

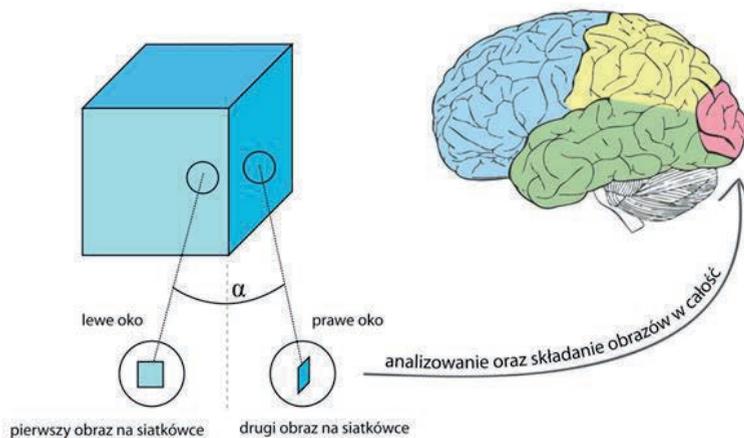
Jerzy Zieliński

Zobrazowanie 3D – techniczne i psychofizyczne uwarunkowania realizacji odbioru obrazu

Trójwymiarowe widzenie człowieka

Ssaki naczelnie (w tym człowiek) postrzegają obrazy przestrzenne dzięki widzeniu stereoskopowemu – czyli posiadają dwuoczną percepcję głębi obrazu oraz odległości. Dzięki temu ssaki z odpowiednio wykształconą korą wzrokową potrafią oceniać w sposób prawidłowy odległość od widzianych przedmiotów. Zdolność widzenia stereoskopowego jest cechą charakterystyczną i bardzo ważną dla wszystkich drapieżników.

W oczodołach człowieka umieszczone są gałki oczne skierowane w tym samym kierunku. Każde oko obserwuje obraz dwuwymiarowy będący „tymczasową fotografią” na siatkówce oka w części tylnej. Dwa obserwowane obrazy są nieco różne, ponieważ każde oko obserwuje obiekt pod nieco innym kątem. Na podstawie różnic w zarejestrowanych obrazach mózg w części kory wzrokowej tworzy informacje o odległości do obserwowanych obiektów oraz ich właściwościach. Następnie łączy dostarczane obrazy w jeden spójny obraz trójwymiarowy. Tak powstały obraz nazywa się obrazem cyklopowym, ponieważ jest odbierany tak, jak byłoby widoczny przez jedno „trójwymiarowe” oko [1].



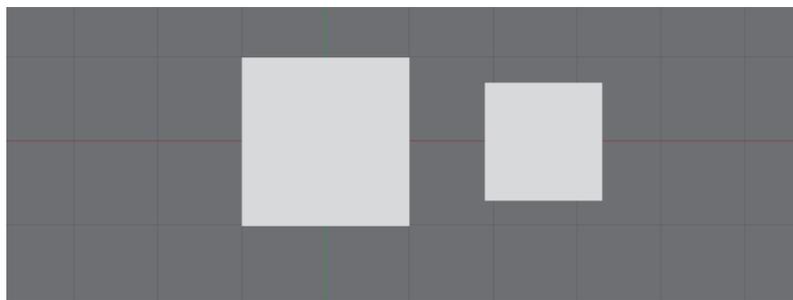
Rys. 1. Schemat odbierania i przetwarzania przez człowieka obrazów 3D

Kąt α pomiędzy obserwowanymi obrazami staje się tym mniejszy, im obiekt bardziej jest oddalony od oczu. Efekt trójwymiarowy zwiększa się bezpośrednio wraz ze wzrostem kąta α pomiędzy dwoma obrazami. I właśnie tę zdolność mózgu człowieka do przedstawiania obrazów trójwymiarowych wykorzystują współczesne systemy stereograficzne i kina trójwymiarowe.

Podsumowując: aby można było obserwować obraz trójwymiarowy, należy oglądać obiekt oboma oczami lub dostarczać każdemu oku osobny, nieco przekształcony obraz obserwowanego obiektu. W tym miejscu należy podkreślić, że osoby z uszkodzeniem wzroku, posiadające tylko jedno oko, mogą mieć problemy z oceną odległości pomiędzy obiektami, a co za tym idzie, mogą nie doświadczyć efektu trójwymiarowego.

