

# MOE – szenzorfüzió

## Felkészülés

A mérés során a Mixture of Experts (MOE) architektúrát vizsgáljuk valódi mérési adatokon, illetve valódi méréssel. A mérés során néhány szenzor adatait különböző lineáris szakértőkben egyesítjük, majd ezeket egy kapuzó hálózattal összefogjuk.

A mérés sikeres elvégzéséhez ismételve át a MOE architektúráról tanultakat, mely a Neurális Hálózatok (Altrichter-Horváth-Pataki-Strausz-Valyon) c. könyv 280-286. oldalain található, illetve olvassa el a következő fejezetben található, mérési összeállításról szóló mérési útmutatót.

A mérési feladatok közti *0. feladat* házi feladat, ennek elkészítése nélkülözhetetlen a mérés elvégzéséhez.

A mérés elején egy beugró ZH keretében ellenőrizzük a mérésre való felkészültséget; a kérdéseket az *ellenőrző kérdések* közül adjuk.

## Mérési útmutató

A mérés során egy termodinamikai rendszerben a hőmérséklet előrejelzésére készítünk egy szakértő-együttest. A rendszer egy a tetején nyitott papírdoboz, melyhez több beavatkozási lehetőség áll rendelkezésünkre, egy izzólámpa és egy hideg és meleg levegő fújására képes hajszárító. A rendszer számos paraméterét különböző szenzorokkal mérjük.

### Szenzorok

- **külső hőmérő** – a külső hőmérséklet megmérésére szolgál, hogy számolni tudjunk a terem hőmérsékletével.
- **belső hőmérő** – direkt módon mérjük a doboz belső hőmérsékletét.
- **fényerősség mérő** – az izzólámpa rendszerre vonatkoztatott hőteljesítményre függ a lámpa távolságától, csakúgy, mint a fényerőssége, így a fényerősség megmérésével következtetni lehet a lámpa által bevitt hőteljesítményre.
- **rezgés mérő** – a hajszárító által okozott légmozgást képes érzékelni. Sajnos nem a rezgés teljesítményét méri, hanem a szenzoron található piezoelektromos lap elhajlását. Ezért a jel komoly előfeldolgozására van szükség, mielőtt azt használni lehetne egy szakértő tanításánál.
- **páratartalom mérő** – a relatív páratartalmat méri, mely nyilvánvalóan a hőmérséklet növekedésével csökken.

### Beavatkozási lehetőségek

- **izzólámpa** – egy állítható magasságú íróasztali lámpa, mely felülről bevilágít a dobozba. Működése fényjelenség kíséretében növeli a belső hőmérsékletet, a lámpa magasságától függő mértékben.
- **hajszárító hideg fújással** – kizárólag légmozgást kelt, ezzel kívülről szobahőmérsékletű levegőt visz a rendszerbe, ezzel gyorsítva a lehűlést.
- **hajszárító meleg fújással** – forró levegő befújásával légmozgást kelt, illetve a belső hőmérsékletet növeli.

Amint azt a bevezetőben is írtuk, a mérés célja létrehozni egy olyan szakértő-együttest, mely előrejelzi a doboz hőmérsékletét a szenzorok adatai alapján. Mivel a felmelegedés, illetve a lehűlés ebben az esetben egy lassú folyamat, így az előrejelezés időtartama 24 másodperc, mely 30 mintának felel meg a 0.8 másodperces mintavételi idővel.

A szakértő-együttes négy különböző szakértőből fog állni. Ezeket különböző szituációkban regisztrált mérési eredményekkel fogjuk tanítani. Mindegyik szakértő előállítja az összes szenzor mérési adatainak, illetve néhány szenzornak a késleltetett adatainak egy lineáris kombinációját, ily módon gyakorlatilag fuzionálva a szenzorokat. Megjegyzendő azonban, hogy a szenzorfüzióknak számos más, gyakrabban használt módszere létezik (Kálmán-szűrő, Bayes-háló, Dempster–Shafer, stb).

## ***A négy szakértő***

A négy szakértő a következő szituációkban regisztrált adatokkal kerül tanításra:

- **Semmi** – különböző kezdeti belső hőmérsékletekről, beavatkozás nélkül
- **CsakVilagit** – különböző lámpamagasságoknál csak a lámpát használva melegítésre
- **CsakHideg** – különböző kezdeti belső hőmérsékletekről, szobahőmérsékletű levegő fújásával
- **CsakMeleg** – szobahőmérsékletről, csak meleg levegő fújásával

## ***A szakértők bemenetei, sorszám szerint***

1. külső hőmérséklet (0-1000 közti egész érték, tipikusan 380 körül)
2. fényerősség (0-1000 közti egész érték, lekapcsolt izzólámpa mellett tipikusan 600-700, felkapcsolt izzólámpa mellett 900-1000)
3. rezgésmérő (ez egy előfeldolgozott érték, bináris 0 vagy 1, attól függően, hogy valamilyen üzemmódban működik –e a hajszárító)
4. belső hőmérséklet (0-1000 közti egész érték, tipikusan 380-420 körül)
5. relatív páratartalom (0-1000 közti egész érték, tipikusan 220-260 körül)
6. belső hőmérséklet 15 mintával (12 másodperc) késleltetett értéke
7. relatív páratartalom 15 mintával (12 másodperc) késleltetett értéke

## Mérési adatok

A szakértőket előre lemerített és feldolgozott mérési adatok alapján tanítjuk. Ezek a mérési adatok megtalálhatóak a tárgy honlapján. A mérési adatsorokban adatonként csak 5 érték szerepel, ezek megegyeznek a szakértők első 5 bemenetével. Ebből külön kell legenerálni a 6. és 7. bemenetet.

