

(MEMS) Inteligentné senzory a aktuátory

Prednáška 3: ľudské zmysly ako sensorové systémy

Senzor

LAT sentire – vnímať, cítiť, hmatať, pociťovať

GB Sensor, detector
 DE Sensor, (Messgrößen-)Aufnehmer, (Mess-)Fühler
 FR Capteur
 PL Czujnik
 HU Érzékelő
 UA Давач [davač]
 RU Датчик [datčik]
 CZ Senzor, čidlo, snímač

Zdroj informácií pre riadiaci systém (napr. mozog) v užšom slova zmysle technické zariadenie (prvok), ktoré meria určitú fyzikálnu alebo technickú veličinu a prevádza ju na signál, ktorý je možné prenášať a ďalej spracovávať v meracích a riadiacich systémoch. Najčastejšie ide o elektrický signál.



Senzory a človek

- Chuť
- Čuch
- Hmat
- Sluch
- Zrak



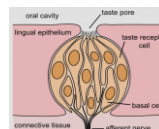
Chuť

kvapalinová chemická analýza

sladká → glukóza a org. molekuly
 sweet 3,42 g

slaná → Na⁺ a ďalšie ióny soli
 salty 0,58 g

umami → glutaman a aminokyseliny
 うま味 0,10 g



Chuť

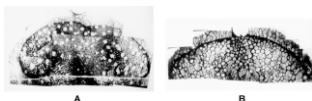
len rozpustné látky

kyslá → hydrogénonové ióny (kyseliny)
 sour 0,033 g

horká → hydroxylové ióny (zásady)
 bitter 0,000 000 8 g

vápniková (calcium), kovová, tuková (fatty)
 štipľavosť → bolesť, nie chuť

Človek má 500 – 10 000 receptorov



Jazyk (orgán)

chrbát, hrot, okraj, koreň
 najviac pohárkov je priamo na sliznici jazyka
 aj v ústnej dutine či hornej časti hltana
 v priemere od 2000 do 8000
 pokrytý viacvrstvovým dlaždicovým epitelom



Ľudské zmysly – čuch

Dušan Bako, 2023

Senzory pachu slúžia na detekciu vôní a zápachov v okolitom prostredí. Existuje niekoľko rôznych typov senzorov pachu všeobecne - zachytáva molekuly vôní a zápachov v ovzduší (analyt). Tieto molekuly potom spôsobujú zmenu elektrickej vodivosti alebo ine fyzikálne zmeny v senzore, ktoré senzor potom prevádza na signál. Každý typ senzora má svoje výhody a nevýhody a voľba senzora závisí od konkrétneho použitia a látok, ktoré majú byť detegované.

Typy senzorov

- Polymérové senzory
- Senzory kovových oxidov
- Senzory na báze kvapaliny
- Senzory na báze kryštálov
- Senzory na báze biologických enzýmov
- Senzory na báze biosenzorov



Figaro TGS2603
5V
1 až 10 ppm
Meria látky znečisťujúce ovzdušie a zatuchlé potraviny

Porovnanie s ľudským čuchom

- Citlivosť
- Rýchlosť detekcie
- Špecifickosť
- Rozmanitosť
- Spolupráca s inými zmyslami



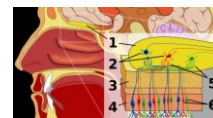
Ľudský čuch – viac pachov, spolupráca s inými zmyslami
Čuchové senzory – špecializované, citlivejšie, v nebezpečných alebo neprístupných prostrediach

Čuch

plynová chemická analýza

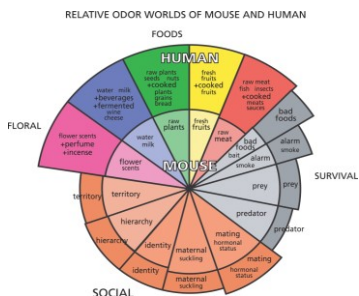
Skupiny:

- kvetinový
 - ovocný
 - živočíšny
 - hnilobný
 - korenistý
 - spáleninový
- cca 50 čistých pachov
40 – 50 miliónov individuálnych receptorov
500 – 1000 rôznych typov



Human olfactory system: 1: Olfactory bulb
2: Mitral cells 3: Bone 4: Nasal epithelium 5: Glomerulus (olfaction) 6: Olfactory receptor cells