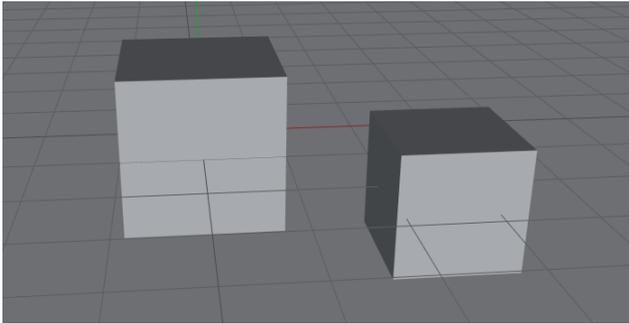
Jednym z czynników, który pozwala ocenić odległość od przedmiotu, jest percepcja głębi. Zdrowy człowiek automatycznie potrafi odpowiedzieć na pytanie związane z odległością od przedmiotu. Potrafi określić, który przedmiot jest bliżej, a który dalej. Kora wzrokowa analizuje otrzymane informacje, a jednoznacznie stwierdza i odpowiada na pytanie odnośnie odległości.

Spójrzmy na rys. 2. Na zaprezentowanym obrazie nie zostały zawarte informacje o głębi. W tym przypadku obserwator nie będzie w stanie określić odległości od przedmiotu. Jediną informacją użyteczną dla niego będą rozmiary przedmiotu – duże sprawiają wrażenie bliższych. Tak więc obserwator uzna, iż większy kwadrat jest bliżej niego.



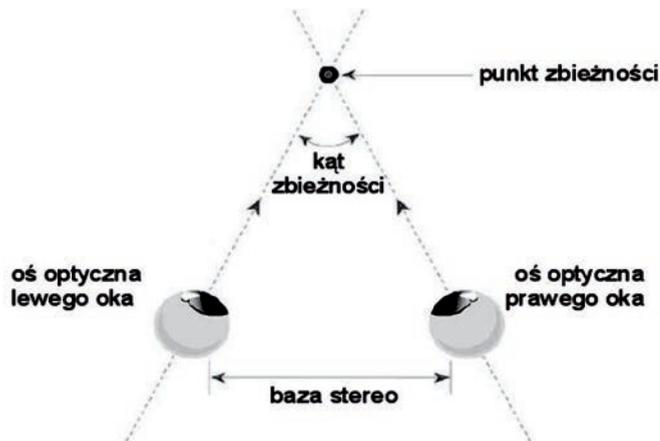
Rys. 2. Obiekty pozbawione informacji o głębi

W momencie dodania do obrazu informacji o głębi (rys. 3) obserwator bez trudu stwierdzi, iż mniejszy sześcian znajduje się bliżej niego.



Rys. 3. Obiekty w przestrzeni trójwymiarowej

Kolejną ważną zdolnością wzroku pomagającą określać percepcję głębi jest ostrość głębi, która jest definiowana jako pewien obszar przed i za obiektem obserwowanym, na którym została ustalona ostrość widzenia. Punkt, na którym wzrok ustali ostrość, nazywa się punktem zbieżnym. Obiekty znajdujące się przed oraz za punktem zbieżnym nie mają zachowanej ostrości widzenia, są w pewien sposób rozmyte. Dzięki percepcji głębi możemy w sposób dokładniejszy oceniać odległość od przedmiotów oraz obiektów.



Rys 4. Charakterystyka ludzkiego oka

Aktualnie dostępne systemy zobrazowań trójwymiarowych bazują właśnie na tych cechach naszego postrzegania świata, czyli oszukują nasz mózg w taki sposób, aby sumę dwóch obrazów płaskich odebrał jako obraz 3D.

Systemy zobrazowania trójwymiarowego

Podstawowym, a zarazem najstarszym znanym sposobem przedstawienia obrazów przestrzennych jest technika polegająca na łączeniu dwóch obrazów w ich stereopary. Technika ta nazywa się stereoskopią. Pierwszy stereoskop powstał w latach czterdziestych XIX wieku, skonstruowany przez brytyjskiego wynalazcę sir Charlesa Wheatstone’a.



