

# Folyamatszabályozás BMEVIIIM158

## Pupilla reflexmozgás rendszerelméleti analízise

2018. október 28.

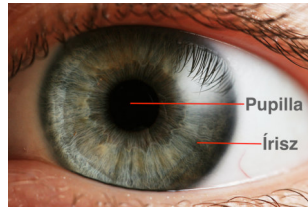
### 1. Feladat leírás

A szervomechanizmusok olyan automatikus szabályozó berendezések, amelyek a hiba érzékeléssel, negatív visszacsatolással javítják a mechanizmus működését. Ahol a visszacsatolás egy hiba korrekciós jel, ami segít a mechanikai pozíciót, sebességet más paramétert szabályozni, tartani. Ilyen rendszernek felel meg a pupilla szervomechanizmusa különböző fénybehatásokra próbálva fenntartani a retinára eső fényfluxus nagyságát. A rendszer identifikációja és rendszertechnikai vizsgálata segíthet kóros állapotok feltárásában; mint a mydriasis, ahol valamilyen farmakológiai okok miatt (ópiátok, barbiturátok) összehúzódik a pupilla, Light -near disszociáció; a pupilla kevésbé reagál a fényre, mint az akkomodációra. Ennek egyik kalsszikus formája az argyll-robertson pupilla, ami korábban a szifilisz bizonyítákként tarották számon.

Diabetes-es pupilla máshogy reagál mint a nem diabeteszes[1], illetve Alzheimer kór markere is lehet a pupilla működésének változása [2]. A pupilla fényreflex vizsgálatnál jelentős előny az elérhetősége. Nem szükséges semmilyen sebészeti beavatkozás nem szükséges a válasz vizualizálására. Nem kell feltevéseket tennünk, hogy viselkedne az izolált rendszer a normál állapotában.

### 2. Kísérlet leírása

A pupillát infra vörös fénnel megvilágítjuk, mérhető az íriszről visszaverődő fény egy fotocellával. Mikor a pupilla területe nagy, az írisz kicsi, kevesebb infravörös fény esik a fotocellára. Amikor a pupilla területe kicsi, az írisz nagy, több infra vörös fény reflektálódik a fotocellára. A vizsgálat során megvilágítják a beteg szemét. Látható fény a retinába van irányítva (zavarjel) a paciens feje meg van támasztva, így kényelmesen el tud helyezkedni. A mérés során egy távoli homályos rögzített pontba kellett fókuszálni, így



1. ábra. Pupilla és az írisz

csak a stimuláló fényforrás (zavarjel) befolyásolta a pupilla méretét, amely a retinába van irányítva. Mechanikailag nem lehetet kivitelezni, hogy a pupilla méretének mérését és a szem fénnel való stimulálását egy szemem el tudjuk végezni, ezért a szemünk konszenzuális reflexét használjuk ki, tehát, ha az egyik szemet stimuláljuk, akkor mindkét pupilla méretnek változnia kell egészséges működés mellett.

A stimuláló fény (zavarjel) intenzitása szinuszosan lett modulálva két polarizált szűrővel. Fotocellán mérve van folyamatosan a stimuláló fény intenzitása (fény fluxus). 2. Ábra

Amikor a retina adaptálódott az adott háttér fényforrás átlag intenzitására, elvileg szinuszos modulált adott amplitúdójú, irányított fénnel (zavarjel) az egész frekvencia tartományban stimulálható a pupilla fényreflex rendszer, mivel ez állandósult állapotban marad (Stabil szabályozási rendszerek esetén állandósult állapotnak nevezzük a tranziensek lecsengése utáni állapotot). Állandósult állapotban a szinuszos stimuláló jel frekvenciáját változtatva, a rendszer (ami a pupilla fény reflexet foglalja magába) frekvencia függő dinamikus viselkedését, átviteli karakterisztikáit; erősítés és fázis válaszát mérhetjük.

