniana dopóki badany może znaleźć różnice w kontraście celu.
 - Typowa DOF dla optymalnego zogniskowania wynosi $0,6D$, zaś minimalna DOF jest równa $0,2D$

Kryterium 4

- Zakres błędów ogniskowania w którym wzór spekli laserowych wygląda na stacjonarny
 - Obracający się bęben od którego odbijane jest światło laserowe jest przesuwany w przód lub tył w takim zakresie w jakim badany nie jest w stanie zdeterminować kierunku ruchu spekli
 - Silna zależność od wielkości źrenicy

Kryterium 5

- Zakres błędów ogniskowania dla których stan akomodacji nie zmienia się
 - Odpowiedź układu akomodacji oka występuje już dla zmian odległości przedmiotu wielkości $0,1D$, nawet jeśli taka zmiana nie powoduje zauważalnego rozmycia

Kryterium 6

- Zakres błędów ogniskowania który pogarsza obraz na siatkówce poniżej określonego poziomu lub o więcej niż pewną ilość
 - Jakość może oznaczać odpowiedź impulsową (PSF) odpowiedź liniową (LSF), modulacyjną funkcję przenoszenia (MTF) lub wielkości pochodne takie jak np. szerokość połówkowa PSF
 - W badaniu stosuje się metodę podwójnego przejścia
 - Pomiędzy 4 mm a 6 mm DOF zwiększa się wraz z wzrostem rozmiaru źrenicy