Rys. 5. Ręczny stereoskop firmy Art Holmes, 1897

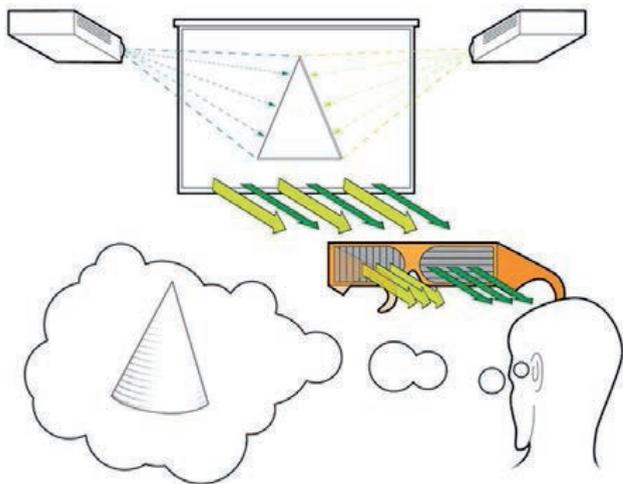
Dzisiaj, przy wykorzystaniu tych właściwości ludzkiego mózgu, „stereopary” są realizowane na drodze elektronicznej.

Poza jedyną w pełni trójwymiarową techniką zobrazowania – holografią – w urządzeniach powszechnego użytku i w większości profesjonalnych wykorzystuje się jedną z poniższych metod [2, 3].

Metoda obrazów spolaryzowanych

Metoda polega na przedstawieniu dwóch różnych obrazów o różnej perspektywie i polaryzacji na powierzchni ekranu. Specjalne okulary polaryzacyjne wpuszczają do prawego oka jeden konkretny rodzaj światła, odrzucając drugi, który trafia do lewego oka. Różne obrazy rejestrowane przez obserwatora zostają połączone w mózgu w jeden spójny trójwymiarowy obraz. Zasady obrazowania w technice migawkowej przedstawiono na rys. 6.

W nowoczesnych systemach wykorzystuje się ciekłokrystaliczne okulary migawkowe 3D. Podstawowym wymogiem prawidłowego działania okularów jest posiadanie monitora CRT lub LCD osiągającego odświeżanie ekranu na poziomie minimum 100 Hz (zalecany poziom 120 Hz).



Rys. 6. Schemat działania obrazowania metodą migawkową

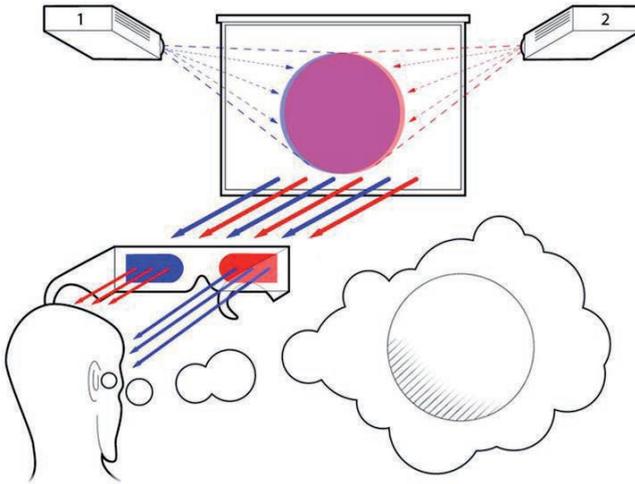
Metoda anaglifowa

Technika anaglifowa jest jedną ze starszych i masowo była stosowana w latach 50. dla realizacji czarno-białych filmów trójwymiarowych. Podstawą jej jest dostarczanie do lewego i prawego oka obrazów o innej barwie. Stąd typowe okulary do oglądania obrazów anaglifowych (rys. 7). Wprowadzenie filmu barwnego położyło kres masowemu wykorzystaniu tej techniki. Dziś dzięki komputerowym systemom przetwarzania obrazu – pozwalającym na nieznaczne przesunięcie dominanty barwnej dla oka lewego i prawego – prezentowana technika zyskuje popularność głównie dzięki bardzo prostym i tanim okularom.



Rys. 7. Okulary do oglądania obrazów anaglifowych

Zasady obrazowania anaglifowego zostały przedstawione na rys. 8.



