

# System śledzenia punktu fiksacji wzroku na monitorze komputera

Bartosz Kunka

Katedra Systemów Multimedialnych  
Politechnika Gdańska

## Eye tracking

**Definicja:**

zespół metod i technik badawczych, przeznaczonych do pomiaru, rejestracji i analizy danych o położeniu i ruchach gałek ocznych

***in brevi:***

śledzenie ruchów i położenia gałek ocznych za pomocą specjalistycznych urządzeń

2

## Ruchy oczu

- **FIKSACJA** – stan względnego spoczynku (patrzenie w konkretnym kierunku i/lub skupienie wzroku na konkretnym obiekcie)  
Podczas fiksacji zachodzi pobieranie informacji wzrokowej z otoczenia. Czas trwania na ogół waha się w granicach od ok. 0,15s do 1,5s
- **SAKKADA** – bardzo szybki, skokowy ruch zmiany położenia gałki ocznej, pomiędzy kolejnymi fiksacjami; sakkady – mimowolne ruchy oka, które wykonywane są podczas obserwowania obiektów

3

## Eye tracking – historia

- **Pierwsze badanie**  
przeprowadzono już ponad 100 lat temu  
– konieczność bezpośredniego mechanicznego kontaktu z rogówką oka (bardzo inwazyjne)
- **Badanie w kontekście interakcji człowieka z maszyną**  
pierwsze takie badanie można przypisać Fittsowi, Jonesowi i Miltonowi, którzy w roku 1950 analizowali zachowanie się pilota w kokpicie samolotu

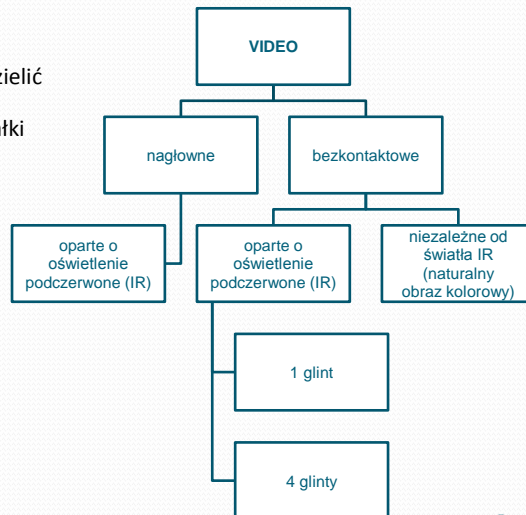
4

## Podział systemów ET

Systemy eye trackingowe można podzielić ze względu na rodzaj sygnałów, używanych do analizy położenia gałki ocznej:

- mechaniczne, elektryczne, fotoelektryczne, magnetoelektryczne, video

Obecnie najczęściej spotykane są eye trackery oparte na przetwarzaniu **obrazu video**



5

## Systemy ET nagłowne

- System jest montowany na głowie użytkownika na specjalnym diademie lub kasku
- Składa się z 3 kamer, umieszczonych: naprzeciw oka lewego, prawego oraz na czole; kamera na czole (ang. *scene camera*) rejestruje obraz sceny, na którą patrzy użytkownik
- Umożliwia śledzenie miejsc (punktów) w przestrzeni, na których użytkownik skupia swój wzrok
- Przykładowy system komercyjny: *EyeLink II*



6

# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Cel stosowania światła podczerwonego:

- większy kontrast pomiędzy tęczówką a źrenicą



- stosuje się dwie grupy diód IR: świecące na i poza osią kamery
- **diody na osi kamery** są odpowiedzialne za efekt jasnej źrenicy (ang. *bright-eye effect*)



7

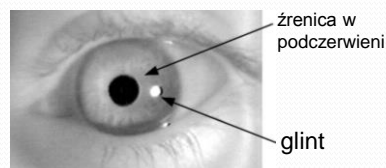
# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

- **diody poza osią kamery** – za charakterystyczny błysk, zwany **glintem**, który jest wynikiem odbić światła podczerwonego na powierzchni rogówki;

Glint nazywany jest także pierwszym obrazem Purkinjego; jego istotną cechą jest to, że nie zmienia swego położenia wraz z ruchami gałki ocznej – dlatego uważany jest za punkt referencyjny

Niestety glint przestaje być stabilnym punktem odniesienia w przypadku ruchów głową



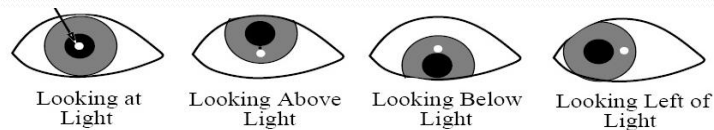
8

# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Ogólna zasada działania systemu:

- glint (lub glinty) jest punktem referencyjnym
- punktem zmieniającym swe położenie wraz z ruchem gałki ocznej jest środek źrenicy
- analiza wzajemnego położenia glinta (glintów) i środka źrenicy pozwala wyznaczyć punkt fiksacji wzroku na monitorze komputera



9

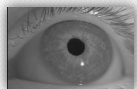
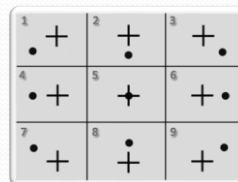
# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Metody wyznaczania punktu fiksacji:

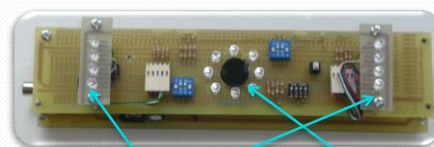
### 1. Metoda 1 glinta

- Punkt fiksacji wzroku może być wyznaczony w oparciu o proste relacje pomiędzy glintem a środkiem źrenicy (jak pokazano na rysunku obok – dla systemu rozróżniającego 9 pól na ekranie)



Konfiguracja sprzętowa:

2 sekcje diód poza osią kamery (LEDs off camera axis) tworzą na rogówce oka jeden glint



LEDs off camera axis

LEDs on camera axis

10

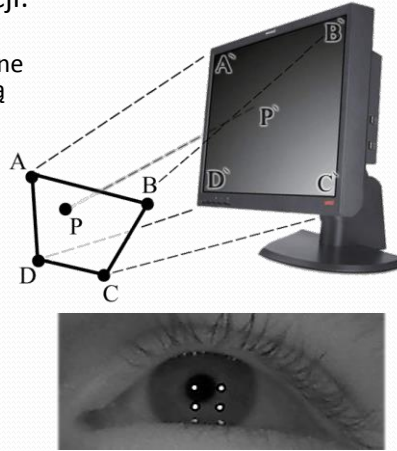
# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Metody wyznaczania punktu fiksacji:

### 2. Metoda 4 gliniów

- diody poza osią kamery są umieszczone w rogach ekranu, a ich odbicia tworzą na rogówce czworokąt
- punkt fiksacji wzroku może być wyznaczony w oparciu o proste relacje pomiędzy gliniami a środkiem źrenicy lub przy zastosowaniu skomplikowanych przekształceń matematycznych, poprawiających dokładność wyznaczenia punktu fiksacji



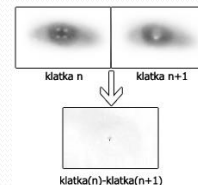
11

# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Możliwe podejścia przetwarzania obrazów wejściowych:

- Obraz różnicowy (ang. *difference image*)
  - obraz różnicowy jest wynikowym obrazem różnicy dwóch kolejnych klatek, przy czym jedna klatka zawiera efekt jasnej źrenicy (obraz twarzy oświetlonej tylko przez diody leżące na osi kamery), a druga zawiera efekt ciemnej źrenicy i glini leżące na źrenicy i tęczówce (obraz twarzy oświetlonej tylko przez diody leżące poza osią kamery)
  - aby uzyskać sekwencję następujących po sobie klatek z jasną i ciemną źrenicą, konieczna jest synchronizacja pomiędzy przechwytywaniem obrazu przez kamerę a zapalaniem odpowiednich sekcji diód – obsługę synchronizacji może zapewnić port LPT
  - w idealnym przypadku zbinaryzowany obraz różnicowy powinien zawierać jedynie obszary źrenic



12

# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Możliwe podejścia przetwarzania obrazów wejściowych:

- Jeden obraz
  - procesowi przetwarzania poddawany jest jeden obraz (każda klatka wejściowa) – twarz użytkownika oświetlona jest jednocześnie przez diody na osi i poza osią kamery
  - zaletą tego podejścia jest brak konieczności stosowania synchronizacji (brak problemów z portem LPT i niestabilnością pracy na różnych platformach sprzętowych)
  - dodatkowym atutem jest dwukrotne zwiększenie liczby klatek, wykorzystywanych do analizy, czyli dwukrotne zwiększenie rozdzielczości czasowej systemu

### Uwaga!

Prezentowany obraz jest tylko fragmentem obrazu wykorzystywanego w procesie przetwarzania



13

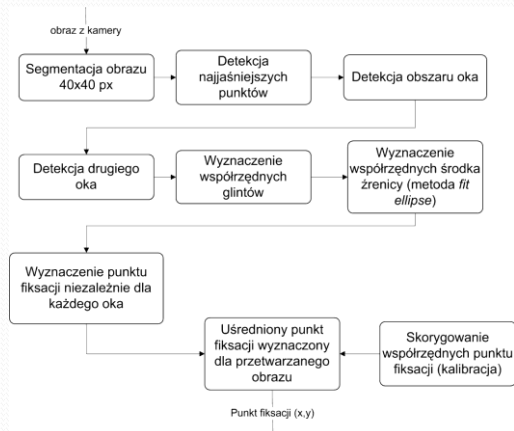
# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Możliwe podejścia przetwarzania obrazów wejściowych:

- Jeden obraz

Schemat algorytmu  
wyznaczenia  
punktu fiksacji



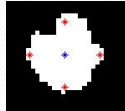
14

# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy oparte o oświetlenie podczerwone (IR)

Metody wyznaczania środka źrenicy:

- obszar źrenicy jest znajdowany po zbinaryzowaniu obrazu pewnym progiem
- możliwe metody wyznaczania środka źrenicy:
  - środek geometryczny – zazwyczaj obarczona dużym błędem
  - środek ciężkości figury
  - projekcja horyzontalna i wertykalna – metoda może być wykorzystywana w obrazach z pełną informacją (pojedyncze klatki, obrazy nie różnicowe)
  - **opisanie elipsą** (*ang. fit ellipse*) – w porównaniu z pozostałymi najdokładniej wyznacza środek źrenicy (środek źrenicy jest punktem przecięcia się dwóch średnic elipsy)

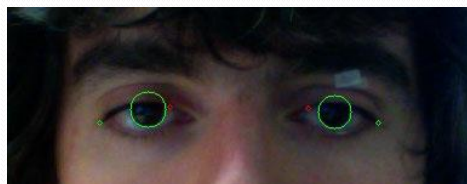
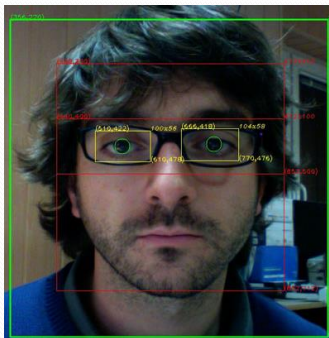


15

# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy niezależne od światła IR

- istnieją systemy eye trackingowe, które nie korzystają z dodatkowego oświetlenia IR – umożliwiają śledzenie ruchów gałek ocznych za pomocą zwykłej kamery internetowej, dzięki przetwarzaniu naturalnego obrazu kolorowego
- wadą tych systemów jest mniejsza dokładność i konieczność stosowania złożonych algorytmów (większe zapotrzebowanie na moce obliczeniowe komputera)



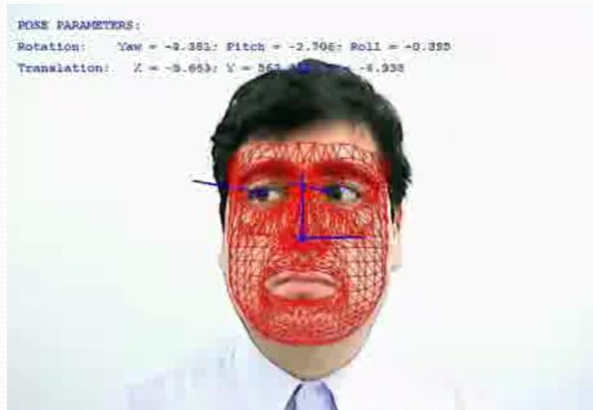
Prezentowane zdjęcia są wynikiem działania aplikacji, opracowywanej w KSM

16



# Systemy ET bezkontaktowe

## Systemy niezależne od światła IR



17

# Komercyjne systemy ET (bezkontaktowe)

*Tobii TX300*



*SMI RED500*



*Eyefollower 2.0*



*Lenovo (we współpracy z Tobii)*



18

## Systemy ET na urządzeniach mobilnych

### Senseye

- zastosowanie specjalnej podstawki z dedykowaną kamerą i oświetlaczem IR



19

## System ET stworzony w KSM

### Specyfikacja systemu:

- oświetlenie IR, długość fali: ok. 800nm
- metoda 4 glintów (5 sekcji diod: na osi kamery i w rogach ekranu)
- zmodyfikowana kamera USB: usunięty filtr IR, dodany filtr pasmowo-przepustowy, obiektyw o ogniskowej 12mm
- rozdzielczość obrazu: 1600x1200
- framerate: 5 kl./s = rozdzielczość czasowa: **5 Hz** (200 ms)
- współpracuje z różnymi monitorami (4:3 i panoramiczne)
- rozdzielczość kątowa systemu: **3,3°**
- 2 wersje systemu: ze statyczną kamerą, z obrotową kamerą (śledzącą użytkownika)

20

## System ET stworzony w KSM

Prototyp systemu ET ze statyczną kamerą



Prototyp systemu ET z ruchomą kamerą



21

## System ET (KSM) w aplikacjach

### 1. Badanie koncentracji uwagi

Aplikacja śledzi koncentrację uwagi dzieci, wykonujących określone zadania, wymagające od nich skupienia uwagi.

