

Gondolatok a biológiai elvekre alapozott irányításról

Összefoglaló

Az utóbbi harminc évben sok ezer kontrol módszert fejlesztettek kis és alkalmaztak. A szakirodalomban leírt módszerek óriási száma azt mutatja, nincs általános, jól használható kontrol eljárás. Sok esetben a jelenlegi mesterséges érzékelők jobbak, mint a biológiai érzékszervek, de az emberi agy kapacitása, adatfeldolgozási sebessége sokkal nagyobb, mint a számítógépeké. Az emberi agy könnyen "betanítható" a különbözőirányítási, kontrol feladatok (pl. kerékpár, autóvezetés, sielés) végrehajtására. Ez a rövid tanulmány azt vizsgálja, hogyan alkalmazható az emberi gondolkodás speciális, biológiai alapokra épülő kontrol kifejlesztésében.

1. Előszó

A NASA egyik vezetője, Daniel S. Goldin nagyon hatásos előadást tartott "A repülés nappali álmodozói" (Aviation Daydreaming) címmel a SAE World Aviation Congress 1999. évi rendezvényén. A neves előadó T.E. Lawrencet idézte: "Azok, akik éjjel, gondolataik szürke szünetében álmodnak, napra felébredve úgy találják, hogy az álmik hiú ábrándok. De azok, akik nappal álmodnak veszélyes emberek, akik nyitott szemmel nézve álmaikat úgy vélhetik, azok megvalósíthatók. Mr. Goldin pontosan ezzel fejezte be gondolatait: "Tehát, legyünk nappali álmodozók!"

2. Bevezetés

A megjelent tanulmányokat elemezve, megállapítható, hogy az utóbbi harminc évben sok ezer kontrol módszert fejlesztettek kis és alkalmaztak. A közzétett módszerek óriási száma azt mutatja, nincs általános, jól használható kontrol eljárás [1] vagyis nincs olyan általánosan elfogadható eljárás, melyet alkalmazva adott feladatokra jó kontrol megoldásokat lehetne kidolgozni.

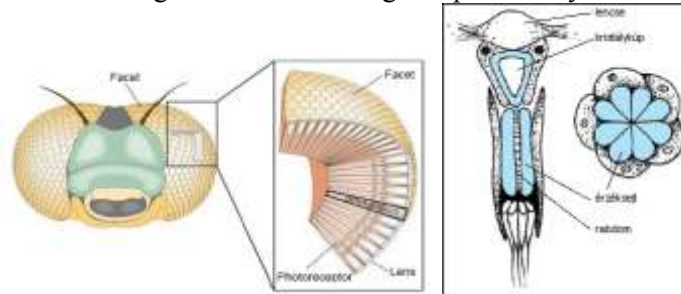
A repülőgép mozgásának irányítására alkalmas kontrol tervezése egy rendkívül komplex feladat, amely többféle szaktudást, úgymint az alaptudományok, a repüléstudományok, a kontrol-elmélet, az informatika, a szoftver fejlesztés és más kapcsolódó tudományok, többek közt az innováció-elmélet, a rendszerek műszaki elmélete szakterületek ismeretét és jelentős gyakorlati tapasztalatot igényel [2, 3, 4]. A kontrol fejlesztéseket gyakorlott, a repülőgép kontrol fejlesztés folyamatának rejtett (nem kodifikált, gyakorlati, un tacit) szaktudásával rendelkező vezető tervezőkre kell bízni.



1. ábra: A gyümölcslégy szeme [5]

Ugyanakkor a természetben egy sor, kiváló, de nagyon egyszerű alapokra épülő kontrol valósul meg. A gyümölcslégy pl. olyan szemmel (1. ábra) rendelkezik, amely lényegében csak 26 x 26 pixel

felbontásnak felel meg. A repülő rovarok ilyen, ún. összetett szeme eléggé sajátosan önálló egyszerű szemekből (ommatídiumokból) épül fel (2. ábra). A mai technológiai színvonalon a gyümölcslégy szemének az érzékenysége és felbontása sokkal rosszabb, mint a mesterséges látás jellemzői és mintegy 150 ezerszer gyengébb az emberi szemnél. A gyümölcslégy mégis képes repülni, az akadályokat kikerüli, igaz a fény becsapja és nekirepül az ablaküvegnek. Mindenesetre célszerű tanulni abból, hogy az ilyen leegyszerűsített látás is megfelelően a biztonságos repülés irányítására.