Mozog dokáže rozlíšiť
3 – 10 tisíc rôznych pachov



Hmat

Jakub Petřík, 2023

- Tlak – rozpoznanie tvrdosti objektu – tvrdým/mäkký
- Teplota – teplota objektu – studený/teplý
- Dotyk – rozlišovanie druhov materiálov a textúr
 - vieme merať pomocou tlaku, teploty, vibrácií
- Bolesť – pocit pálenia, svrbenia alebo tlaku
 - subjektívny pocit, neexistuje presný senzor na jej meranie

2023

Ľudské zmysly - HMAT

12

Hmatové vnímanie teploty

Teplé/studené

- Nepresnosť (vlhkosť, teplota vzduchu a kože)

TEPLOTNÝ SENZOR

Presnejšie a konzistentnejšie

Typy teplotných senzorov:

- **Termočlánky** – najpoužívajevšie, spoľahlivé. Od -200°C do 1750°C
- **Termistory** – menia svoj odpor v závislosti od teploty, lacné a dostupné. Od -80°C do 150°C
- **RTD senzory** – senzor s odporovým teplomerným článkom, veľmi presné. Od -200°C do 1730°C
- **Temporary** – na základe rozdielu teplôt medzi dvomi termočlánkami. Od -200°C do 2300°C
- **Infráčervené senzory** – meranie pomocou infráčerveného žiarenia, ktoré vyžarujú objekty. Od -50°C do 3000°C

2023

Ludské zmysly - HMAT

13

Senzor MLX90614

- Bezkontaktný teplomer
- Meria IR žiarenie z objektov
- Využíva v medicínskych zariadeniach, automobilovom priemysle, meraní teploty v priemyselných procesoch a pod.
- Rozsah od -70°C do 382°C
- Presnosť 0.5°C
- Dva meracie senzory:
 - teplota objektu
 - teplota okolitého prostredia



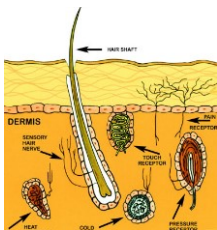
2023

Ludské zmysly - HMAT

14

Hmat

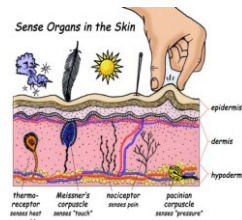
- Bolesť Nociception
- Teplota Thermoception
- Rovnováha Equilibrioception
- Mechanoreception
 - tlak
 - vibrácie
- Proprioception



Hmat

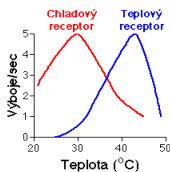
Súhrn viacerých:

- teplota
 - chlad
 - teplo
- dotyk → tlak
- bolesť
- poloha



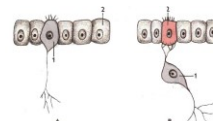
Hmat: Teplo

- **Termoregulácia** nie je presne jasné, čo je regulovaná veličina (kombinácia teploty mozgu a tela, obsah tepla?)
- Reakcia na ZMENU teploty o 0,1°C
- Teplotný registruje nárast (30 – 43°C)
- Chladový registruje pokles (35 – 15°C)



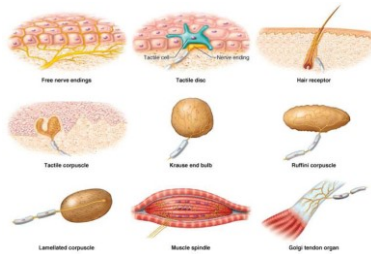
Hmat: Bolesť

- Voľné nervové zakončenia
- 10 ks / cm² lýtko
 300 ks / cm² temeno
 aj vnútrotelesové



Obj. 41. Typy senzitivných buniek. A - axony, tvorené k porušeniu, reprezentujú periférne zakončenia buniek typu A-delta (senzorická). B - axony, tvorené k porušeniu, predstavujú periférne zakončenia buniek typu C (senzorická). 1 - axon, 2 - epitelová bunka prenášajúca vzrušenie buniek. Orig.