Umożliwia także sprawdzenie, w które części ekranu dziecko patrzyło najczęściej – w tym celu tworzone są tzw. „heat mapy”, czyli rozkład punktów fiksacji na wybranych elementach obrazu w czasie trwania badania.



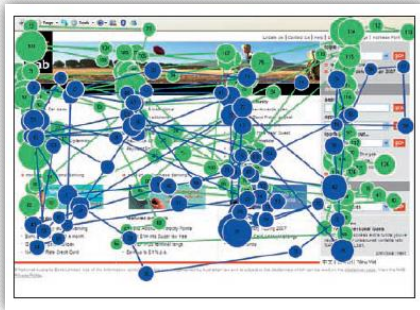
*heat map* –  
mapa ciepła

22

# Zastosowania ET w przemyśle

## 2. Badanie użyteczności i funkcjonalności stron internetowych

mapa przejść (ang. *gaze plot*)



mapa ciepła (ang. *heat map*)



23

# Zastosowania ET w przemyśle

## 3. Badania marketingowe

(np. badanie które produkty na półce sklepowej najbardziej przykuwają uwagę klientów)

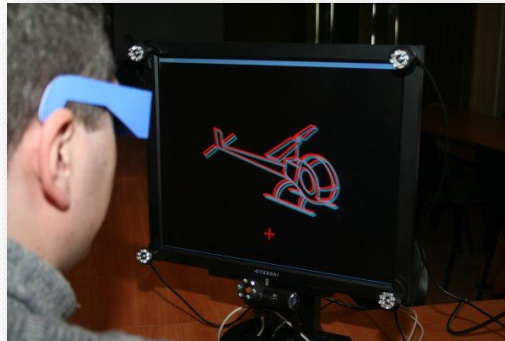


24

## System ET (KSM) w aplikacjach

### 4. Medycyna (okulistyka)

Badanie i trening widzenia obuocznego, w szczególności zezą i amblyopii (syndromu „leniwego oka”)



25

## System ET (KSM) w aplikacjach

### 5. Sterowanie aplikacjami w celu komunikowania się ze światem

Aplikacja *Piktogramy* umożliwia wybór kategorii związanych z prostymi czynnościami życia codziennego, tj. np. *Chce mi się jeść*, *Źle się czuję* etc.

*Wirtualna Klawiatura* umożliwia wprowadzanie dowolnego tekstu za pomocą wzroku.

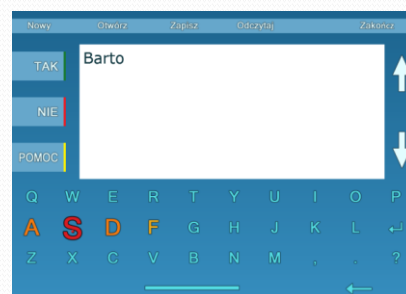
Z aplikacjami współpracuje syntetyzer mowy, który odczytuje komunikaty.

Jest przeznaczona głównie dla osób sparaliżowanych, które nie mogą mówić i ruszać rękoma.

Piktogramy



Wirtualna Klawiatura



26

## System ET (KSM) w aplikacjach

### 6. Neuropsychologia

Badanie stopnia świadomości pacjentów w stanie minimalnej świadomości (zdiagnozowanych jako pacjenci w stanie wegetatywnym)

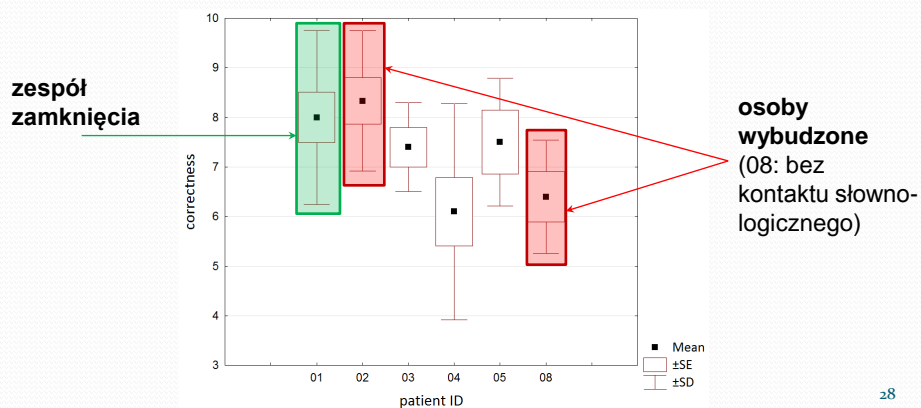


27

## System ET (KSM) w aplikacjach

### 6. Neuropsychologia – wyniki badania świadomości

poprawność wykonania zadań (opartych na ocenie funkcji poznawczych pacjentów) z wykorzystaniem Cyber-Oka



28