2. ábra: Az összetett szem működése [6, 7].

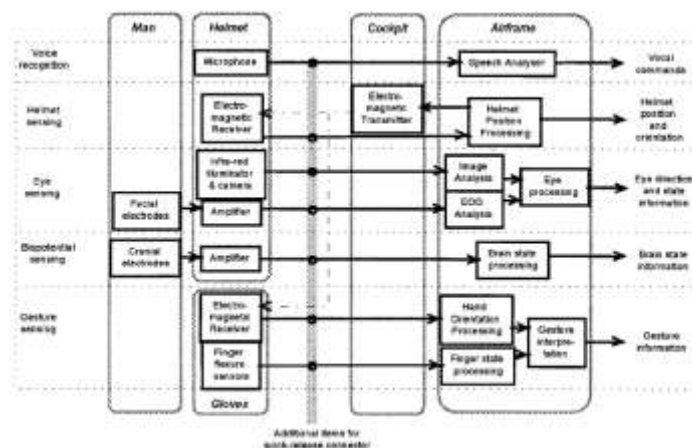
Az összetett szem akár 10 – 15 ezer egyszerű szemből, ún. ommatídiumból áll, melyek egy lencse (ún. kutikuláris lencse) és egy soksejtű kristálykúp alkotta önálló fénytörő rendszerrel rendelkeznek. A kristálykúpot koncentrikus lemezek alkotják, így hengeres (fix gyújtópontú) lencsének számít. Az egyszerű szemek ingerfelvevő receptora a legtöbbször 8 látósejtből (retinulából) álló retina. A retinulasejtek szegélye egy kettős tört mutató fényfelvevő pálcává, a rabdommá olvad össze.

Az automatikus irányításhoz persze a képfeldolgozáson kívül a szituációelemzés és az automatizált döntés is kidolgozása is szükséges. Ezért érdemes foglalkozni az emberi érzékelés és adatfeldolgozás (gondolkodás) sajátosságaival.

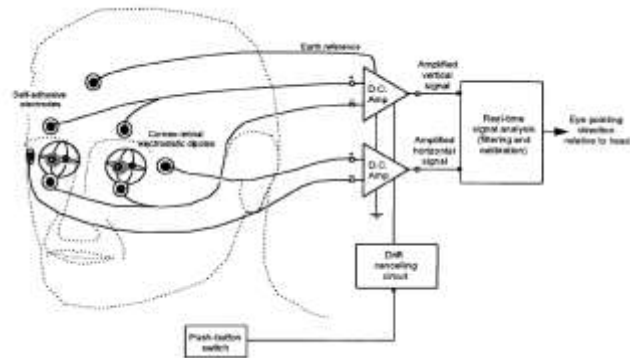
Ez az cikk a biológiai elvek alkalmazásával kifejleszthető modifikált neurális hálóra épülő irányítási rendszerrel foglalkozik a szerző angol nyelvű cikkei [8, 9, 10] alapján .

2. Alternatív kontrol

A modern, illetve, ahogy azt művelői nevezik a posztmodern kontrol foglalkozik az ún alternatív kontrol [11] fejlesztésével is. Ezek az irányítási módszerek biológiai hasonlóságokat használnak ki (3. ábra), és két nagy csoportra oszthatók. Az egyikbe tartoznak a fejlett érzékelőket, felismerő és azonosító módszereket alkalmazó, a repülőgépvezetőket kiszolgáló rendszerek. A másik csoport módszerei a repülőgépvezetőt az irányítási kör egyik – igaz fontos – elemének tekinti, és pl. a szem mozgását, vagy akár az agyműködést érzékelve valósítják meg az irányítást (4. ábra).