Rys. 8. Technika anaglifowa

Technika anaglifowa polega na wyświetleniu dwóch różnych obrazów, innych dla każdego oka. Na rys. 8 projektor numer jeden wyświetla obraz piłki w kolorze niebieskim, przesunięty w stosunku do obrazu wyświetlanego przez projektor numer dwa, który wyświetla obraz w kolorze czerwonym. Wyświetlane obrazy mają nieco inną perspektywę. Użyte przez obserwatora okulary czerwono-cyjanowe (turkusowe) blokują konkretną warstwę obrazu, przez co każde oko widzi nieco inny obraz. Mózg obserwatora, dzięki swojej zdolności, łączy oba obrazy. Dzięki takiemu połączeniu uzyskuje się jednolity obraz przestrzenny. Nowoczesne systemy komputerowe potrafią generować w czasie rzeczywistym obrazy anaglifowe. Wykorzystują do tego celu odpowiedni algorytm, który przesuwa generowany obraz oraz aplikuje dominantę czerwoną lub niebieską. Poniżej przedstawiono przykłady zdjęć wykonanych w technice anaglifowej.

Do zalet techniki anaglifowej zaliczyć można łatwość wykonania obrazów anaglifowych oraz niską cenę okularów filtrujących. Niska cena okularów anaglifowych związana jest z ich stosunkowo prostą budową. W okularach może być zastosowana zwykła folia zabarwiona na odpowiedni kolor (czerwony i cyjanowy).

Wadami powyższej techniki jest nieznaczne zubożenie wyświetlanych kolorów oraz nieodwzorowanie przestrzennych szczegółów.

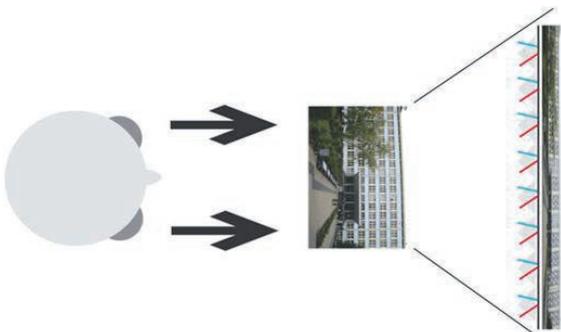


Rys. 9. Przykład zdjęć wykonanych w technice anaglifowej

Metoda soczewkowa – autostereoskopia

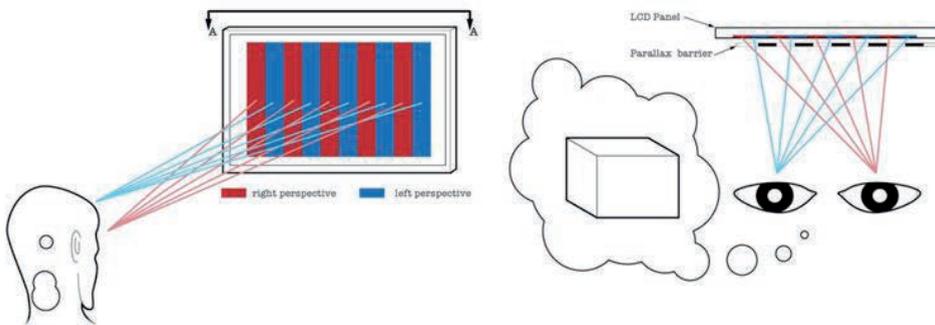
Metoda ta jest praktycznie jedyną umożliwiającą oglądanie obrazów 3D bez specjalnych okularów. Polega na wykorzystaniu folii lentikularnej, czyli tak zwanej folii soczewkowej. Folia zbudowana jest z przezroczystego tworzywa sztucznego, najczęściej polimetakrylanu metylu, pokrytego z jednej strony gładką powierzchnią, a z drugiej strony folii są wytłoczone soczewki lub pryzmaty liniowe. Opisana folia jest wykorzystywana w technice druku soczewkowego, który umożliwia uzyskanie trójwymiarowych lub animowanych obrazów na płaskiej powierzchni. Oglądanie takich obrazów nie wymaga użycia żadnych przyrządów.

Zasady działania metody soczewkowej przedstawiono na rys. 10 [4, 5]:



Rys. 10. Zasady działania metody soczewkowej

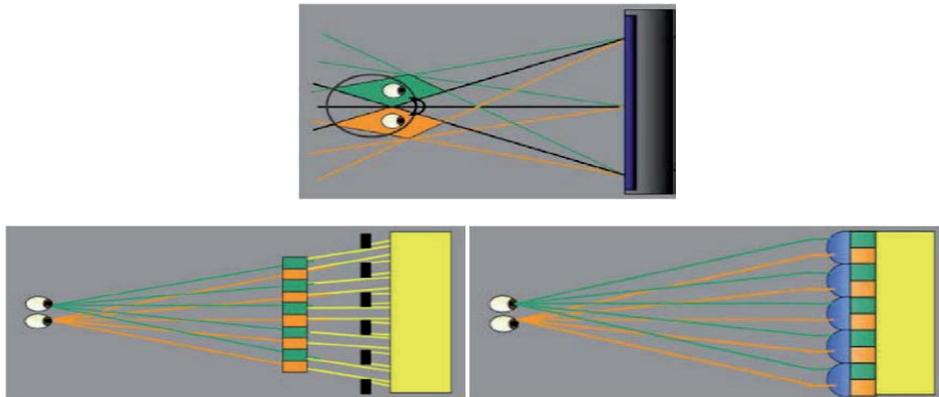
Dwa lub więcej półobrazów stereoskopowych przeznaczonych dla obojga oczu zostaje nałożonych na papier na przemian w formie pasków mikroskopijnej szerokości. Na powstałą powierzchnię nakłada się folię lentikularną z odpowiednimi cylindrycznymi soczewkami wypukłymi. Nałożona folia sprawia, że do oczu obserwatora dociera widok tylko niektórych pasków obrazu – prawe oko widzi prawy półobraz, a lewe oko widzi lewy półobraz. Powstaje obraz trójwymiarowy. W przypadku większej liczby obrazów pośrednich, oglądanych pod zmiennym kątem, można uzyskać doskonalszy efekt złudzenia trójwymiarowego.



Rys. 11. Zasada odbioru obrazu lentikularnego

Technika stereogramów soczewkowych została opatentowana przez F.E. Ivesa w roku 1903 w Londynie pod nazwą „Parallax – Stereogram”. Na masową skalę metoda powyższa została wykorzystana dopiero w latach sześćdziesiątych XX wieku.

Technika druku soczewkowego początkowo wykorzystywana do tworzenia kartek pocztowych, okładek książek oraz czasopism, puzzli oraz innych podobnych przedmiotów, z powodzeniem została przystosowana do prezentacji 3D obrazów telewizyjnych (rys. 12).



Rys. 12. Wykorzystanie metody barier i soczewkowej we współczesnych systemach zobrazowania (jasny prostokąt symbolizuje ekran LCD)

Wadą tych systemów jest konieczność obserwowania obrazu ze ściśle określonego miejsca (pod ściśle określonym kątem) oraz dwukrotne zmniejszenie rozdzielczości kolumnowej.

Zdrowotny aspekt obrazowania trójwymiarowego

Telewizja oraz systemy obrazowania trójwymiarowego powoli zyskują coraz większą popularność. Pojawiają się coraz to nowsze i bardziej zaawansowane ekrany 3D. A dostępne dla powszechnego odbiorcy telewizory tanieją. W Polsce są już do kupienia za około 3000 zł. Jednak to masowe upowszechnienie pokazało drugi, mniej korzystny aspekt wykorzystania monitorów 3D przez osoby nieprzygotowane. Podstawą problemów jest fakt, że systemy te bazują na oszukiwaniu naszego mózgu – organu bardzo ważnego i delikatnego.

Po boomie na rynku nowych telewizorów 3D na przełomie lat 2009/2010 jeden z największych producentów sprzętu elektronicznego, firma Samsung, w informacjach na stronie internetowej dla klientów australijskich ostrzega przed niekorzystnymi – dla niektórych odbiorców – skutkami oglądania obrazów 3D na monitorach tejże firmy. Firma wyszczególnia potencjalnie negatywne skutki oglądania telewizji 3D. Do głównych zaburzeń związanych z korzystaniem z trybu 3D należą między innymi: napady padaczkowe oraz udar mózgu spowodowany migotaniem obrazu. Firma podkreśla, iż rodziny, w których występował wcześniej udar mózgu lub napady padaczki, powinny przed korzystaniem z trybu trójwymiarowego skonsultować się ze specjalistą, aby określić potencjalne ryzyko dla zdrowia.

Samsung przestrzega również przed oglądaniem telewizji trójwymiarowej odbiorców będących w złej kondycji fizycznej podczas długotrwałej bezsenności. Równocześnie podkreśla, iż oglądanie telewizji trójwymiarowej przez dłuższy czas nawet przez osoby zupełnie zdrowe może spowodować pogorszenie wzroku, ból, zawroty głowy oraz zmęczenie.