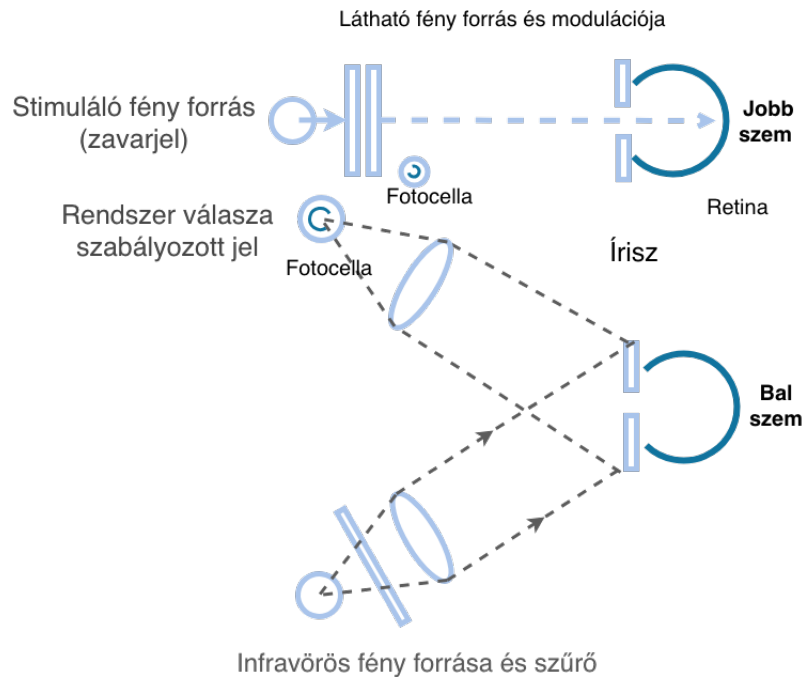
A fény intenzitást emelve a pupilla összehúzódik. Az eredő hatása a fényfluxusnak, ami a retinára esik, két tényezőre bontható. Az első tényező **a fény fluxus növekedése, A második a fény fluxus csökkenése a retinán a pupilla területének csökkenése miatt.**

**Rendszer erősítési tényező, (K)** a második és az első tényező arányából számolható; ez egy dimenzió nélküli érték, mivel mindkét tényező fényfluxus.

Az első tényező a stimulus fény változása, ami a pupillán halad át és a pupilla terület szorzata. Mivel a terület fluktuációja kicsi a teljes területhez képest, ezért közelítőleg az átlagos mérettel számolunk. Hasonlóan járunk el a második faktor számításánál. A pupilla méretének változása szorozva a fény intenzitásával, itt a fény intenzitásának átlagát ( $I_{AV}$ ) vesszük közelítésnek.

A fázis tolás mértékét a pupilla válasz és a stimuláló szinuszos jel egymástól való helyzete alapján lett számítva.

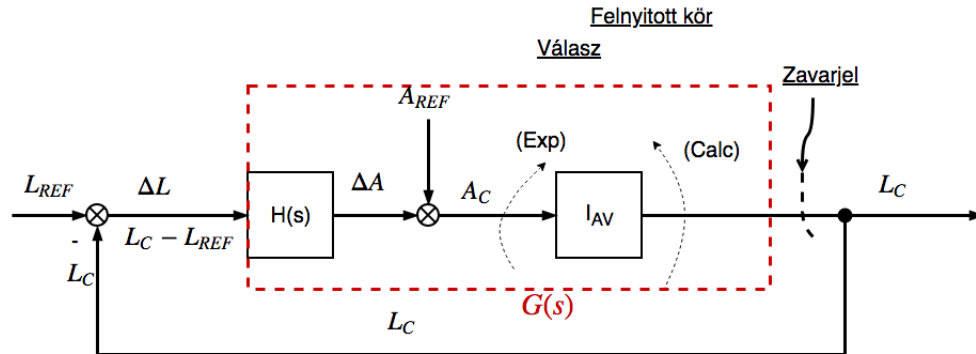
## Mérési elrendezés



2. ábra. Mérési konstelláció. Jobb oldali szemet stimuláljuk szinuszos tulajdonságú fényforrással (zavarjel), a bal oldalon mérjük a pupilla méretét, úgy hogy az íriszről visszaverődött fényt felfogjuk egy fotocellán.