Hmat: Tlak



Hmat: Dotyk mechanoreceptory

povrchové

1. hmatové chlpy cicavcov (pili tactiles) - napr. okolo úst
2. hmatové pierka vtákov (vibrissae)
3. Meisnerove telieska - v zamsi (chodidla, diane)
4. Grandryho telieska - plazy, vtaky (podnebie, jazyk, okolie zobaka)
5. Herbstove telieska (zobak a okolie, ustna dutina vtakov)
6. Brownove a hogganove telieska (tlapy medvedov)
7. Merkelove terčiky (rypák osipanej)

hĺbkové hmatové telieska

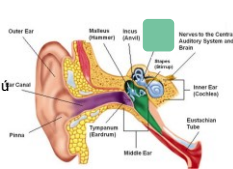
8. Vater-Pacciniho telieska - v zamsi, v svalových pošvach, uponoch, okostica, ochrupkovic, väzivove obaly všetkych vnútornych orgánov
9. svalové vretienka (pozmenene väkna priečne pruh. Svaloviny), registrujú zmeny v natiahnutí svalu
10. šľachové telieska - votné nervové zakončenia v mieste, kde sa šľacha spája so svalom

Statokinetický orgán

Uložené sú v labyrinte skalnej kosti lebky

Sú to zmyslové bunky, ktorých vlásoky vyčnievajú do polkruhových kanálikov kinetického receptora

Sú dráždené prúdením endolymfy pri rotačných pohyboch hlavy - zmenách uhlového zrýchlenia

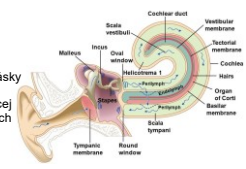


Statický receptor

Nachádza sa vo vajcovitom guľovitom vaku

Tvorí ho nahromadené zmyslové bunky, ktorých vlásoky sú čiastočne ponorené do rôsolovitej hmoty obsahujúcej drobné kryštáliky minerálnych soľí.

Pri zmenách polohy hlavy vznikajú zmeny tlaku a ľahu kryštálikov na vlásoky.

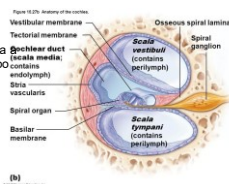


Kinetický receptor

Kinetický a statický receptor pracujú ako celok

Udržanie vzpriameného postoja rovnováhy už v pokoji alebo v pohybe

Subjektívne vnímanie polohy hlavy a ich zmien sa uskutočňuje v spánkovom laloku mozgovj kôry

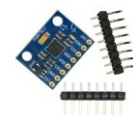


Paralelizmus

Paralelu k statokinetickému receptoru je vo svete techniky gyroskop

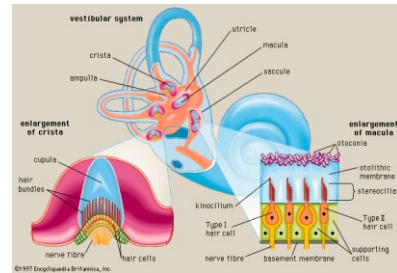
Sleduje sa zmena kapacity kondenzátorov

Obsahuje aj akcelerometer

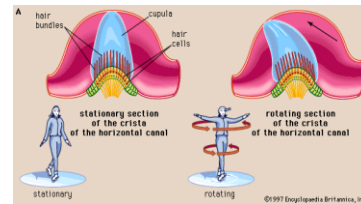
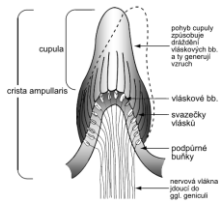


Poloha

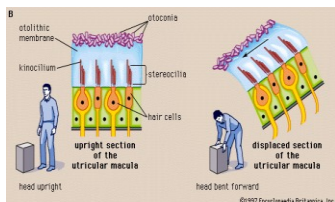
- Statokinetický orgán
- 3 navzájom kolmé kanáliky registrujú uhlové/rotačné zrýchlenie navzájem v zrkadlovom postavení
- horizontálne vzruchy
- vertikálne vzruchy (výťah) abnormálne



Vestibulárny systém

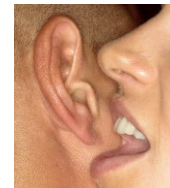


Poloha



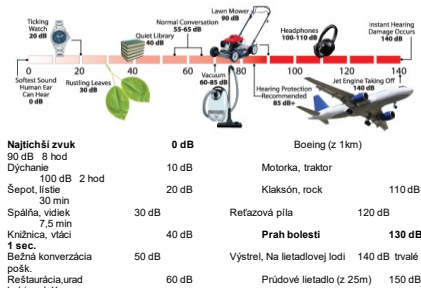
Sluch

- Intenzita – hlasitosť
- Frekvencia – tón
- Rotačné zrýchlenie
- Lineárne zrýchlenie
- Statická rovnováha