A mérési adatok idősorai több, egyenként 500 mintát tartalmazó változóba vannak elmentve, a használt beavatkozások függvényében. Ezek a következők:

- CsakHideg1 – csak hideg levegő fújása
- CsakHideg2 – csak hideg levegő fújása
- CsakHideg3 – csak hideg levegő fújása
- CsakMeleg1 – csak meleg levegő fújása
- CsakVilagit1 – csak világítás
- CsakVilagit2 – csak világítás
- CsakVilagit3 – csak világítás
- Semmi1 – nincs beavatkozás
- Semmi2 – nincs beavatkozás
- Semmi3 – nincs beavatkozás
- VilagitFut1 – világítás és meleg levegő fújása
- VilagitFut2 – világítás és meleg levegő fújása
- VilagitHut1 – világítás és hideg levegő fújása

## A MOE fontosabb összefüggései

MOE képletek egy kimenetű, több bemenetű lineáris szakértők esetén, ha az  $i$ -dik ág kapuzóhálózat által adott súlya  $g_i$ , ugyanezen ághoz asszociált zaj esetén az  $y^{(l)}$  kívánt kimeneti értékhez tartozó valószínűség-sűrűségfüggvény értéke  $P(y^{(l)}|x^{(l)}, \theta_i)$

Az asszociált Gauss zaj nulla várható értékű és  $\sigma_i$  szórású.

$$h_i^{(l)} = \frac{g_i^{(l)} P(y^{(l)}|x^{(l)}, \theta_i)}{\sum_j g_j P(y^{(l)}|x^{(l)}, \theta_j)}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_i} = h_i^{(l)} \frac{(y^{(l)} - \mu_i^{(l)}) \mathbf{x}^{(l)}}{\sigma_i^2}$$

$$\theta_i^{(új)} = \theta_i^{(rég)} + \rho \frac{\partial L}{\partial \theta_i}$$

ahol  $\theta_i$  az  $i$ -dik szakértő tanítható paramétervektora.

A kapuzó hálózat paramétereinek tanítása lineáris kapuzó hálózat esetén:

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{v}_i} = (h_i^{(l)} - g_i^{(l)}) \mathbf{x}^{(l)}$$

$$\mathbf{v}_i^{(új)} = \mathbf{v}_i^{(rég)} + \rho \frac{\partial L}{\partial \mathbf{v}_i}$$

ahol  $\mathbf{v}_i$  a (lineáris) kapuzó hálózatnak az  $i$ -dik ághoz tartozó paramétervektora.

## Ellenőrző kérdések

- Írja és/vagy rajzolja le a Mixture of Experts (MOE) architektúra felépítését!
- Adja meg a softmax függvény képletét! Hol alkalmazzuk ezt a MOE architektúrában?
- Mi a Mixture of Experts (MOE) architektúra valószínűségi értelmezése?
- Milyen részei taníthatóak a Mixture of Experts (MOE) architektúrának? Nagyvonalakban foglalja össze a tanítás menetét!
- Sorolja fel, milyen szenzorokkal mérjük a rendszer állapotát, ezek mely külső beavatkozási lehetőségekre érzékenyek, és milyen adatokkal dolgoznak a szakértők!
- Miben különböznek egymástól a mérés során felhasznált szakértők? Sorolja fel ezeket!

## Mérési feladatok

0. **Feladat** Készüljön fel a mérésre, olvassa át és értse meg a mérési útmutatót. Generáljon megfelelő méretű tanítóminta-halmazt a csoportja számára kijelölt idősor-halmazból (a feladat megtalálható a tárgy honlapján). Hozzon létre a tanítómintákkal egy lineáris szakértőt. Törekedjen a szakértő minél egyszerűbb szerkezetére, döntéseit indokolja.
1. **Feladat** Minősítse az összes mintára a szakértőjét (beleértve a többi idősből generált mintahalmazokat is), minden mintahalmazra külön, és az összesre egyben is, az átlagos négyzetes hiba kiszámításával. Az eredményeket táblázatban ábrázolja! (30 perc)
2. **Feladat** Készítse el a MOE kapuzó hálózatát (lineáris), a kapuzó hálózat kimenetét kiszámító függvény, illetve a kapuzó hálózatot tanító függvény megírásával. A szükséges összefüggéseket megtalálja a mérési útmutatóban. Integrálja egymás szakértőit egy MOE-ba. A kapuzó hálózatot a szakértők tanításánál felhasznált mintahalmazok uniójával tanítsa. (60 perc)
3. **Feladat** Tesztelje a MOE működését és vizsgálja meg a választ. Mennyire preferálja a kapuzó hálózat az egyes szakértőket a különböző mintahalmazok esetén? Táblázatban ábrázolja az eredményeket. Ne csak a szakértők tanításánál felhasznált mintákon vizsgálja a MOE működését, hanem azokon is, melyet egyik szakértő sem látott (kevert gerjesztések, pl. fény+meleg fűtés). Minősítse a MOE-t minden mintahalmazra külön, és az összesre egyben is, az átlagos négyzetes hiba kiszámításával. (60 perc)