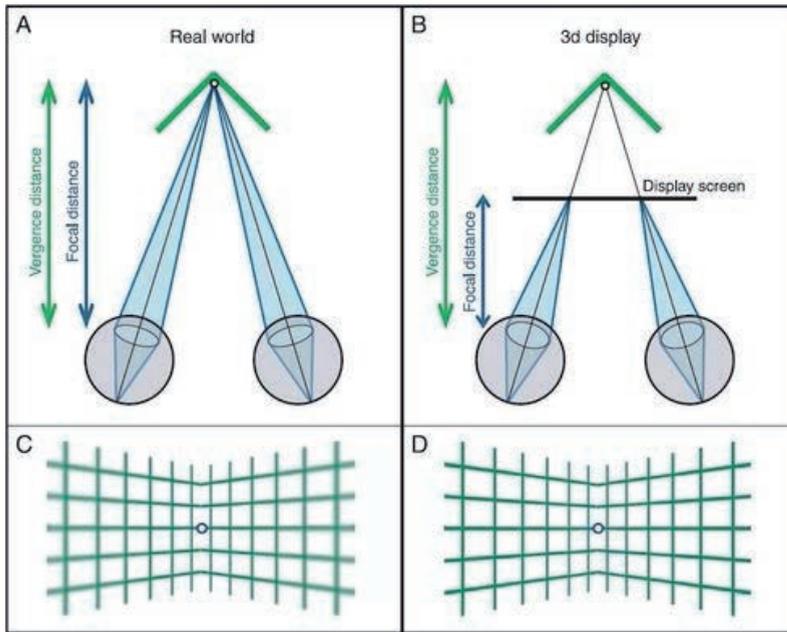
W informacji dla klienta Samsung określa również optymalne dla zdrowia warunki dla oglądania telewizji w trybie 3D. Odległość widza od ekranu powinna wynosić:

$$\text{odległość (m)} \geq \text{przekątna ekranu} \times 3$$

A oczy widza powinny być na wysokości ekranu.

W dokumencie na stronie internetowej Samsung ostrzega również przed korzystaniem z telewizorów w trybie 3D w pobliżu otwartej klatki schodowej, balkonu lub innych otwartych przestrzeni na wysokości. Według specjalistów obraz w trybie 3D może bowiem spowodować krótkotrwałą dezorientację, utratę poczucia przestrzeni.

Jest jeszcze za wcześnie, aby ocenić sensowność dokumentu przedstawionego przez firmę Samsung. Ale obserwacje pierwszych prób kształcenia pilotów – czyli ludzi zupełnie zdrowych, odpornych na trudy fizyczne i psychiczne – wykazywały wzrost zachorowań na epilepsję. Tak więc pojawienie się tego dokumentu może też być związane z działalnością asekuracyjną firmy (ewentualne konsekwencje prawne).