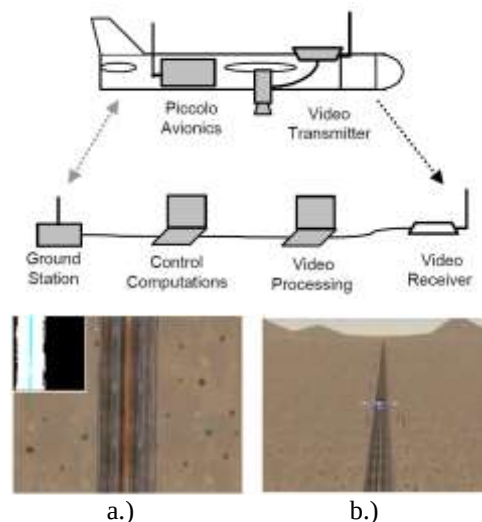


3. ábra: Az alternatív kontrol módszerei és elemei



4. ábra: A szem mozgásának mérésére alkalmazott elektro-okulográfiás (EOG) eljárás vázlata [11] A működési elv: a fejre és a szem közvetlen közelében elhelyezett elektródák közt a szem mozgásától függően különböző feszültségek keletkeznek. Az eljárás pontossága függ a szemgolyó mozgásakor keletkező feszültség nagyságától, a mérési zajtól és az operator emberi tulajdonságaitól.

A biológiai elvekre épülő irányítás megoldása felé tett fontos lépés volt a mesterséges intelligenciát alkalmazó irányítás fejlesztése. Az első ilyen sikeres megoldásokat kisrepülőgép modellek (pilóta nélküli repülőgépek) vizuális, más néven mesterséges látás, azaz a megfelelő képfeldolgozásra alapozott automatikus kontroljának a megvalósítása jelentette. Példaként említhetjük az 5. ábrán bemutatott, 2,8 m fesztávú szárnnyal ellátott és maximum 10 kg felszálló tömegű Sig Rascal gépet (5. ábra). A kis modellt két lefelé „néző”, 62°-os látószögű és 320 x 240 pixel felbontású CCD kamerával szerelték fel. A repülőgép avionikája egy mindössze 212 g tömegű kereskedelmi forgalomba lévő Cloud Cap Piccolo egységből építették meg [12]. A képfeldolgozás célja az egyszerűség és a horizont, illetve a követendő út középvonalának a felismerése volt. Kétféle képfeldolgozással dolgoztak; az egyik a kamerák által adott képeket jelenítette meg (5.a kép), míg a másik mintegy hátulról „követte” a repülőgépet (5.b kép).

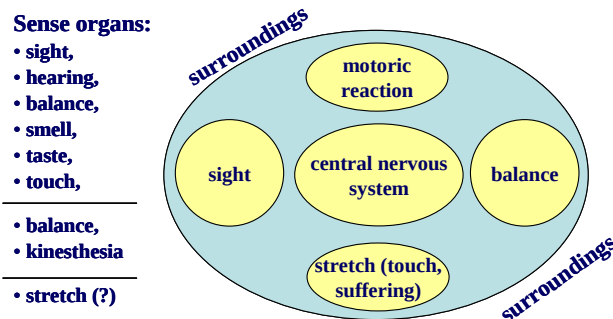


5. ábra: Automatikus vizuális irányítás [12] elvi vázlata (felső ábra) és a képfeldolgozás eredménye: a - a kamerák által adott kép, b – a gép „követése” hátulról.

A vizuális irányítás technológiája közel van az emberi érzékelés, problémakeresés, és döntés megoldáshoz. Ugyanakkor a vizuális kontrol során egyfajta determinisztikus gondolkodást valósítanak meg, ami alapjaiban a formális logikát alkalmazza. Az ember ennél sokkal összetettebben gondolkodik.

3. Érzékszervek

Az ember, mint egy „biomotorikus rendszer” az érzékszervek (6. ábra) által szolgáltatott információt használja a szükséges motorikus beavatkozások meghatározására. A „rendszer” legfontosabb eleme az idegrendszer, amely részben automatikusan működik.



6. ábra: Az ember érzékszervei

Az ember az intelligenciáját az agyának köszönheti [13]. Azt használja az érzékszervektől érkező információ részletes feldolgozására. Az információ analízise után szituáció elemezést folytat, keresi a változásokat és azok okait, megoldási lehetőségeket keres, kidolgozza a megfelelő kontrol-elveket, megoldási döntésekkel látja el a motorikus „beavatkozó” szerveit.

A gondolkodás, a beérkezett információ feldolgozása egy összetett folyamat, melynek jellegzetes részei vannak, úgymint tanulás, adaptálás, tárolás (memória), stb.