### 2.1. Zárt szabályozási kör felnyitása

Fontos disszekciós- felnyitós módszer a szervomechanizmusok vizsgálatára: A rendszert felnyitott módban vizsgáljuk. A zavarjel át van küldve az egész szabályzási hurkon, és a felnyitás helyén van mérve a hatása. Így nincs a rendszer válasznak hatása a zavarójelre. Egyszerűsíti a bemenet-kimenet közötti kapcsolatot, ami az átviteli függvény. Esetünkben a zavarjel a szinuszos stimulus fényforrás. A szabályozási kört megnyitjuk a zavarójel hatáspontjánál, átengedjük a szabályzási körön, ami úgy reagál, hogy a pupillát összehúzza vagy kitágítja, ami a zavarjel hatását; a fényfluxust nagyságát a retinán befolyásolja (zárt kör és a szabályozás értelme, hogy referencia fényfluxus jusson a retinára). Ha a fényforrást fókuszáljuk és kisebb az átmérője mint a legkisebb pupilla méretnek, akkor nem befolyásoljuk a zavar hatását a pupilla összehúzódással vagy tágulással, így adott zavarjel hatását direkt módon vizsgálhatjuk a rendszerünkön (3. ábra). Ez a zárt szabályozási kör felnyitása.



3. ábra. A pupilla fényreflex rendszer egyszerűsített modellje. Linearizált pupilla szervrendszer közelítése. Linearizálás: fix munkapont körül kis variációk (szinuszos gerjesztő jel).  $A_{REF}$  a referenrecia terület,  $A_C$  a szabályozott terület a  $\Delta A$  a változás a területben, amit a szabályozó rendszer hozott létre és a  $H_s$  az átviteli függvény.  $I_{AV}$  az átlagos intenzitás érték, ami a szabályozott területtel van megszorozva ami a szabályozott fényfluxust okozza.

Változó/Paraméter	Megnevezés	Mértékegység
$L_{ref}$	Referencia fluxus	<i>milli-lumen</i>
$\Delta L$	Fény fluxus változás	<i>milli-lumen</i>
$\Delta A$	Pupilla méret változás	$mm^2$
$A_{ref}$	referencia Pupilla méret	$mm^2$
$A_c$	szabályozott Pupilla méret	$mm^2$
$I_{AV}$	Átlagos intenzitás érték	<i>milli-lumen</i>
$L_C$	Szabályozott fény fluxus	<i>milli-lumen</i>

Retina nem tud megkülönböztetni különböző fény eloszlásokat a pupilla síkján. Ha defókusználjuk a fényt akkor kapjuk meg a zárt hurkot, mert a pupilla méret csökkenésére változik a retinára jutó fény intenzitása!

A mérésekből az erősítési tényezőt illetve a rendszer fázisát tudtuk megmérni, egyszerűsítésekkel élve meg lehet határozni egy lineáris rendszer átviteli függvényét ami, megközelítően leírja a pupilla működését. Erre elvileg a hallgatóság is képes lenne, de a feladat mérete meghaladná, azt ami elvárható a tárgy keretei között. A mérésekből megállapítható, hogy a rendszer átviteli függvénye  $G(s)$  ekivalens egy arányos három tárolós szabályzási szakasszal, amely paraméterei a feladat kiírásnál található.