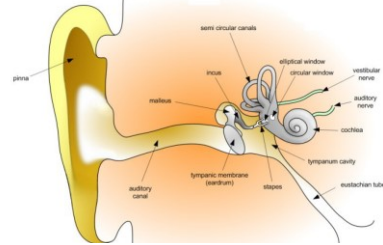
Sluch

rozsah hodnôt

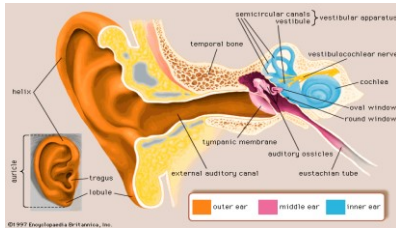


Sluch

pozitívny prierez ušom človeka

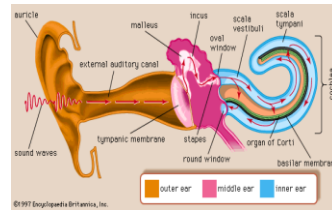


Sluch



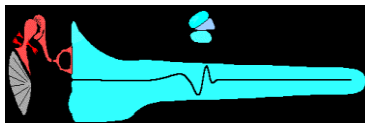
Sluch

– prenos zvuku



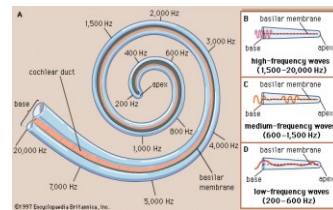
Sluch

– prenos do slimáka



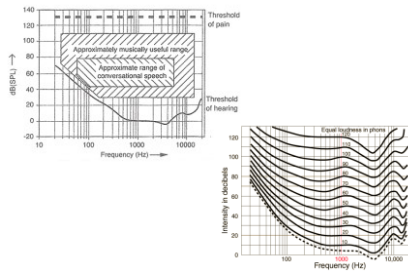
Sluch

– frekvenčná analýza



Sluch

– rozsah

**Sluch**

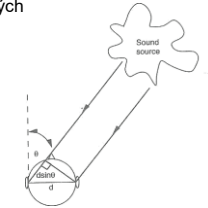
– určovanie polohy

- Kombinácia viacerých spôsobov:
- Interaural time difference (ITD)

$$\Delta t = d \sin(\theta)/c$$

c je rýchlosť zvuku [m/s]

- Interaural intensity difference (IID)



<http://www.fallding.net/foad/musi3012-01.html/lectures/index.htm>

ZRAK

Anna Melekhova

Ľudský zrak

- Zrak je telesný zmysel umožňujúci vnímanie svetla, farby, tvaru telies a orientáciu v priestore.
- Na príjem svetla slúži orgán zraku prispôbený prijíť a reagovať adekvátne na svetelný podnet – oko.
- Sietnica, šošovka, bunky sietnice: tyčinky(115-120mil.) a čapíky(17 mil.).

BEŽNE OKO**120 -576 MEGAPIXELOV**

oko nie je fotoaparát s jedným zberom. Je to skôr videostream - vedca a vesmírny fotograf Dr. Roger Clark

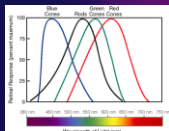
30 – 60 FPS

1fps ~ 1 Hz
rýchlosť pohybu oka neprekračuje 30 fps
najvyšší limit – 60 fps

10 MILIÓNOV BITOV ZA SEKUNDU
rýchlosť prenosu dát sietnicou do mozgu

3 TYPY ČAPÍKOV

L citlivé v **červenej** oblasti viditeľného spektra (okolo 650nm)
M citlivé v **zelenej** oblasti viditeľného spektra (okolo 530nm)
S citlivé v **modrej** oblasti viditeľného spektra (okolo 430nm)

**Zaujímavé fakty**

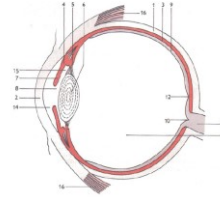
- obraz vytvorený na sietnici nezmizne okamžite, pretrváva asi 1/16 sekundy
- ak sa na sietnici oka vytvárajú statické obrazy pohybujúceho sa objektu rýchlosťou vyššou ako 16 obrázkov za sekundu, objekt sa vníma ako pohyb
- existuje minimálna vzdialenosť, na ktorú ľudské oko vidí veci jasne, čo je pre normálne oko 25 cm. Táto vzdialenosť sa nazýva najmenšia vzdialenosť zreteľného videnia
- filmy zvyčajne blikajú rýchlosťou 24 obrázkov za sekundu