Az új, biológiai elvekre épülő kontrol kifejlesztése szempontjából a tanulás és a hosszú távú memória tűnik a legfontosabbnak. A repülőgép vezetése, azaz a repülőgépvezetők szempontjából talán az egyensúly érzékelése a legfontosabb emberi érzékszerv. (Köztudomású, hogy a pilóták a „hátsó felükkel” vezetnek a repülőgépeket.)

Az egyensúly érzékelése egy összetett folyamat [13], melyben szerepet játszanak a látás, a gravitációs erőter által befolyásolt proprioceptív (az egymáshoz kapcsolódó testrészek közötti helyzetet, alapvetően a fejnek és a végtagoknak a törzshöz viszonyított helyzetét) érzékelése, az izmokban ébredő erők érzékelése, a belső fülben lévő vesztibuláris rendszer, valamint a központi idegrendszer és az agy.

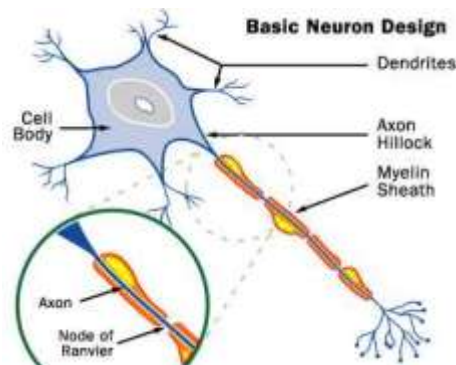
A proprioceptív érzékelés egy részét kinesztéziának nevezik. A propriocepció: a fejnek és a végtagoknak a törzshöz viszonyított helyzetét és mozgását mutató érzékelés receptorai az izmokban, inakban, ízületekben és a bőrben vannak. A proprioceptív érzékelést közvetlen az agy motoros központjából a perceptuális rendszer felé küldött, az izmok mozgásparancsait meghatározó jelek is befolyásolják az aktív tapintás és a nyomásérzékelés segítségével. A *kinesztézia* ezen belül „csak” a testrészek helyzetének és mozgásának érzékelése [12]. A kinesztézia, azaz az izmokban fellépő erők érzékelése, a mozgás értékelése ad lehetőséget a koordinált mozgások végrehajtására, egy papír kézbevitelétől a repülőgép vezetéséig. (Mint minden ismeret és folyamat folyamatosan változik. Nem véletlen, hogy egyes tudósok szerint a jövő repülőgépeit a hüvelykujjakkal kell vezetni, mivel a „Game Boy”-on felnövő fiatalabb generáció azokkal tud a leghatékonyabban és precízebben dolgozni.)

4. Az agy

Arisztotelész azon a véleményen volt, hogy az érzékelés és a gondolkodás szerve a szív, az agy pedig a szív hűtésére tervezett „radiátor” [12]. Persze az emberi agy működése még ma sem eléggé ismert.

Az ember „tevékenységeit”, illetve „működését” az agy irányítja, amely a központi idegrendszer legfontosabb része és a külső idegrendszer működésének irányítója.

Az emberi agy [13] mérnöki szemmel egy nagy, összetett rendszer, amely alapvetően egymással kommunikáló idegsejtek, a neuronok hálózatára épül. A neuronokban (7. ábra) az információ, mint elektromos folyamat, a dendritektől indul, majd a sejtmagon keresztül az axonon át, pontosabban a másik idegsejt dendritjeihez közel lévő axon végződéseken jut el következő neuronig [14, 15].



7. ábra: A neuronok szerkezete [15]

Két idegsejt közt az információ egy vegyi folyamat eredményeként adódik át. Ilyen formán vegyi és elektromos folyamatok alapján millió és millió idegsejt kapcsolódik össze az információ feldolgozása, kiértékelése és a megfelelő válaszjelek kialakítása érdekében.

Az agy, valamint az agy elektromos és vegyi működésére jellemző, hogy

- az agy mintegy százezermilliárd idegsejtet tartalmaz,
- tömege elérheti az 1,4 kg-ot, ami az átlagos ember súlyának 2 %-a,
- az agyban az információ továbbítás sebessége eléri a 300 ezer km/óra sebességet,
- az agy használja fel az emberi test által felvett oxigén ötödét,
- amennyiben az oxigén ellátás 10 másodpercre megszakad, az ember elveszti az eszméletét.

Az agy egyik része a vegetatív idegrendszeren keresztül a simaizmot, a mirigyeket és a szívet. Az agy másik része biztosítja a tudatos tevékenységeket, a gondolkodást, a probléma-felismerés és megoldás képességét, a tanulást, az emlékezést.