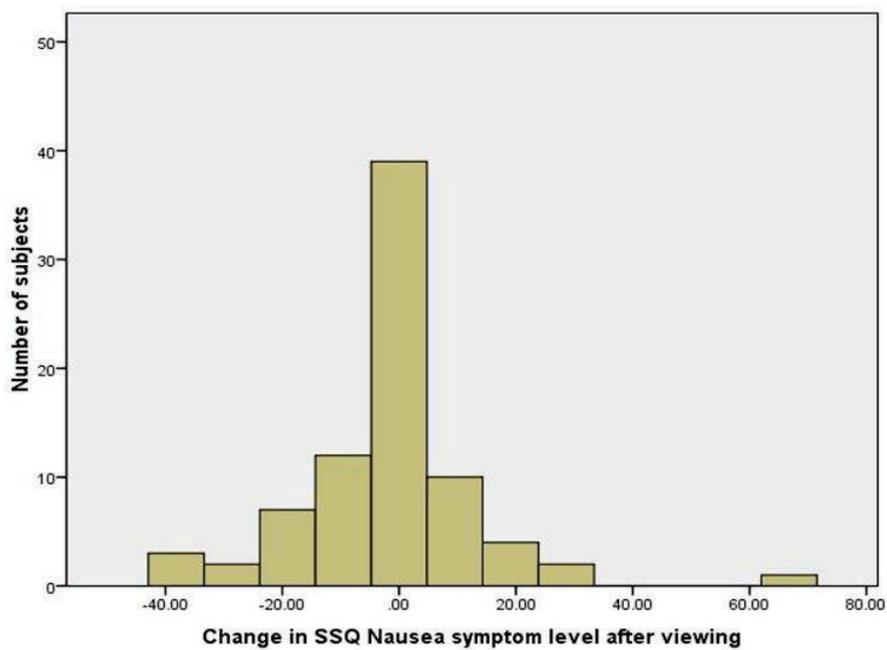
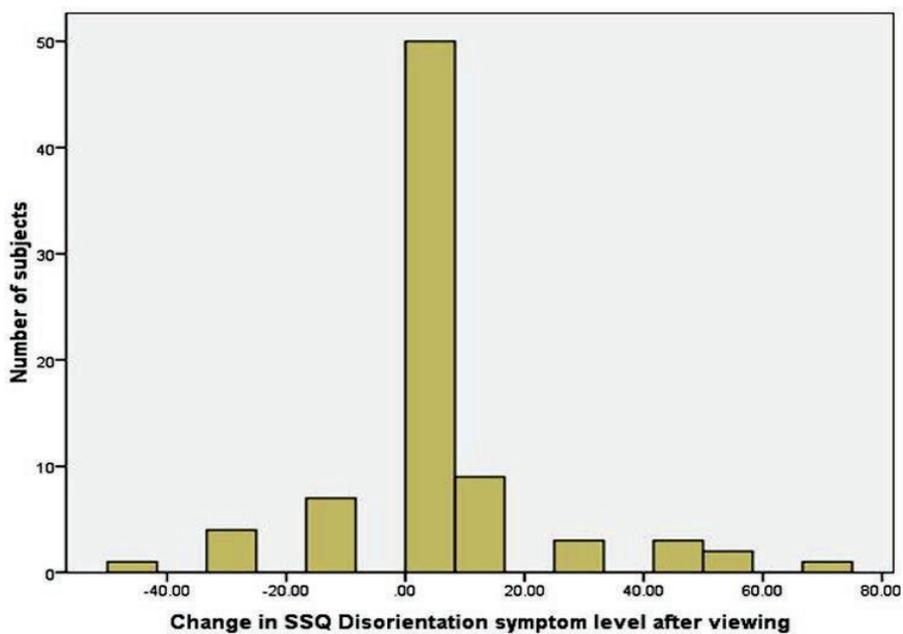


Rys. 13. Postrzeganie obiektów trójwymiarowych w rzeczywistości oraz na ekranie

Przyczyny opisanych zaburzeń są wytłumaczalne. Aby oglądający mógł ocenić głębie obserwowanej sceny, jego mózg wykorzystuje nie tylko dwa obrazy zarejestrowane przez dwoje oczu. Niezgodność zarejestrowanych obrazów jest podstawowym czynnikiem pozwalającym widzowi uzyskać informacje o rejestrowanej głębokości obrazu [6, 7].

Kiedy oglądany jest obraz trójwymiarowy na ekranie, oczy widza muszą się skupiać na powierzchni roboczej ekranu, mimo iż prawdziwy punkt skupienia wzroku znajduje się poza ekranem. Wynikająca stąd rozbieżność punktu skupienia może prowadzić do podrażnienia aparatu mięśniowego gałki ocznej. Również ostrość obiektów na scenie trójwymiarowej nie jest taka sama jak w rzeczywistości. Oczy widza w przeciwieństwie do rzeczywistego obrazu nie nastawiają się, to znaczy ruchowi oczu nie towarzyszy akomodacja, ponieważ nie występuje już taki jak w typowym postrzeganiu związek między ostrością szczegółów a oddalaniem się obiektów. Z takim efektem mózg osoby postrzegającej obraz 3D radzi sobie, oddzielając akomodację od ruchu gałek ocznych. Właśnie w ten sposób powstaje uczucie dyskomfortu oraz zmęczenia podczas projekcji obrazów trójwymiarowych.

W niektórych przypadkach mózg odbiorcy może przyzwyczajać się do odseparowania ostrości i akomodacji oraz do różnicowania płaszczyzn skupienia wzroku. U odbiorcy mogą występować wtedy problemy z postrzeganiem w realnym życiu informacji o charakterze przestrzennym. Inaczej mówiąc, odbiorca może mieć problem z postrzeganiem obiektów w rzeczywistości.