Zrak



Zrak

anatomická stavba oka cicavca



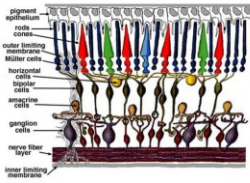
1. bičko (sclera)
2. rohovka (cornea)
3. cievovka (chorioida)
4. ciliárny sval (corpus ciliaris)
5. riasnatý val (zonula ciliaris)
6. sklovitá lina (lens cristallina)
7. dúhovka (iris)
8. zrenička (papilla)
9. sítnica (retina)
10. slepá lúčna (fovea caeca)
11. zrakový nerv (nervus opticus)
12. žltá lúčna (fovea centralis)
13. sklovce (corpus vitreum)
14. predná očná komora
15. zadná očná komora
16. svaly očnej gule

Zrak

color – cones / čapíky
tyčinky

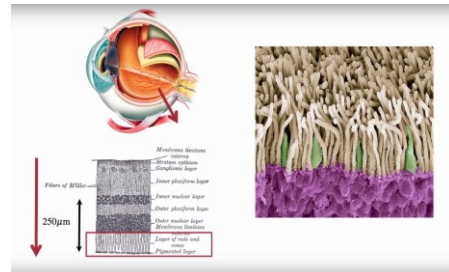
b&w – rods /

mikroskopický rez sítnice

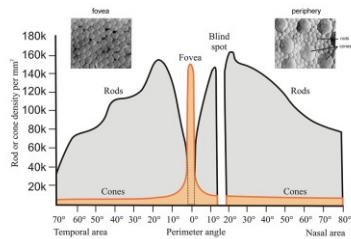


1. pigmentový epitel
2. vrstva tyčiek a čapíkov
3. vrstva horizontálnych buniek
4. vrstva bipolárnych neurónov
5. vrstva gangliových buniek (multipolárne neuróny)
6. vrstva axónov gangliových buniek spájajúcich sa v zrakový nerv

Zrak

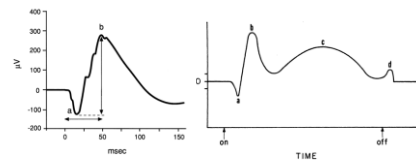


Zrak

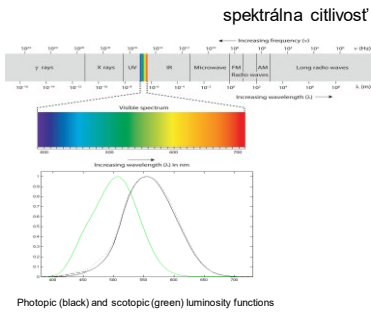


Zrak

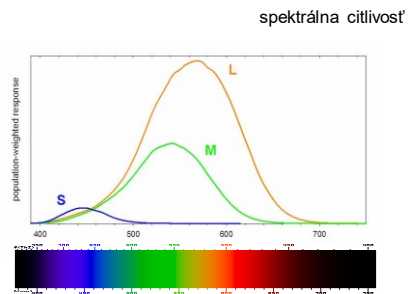
– elektroretinogram



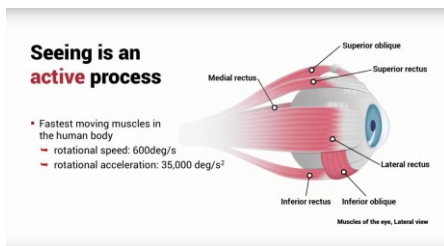
Zrak



Zrak



Zrak



Zrak

Which question was the test subject responding to?

a) What are the material circumstances of the family?

Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967 Yarbus, A. L.
© 1967, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Eye Page | 188-189

Zrak

Which question was the test subject responding to?

a) What are the material circumstances of the family?
b) What type of clothes are the family wearing?
c) What age are the figures in the painting?

Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967 Yarbus, A. L.
© 1967, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Eye Page | 188-189

Zrak

– prehľad parametrov

- | | | | |
|----------------|-------------|--------|-------------|
| Tyčinky (rods) | 125 000 000 | 480 nm | 1 fotón |
| Čapíky (cones) | 5 500 000 | 480 | 5-7 fotónov |
| | | 500 | rozsah: |
| | | 570 nm | 397 – 723 |
- Hustota 160 000 / mm²
 - Počet vlákien 2 x 450 000 Kapacita 3 MB/s
 - Priemer zreničky 1,5 – 8 mm