Az agy működését egy sor korszerű technológiával igyekeznek feltérképezni

- EEG (electroencephalograph)
- CAT (computerized axial tomography)
- MRI or fMRI (magnetic resonance images, or functional MRI)
- MEG (magnetoencephalography)
- PET (Positron Emission Tomography)
- stb.

Többek közt ezen módszereknek is köszönhetően ma már elég sok ismerettel rendelkezünk az agy működéséről. Ismert az agy szerkezete, az agy egyes részeinek a feladata, stb. Ugyanakkor még mindig viszonylag szerény ismeretekkel rendelkezünk az agy tényleges kapacitásáról, a gondolkodásról, az emlékezésről, az emlékezéshez szükséges információ „tárolásáról”, a tárolt információ „előhívásáról”, és így tovább.

Neumann [16] is foglalkozott az agy működésével. Úgy vélte, hogy a az emberi agy 10^{14} bit hosszú idejű memóriával rendelkezik. Ma a legtöbb tudós egyetért abban [13, 17], hogy az emberi agyban mintegy 10^{14} kapcsolat van és lehetséges, hogy mindegyik kapcsolat egy byte memóriát tartalmaz. Mivel minden neuron (idegsejt) képes 1000 számítást elvégezni másodpercenként. Az emberi agy tehát képes 10^{17} műveletet végrehajtani másodpercenként.

6. Gondolkodás

Kohler [17] meghatározása szerint kétféle nézet létezik a gondolkodás leírására. Az egyik szerint a gondolkodás topografikus, vagyis az idegrendszer működése olyan hálózathoz hasonlít, amelyben a kapcsolatok mindent meghatároznak. A másik a dinamikus gondolkodás, amelyben a időfüggő és energia-átadással járó folyamatok játszódnak le az idegrendszerben.

Gépi rendszerekben az emberi gondolkodást, csak akkor tudjuk megvalósítani, ha teljesen megértjük hogyan működik az emberi agy, mint „természetes számítógép”. Természetesen a számítógép teljesen más rendszer, mint az emberi agy. A gondolkodás megértése, a mesterséges intelligencia létrehozási lehetőségeinek a vizsgálata céljából érdemes visszatérni Turing és Neumann munkáihoz.

Turing [18] 1936-ban irt le egy olyan absztrakt modellt, amely lényegében minden gép, illetve gépies probléma leírására szolgál, és a valóságos digitális számítógépek alapmodelljének tekinthető. A Turing-gép legfontosabb sajátosságai a következők [19]:

- a Turing-gép egyfajta állapot-gép, mivel minden időpillanatban a véges számú állapot valamelyikében van, mivel
- minden megadható algoritmusok formájában (minden algoritmizálható, ami nem az nem is érdekes), ugyanakkor
- minden, ami algoritmizálható az véges lépésben megoldható (absztrakt algebrai automata), ezért
- a technikai haladás hatására egyre nehezebb lesz különbséget tenni az ember és a gép, azaz a mesterséges intelligencia között.

Másfelől Neumann szerint [16] a mesterséges és az emberi gondolkodás, vagyis a számítógép és a természet közt a legfontosabb különbségek a következőkben adható meg:

- méret (a neuronok lényegesen kisebbek)
- a neuronok működése összetettebb (tartalomfüggő),
- a számítógépek determinisztikusan működnek, míg az emberi gondolkodás statisztikus,
- a számítógép digitális, az ember idegrendszere analóg jelekkel is „dolgozik”.

A „konvencionális” mesterséges intelligencia az információt szigorúan csak szintaktikusan dolgozza fel, vagyis a bejövő információ jelentéseit nem vizsgálja. Ezzel szemben az ember mindig céltudatosan, mindig szándékoltan, valamely szándék által vezérelve gondolkodik, még ha ez nem is mindig egyértelműen definiált.

Az emberi gondolkodás másik sajátossága az intuíció. Ez egyfajta megsejtés, a korábbi ismeretek alapján olyasminek a felismerése, olyasmire adott helyes reakció megtalálása, amivel korábban nem találkozott a gondolkodó lény még nem találkozott. Természetesen jelentős különbség van az ember szándékolt gondolkodása és az állatok ösztönös viselkedése közt.