Rys. 14. Wpływ oglądania obrazów 3D na objawy dezorientacji przestrzennej, mdłości [8]

Zwykle w większości przypadków problem z postrzeganiem mija po kilku minutach. Istnieje również pogląd mówiący o długotrwałych konsekwencjach w postrzeganiu u dzieci. Mark Pesce twierdzi, iż długotrwały kontakt dzieci z wirtualną rozrywką, w szczególności z systemami projekcji 3D, powoduje trwałe uszkodzenie układu nerwowego. Według niego młodzież w Stanach Zjednoczonych, która według statystyk najintensywniej obcuje z wirtualnym światem, już dzisiaj cierpi na wszelkie problemy pogarszającej się orientacji przestrzennej (rys. 14).

Podsumowanie

Jak widać z tego krótkiego przedstawienia problemu, systemy trójwymiarowe znajdują coraz większe zastosowanie w systemach dostępnych dla przeciętnego „Kowalskiego”, ale jednocześnie odbiorca ten, nie rozumiejąc zasad fizycznych realizacji zobrazenia 3D, nie zawsze jest w stanie zapobiec negatywnym skutkom takiej prezentacji. Oglądanie obrazów 3D jest szczególnie szkodliwe dla dzieci i osób starszych. Ważnym czynnikiem jest również czas spędzany przed monitorem, im jest on dłuższy, tym skutki zdrowotne mogą być poważniejsze.

Ale te problemy nie mogą przystąpić ogromnego zakresu profesjonalnych zastosowań takich systemów. Zastosowań, od których zależy tempo rozwoju techniki, medycyny czy nowych technik dydaktycznych. Jednak te wszystkie zastosowania muszą być oparte na jasnych instrukcjach korzystania z systemów 3D przez ich odbiorców.

Literatura

- [1] Gregory R.L., *Oko i mózg: psychologia widzenia*, PWN, Warszawa 1971.
- [2] *3D TV Industry Trend and Market Forecast* – DisplayBank Special Report May 2010.
- [3] Shou-Qian Ding, *The Development of 3D Imaging*, Proceedings of the 7th Asian Symposium on Information Display (ASID'02).
- [4] Wu-Li Chen, Chao-Hsu Tsai, Chang-Shuo Wu, Chang-Ying Chen, Shu-Chuan Cheng, *A high-resolution autostereoscopic display system with a wide viewing angle using an LCOS projector array*, Journal of SID, 2010, 18/9, p. 647.
- [5] Yi-Pai Huang, Lin-Yao Liao, Chih-Wei Chen, *2-D/3-D switchable autostereoscopic display with multi-electrically driven liquid-crystal (MeD-LC) lenses*, Journal of SID, 2010, 18/9, p. 642.
- [6] Munekazu Date, Yasuko Andoh, Hideaki Takada, Yoshimitsu Ohtani, Norihiko Matsuura, *Depth reproducibility of multiview depth-fused 3-D display*, Journal of SID, 2010, 18/7, p. 470.
- [6] Youngmin Kim, Jae-Hyun Jung, Keehoon Hong, Gilbae Park, and ByoungHo Lee, *Accommodation Response in Viewing Integral Imaging*, SID 10 Digest, 2010, 530.
- [7] Pölonen M., Salmimaa M., Aaltonen V., Häkkinen J., Takatalo J., *Subjective measures of presence and discomfort in viewers of color-separation-based stereoscopic cinema*, Journal of SID 17/5, p. 459, 2009.

3D Imaging – The Technical Conditions of Implementation and Psychophysical Image Reception

Abstract

Spatial vision is a natural way of perceiving of the surrounding world. It thus comes as natural that only few people ponder on why we see three-dimensional images. On the other hand, the flatness of the photographic images is usually perceived as a result of presentation of the image on a plane. And only the film "Avatar" showed that the world projected onto the plane of the screen can be perceived as three-dimensional. This caused a huge public demand for three-dimensional imaging systems. At the same time, 3D televisions have become cheaper so that they have become available to the average customer.

Of course, this condition applies to the entire civilized world. At the same time we can see problems known since the first immersive training systems for pilots – not every customer tolerates well three-dimensional images produced by means of the available systems.

Therefore, the present paper makes an attempt to look at the currently available 3D systems from the point of view of their possible impact on the health of the recipient. At the same time the widespread use of these systems results in significant qualitative changes in the receipt of information by man (doctor, surveyor, architect, biologist and crystallographer).

Key words: 3D imaging

Jerzy Zieliński
Instytut Techniki
Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN
ul. Podchorążych 2
30-084 Kraków, Polska