### 3. Fiziológiai folyamat leírása

Fiziológiai folyamat Környezet fényerősség emelkedik. Retinára érkező fény növekszik. A retinán elhelyezkedő csapok, ill. pálcikák a változással arányos ingerületté alakítják fényerő változását. Az ingerületet az idegpályák az agyba juttatják (mindkét oldalon megérkezik az ingerület). Az agy (Eddinger-Westphal mag/reflex központ) feldolgozza az ingerületet és a pupillához vezető idegpályán a pupilla összehúzódására ad parancsot.

## 4. Feladatok

ez itt két különböző  
ember házfeladata:

Feladat	Erősítési tényező $K$	Idő állandó $\tau$	Késleltetés $D$	Zavarjel ampl. $L_{dist}$	Ref. fluxus $L_{ref}$
	-	$s$	$s$	ml(umen)	ml(umen)
[sorszám]	0.14	0.05	0.22	0.2	1
[sorszám]	0.06	0.1	0.18	0.1	1

- Határozza meg a felnyitott rendszer átviteli függvényét ( $G(t)$ ) időtartományban a megadott paraméterek alapján
- Határozza meg az átviteli függvény  $G(t)$  Laplace transzformáltját.
- Hozza létre a rendszer hatásvázlatát.
- Határozza meg a zárt rendszer átviteli függvényét és jellemezze a stabilitás szempontjából (a holtidőt 3-ad rendű Padé approximációval közelítse).
- Vizsgálja meg a stabilitás kérdését frekvencia tartományban (Nyquist diagram, Bode diagramok)
- Vizsgálja meg a különböző értékre  $K = (2K, 3K, 4K)$  a rendszer minőségi jellemzőit: túllövés, szabályozási idő (a kimenet alapján). Jellemezze a kapott eredményeket.
- Mérje össze a 5. Pontban kapott eredményeket azzal az esettel, ha a rendszer nem tartalmaz holtidőt ( $D = 0$ ).
- Adja meg a rendszer  $L_{ref}$  bemenő jele és  $L_c$  kimenő jele alapján az állapotegyenlet- rendszerét!, Adja meg  $A, B, C, D$  állapotváltozókat!
- Szimulálja a rendszer működését az  $L_{ref}$  referencia érték és  $L_{dist}$  amplitúdójú  $0.05Hz$ ,  $0.1Hz$  frekvenciájú  $0Lumen$  középértékű zavarójel esetén vagy Matlab script vagy SIMULINK segítségével.
- Határozza meg a  $K$  küszöbértékét, amelyre a rendszer még stabilis. Szimulálja a rendszer kimenetét SIMULINK-ban a kapott értékre.

A kért feladatokat Matlab (control toolbox) és Matlab SIMULINK, (opcionálisan: Python Control Systems Library) program/könyvtárak segítségével oldja meg. A kész feladatokat e-mailen kérem beküldeni (megfelelően részletes és igényesen kidolgozott dokumentációval és forráskóddal, mely alapján a dolgozatot bármikor teljes mértékben reprodukálni lehet!). Mindenki egyénileg visszajelzést kap a házi feladata beérkezéséről.

**Homlok József**

E-mail: [homlokj@iit.bme.hu](mailto:homlokj@iit.bme.hu)

Tel.: 06-1-463-4027

## Hivatkozások

- [1] Saravana Kumar, Lang Zhuo *Quantitative analysis of pupillary light reflex by real-time autofluorescent imaging in a diabetic mouse model* Experimental Eye Research 92 (2011) 164e172
- [2] BittnerDM, Wieseler I, Wilhelm H, Riepe MW, Müller NG *Repetitive pupil light reflex: potential marker in Alzheimer's disease?* J Alzheimers Dis. 2014;42(4):1469-77. doi: 10.3233/JAD-140969.
- [3] Lawrence Stark, Philip M Sherman *A servoanalytic study of consensual pupil reflex to light*
- [4] Lawrence Stark *Environmental Clamping of Biological Systems: Pupil Servomechanism* JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA VOLUME52, NUMBER 8 AUGUST 1962