A kontrol-elmélet szempontjából az emberi agy tulajdonságai közül az emlékezés, a memória, amely a tanulás, a memóriába tárolás és az emlékezés, azaz a memóriában tároltak megfelelő „előhívása”. Az ember képes folyamatosan tanulni, az információkat hosszú távon tárolni és akkor előhívni, amikor arra szükség van [20]. Ahogy mondani szokás, aki egyszer megtanult biciklizni, az nem felejtí azt el többet.

A memóriát is többféle módon elemzik és osztályozzák [21]. Az egyik megközelítés szerint alapvetően egy rövid és egy hosszú távú memória létezik. Az első esetben képi, hang hatásokkal együtt, rövid időre, és viszonylag kis számú körülmény, esemény tárolható. A másik a hosszú távú memória, amely során a jelentés és nem a pontos körülményeket tárolja az emberi agy. Ez utóbbi persze azt is jelenti, hogy előhívási hibák léphetnek fel.

Más megközelítésben implicit és konstruktív memóriáról beszélnek, attól függően, hogy a felidézés tudatos erőfeszítés nélkül, automatikusan megy végbe, vagy különbséget teszünk a folyamatok irányától függően.

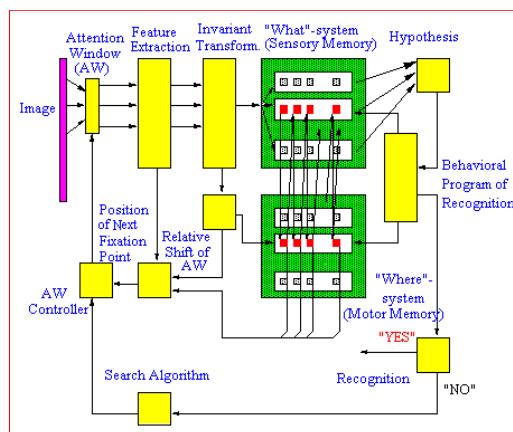
Lényegében a gondolkodás lehet intelligencia jellegű, ami az implicit jellegű memórián alapszik, és van kreatív gondolkodás, amely az ismereteket, a tárolt információt új formában is képes megjeleníteni.

Az információk tárolása az emlékezetben kapcsolódhat képekhez, szituációkhoz, szagokhoz, stb. Ezek segítségével könnyebb a felidézés.

Természetesen a tárolt információ lehet igaz, vagy hamis, szándékolt, vagy szándék nélküli, megértett, vagy meg nem értett, stb. Mindezek közben a tanulás, a felismerés, a probléma-értés, az emlékezés, a döntés mind olyan képesség, amely meghatározza az emberi agy működését.

7. Felismerési folyamat

Az emberi agy működését, a gondolkodás sajátosságait nem könnyű tanulmányozni. Ezzel szemben a felismerési folyamatok viszonylag jól elemezhetők. Ezek a tanulmányok elvezettek a felismerési folyamatának a modellezéséhez (8. ábra).



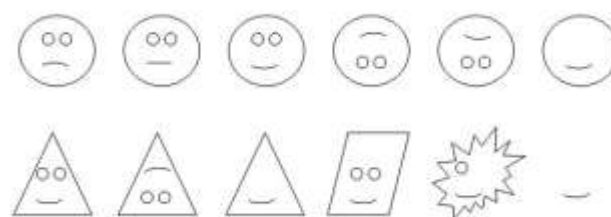
8. ábra: A képi felismerés modellje [22].
(mind a szemek mozgása, mind a képi feldolgozás biológiai funkcionális modellje)

A tényleges felismerési folyamat elemzésekor megállapították, hogy az ember céltudatosan, és a lehető legegyszerűbb formában oldja meg a felismerési folyamatot. A 9. ábra tanúsága szerint például, egy ember felismerésekor a szemre, orra, szájra, annak tekint először a szemlélő.



9. ábra: A felismerés folyamata [22]

A 11. ábrát elemezve belátható, hogy annak az eldöntéséhez, valaki boldog, vagy sem, a száj görbülete adja a legtöbb és legfontosabb információt.



10. ábra: A "boldog ember" felismerése.

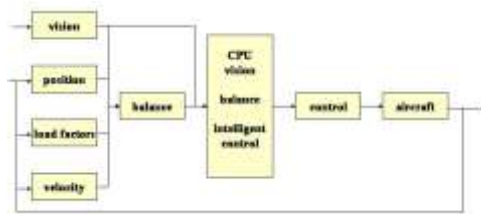
8. Az új irányítás elve

Az eddigi vizsgálataink eredményeit a következők szerint összegezhetjük:

- az emberi gondolkodást alapvetően meghatározza a hosszú távú és kreatív memória,
- az ember, amennyiben járművet, repülőgépet vezet, alapvetően alkalmazza az egyensúlyi érzékelést, továbbá
- a látás során az ember igyekszik leegyszerűsíteni a felismerési folyamatot, kiemelve a környezetből egy pár fontos, meghatározó részletet, és a továbbiakban azokat, azok változását monitorizálja, végül
- a döntéseket, az irányítási, beavatkozási megoldásokat a szituáció elemzése, a probléma felismerése és a probléma megoldása a hosszú távú memóriában tárolt információk, minták felhasználásával.

A biológiai elvekre épülő irányítás (11. ábra) kifejlesztésekor pontosan ezeket a sajátosságokat kell „kihasználni”:

- egyensúly érzékelése, azaz a repülőgépre ható eredő erő irányának a mérése, és az eredménynek, mint bemenő adatnak az alkalmazása,
- a vizuális és az egyensúlyi kontrol integrálása, és
- egy sajátos, módosított neurális hálóval dolgozó irányítás alkalmazása.

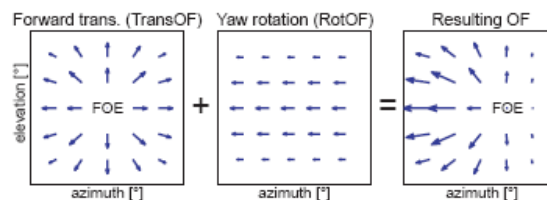


11. ábra: Az új irányítás elve

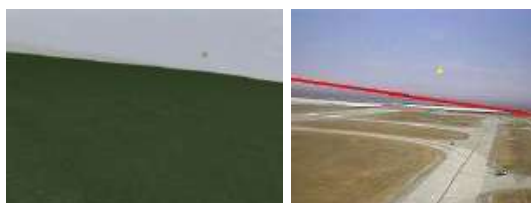
Az első, az egyensúly érzékelése viszonylag könnyen megoldható az eredő terhelési többszörös (gyorsulás) méréseivel.

A vizuális irányítás részrendszerének a kidolgozásakor három alapvető elvet lehet alkalmazni:

- a látjtható kép feldolgozásakor a tárgyak „elmozdulását” leíró vektorok terének a meghatározása (12. ábra),
- a horizont, vagy nyomvonalak felismerése (13. ábra), és
- a szabad irány, a „lyuk” megtalálása (14. ábra).



12. ábra: A haladó és a forgó mozgás képfeldolgozás során számított vektorterei [18]

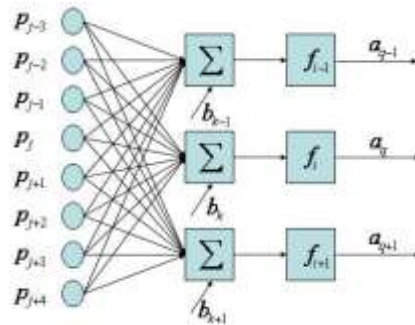


13. ábra: A horizont detektálása [19]



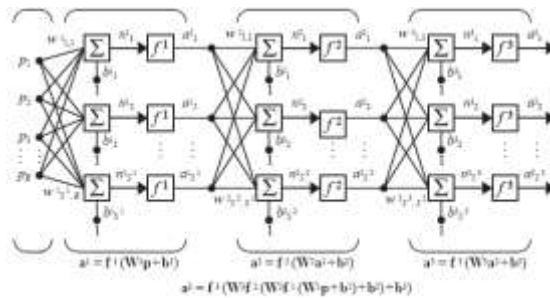
14. ábra: A “lyukra” irányítás (elvi séma)

Végül a módosított neurális háló egy olyan háló, amely figyelembe veszi az emberi gondolkodás hosszú távú memóriája alapján felidézhető információk alkalmazhatóságát.



15. ábra: Neurális háló elvi vázlata

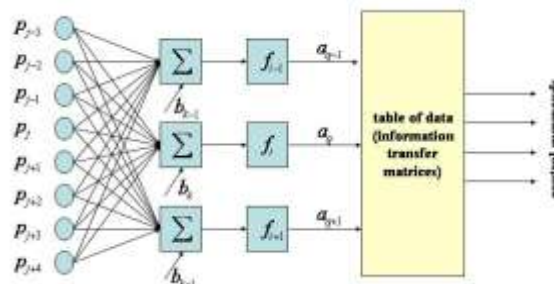
Általános esetben a neurális háló a 15. ábra szerint jellemezhető. Látható, hogy a bemenő információkat, különböző függvénykapcsolatok alapján, párhuzamosan feldolgozva kapják a kimenő jeleket.



16. ábra: Többrétegű neurális háló

Összetettebb rendszerek esetében a kimenő jeleket egy újabb neurális hálóban ismételtén feldolgozhatják. Ezzel többrétegű neurális hálót generálnak (16. ábra).

A módosított neurális háló alkalmazásakor azt javasoljuk, hogy a bemenő adatokat neurális hálóval feldolgozva, egy, a hosszú távú memóriának megfelelő adatbankból, táblázatból válasszuk ki az alkalmazandó irányítási megoldásokat. (17. ábra). Ilyen formán a neurális hálók azon tulajdonságát, hogy taníthatók kiterjesztjük egy olyan területre, amely csak ritkán fordul elő és egyedi megoldásokat igényel, pl. veszélyes helyzetek, kritikus üzemmódok során.



17. ábra: Módosított neurális háló

A vázolt irányítási elvet repülésszimulátort alkalmazva vizsgáltuk. Az eddigi eredmények alapján tervezhetjük a további vizsgálatokat, melyeket kis repülőgép modellekkel szeretnénk végrehajtani.

Összefoglalás

A BME Repülőgépek és Hajók Tanszéken egy hosszú távú kutatás-fejlesztésbe kezdtünk a biológiai elvekre épülő irányítás kidolgozására. Az eddigi vizsgálatok alapvetően az emberi gondolkodás megismerésére, a mesterséges intelligencia sajátosságaira irányultak. Ez a cikk az első eredményeket ismerteti, melyeket a következőkben lehet megadni:

Új elvek kellenek a repülőgépek repülési és terhelési határainak a tágítására,

A természetben az irányítás, azaz az emberi érzékelés, gondolkodás és döntési mechanizmus és a műszaki rendszerekben alkalmazott irányítási megoldások alapjaiban különböznek egymástól,

Fontos, hogy az új kontrol kidolgozásakor a egyensúly érzékelését, a vizuális és az egyensúlyi kontrol integrációját, a korábbi információkat (hosszú távú emlékezéshez hasonlatosan) felhasználjuk.

Ez egy módosított neurális hálózat alkalmazásával érhető el.

Felhasznált irodalom

- [1.] Keviczky, L.: Modern Control Theory with Application Aspects to Intelligent Vehicle Systems, Proceedings of the 5th Mini Conference on Vehicle System Dynamics,
- [2.] Identification and Anomalies Budapest, 11-13 November, 1996. (Ed. By prof. I. Zobory), published by Technical University of Budapest, pp. 19 – 40..
- [3.] Flight Control design – Best Practice, NATO, RTO-TR-029, AC/323(SCI)TP/23, Neuilly-sur-Seine Cedex, France, 2000.
- [4.] Shmul, M., Erenthal, E., Attar, M.: Lavi Flight Control System, in “Advances in Aircraft Flight Control” (ed. By Tischler, M.), published by Taylor and Francis, 1996.
- [5.] Rohacs, J.: Recent problems in flight dynamics and control, International Mini Conference on the Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, 2004, Conf. Proceedings (ed. By I. Zobory), BME, Budapest, 2006.
- [6.] Fruit fly eye from <http://www.nature.com/nature/journal/v431/n7009/images/431635a-f1.0.jpg>
- [7.] Zufferey, J-C.: Bio-Inspired Vision-Based Flying robots, Thesis N0. 3194 (2005), École, Polytechnique, Fédérale, de Lausanne, Lausanne, 2005.
- [8.] A fény. A Mozaik Könyvkiadó oktató programja középiskolások számára, <http://www.mozaik.info.hu/MozaWEB/feny/index.htm>
- [9.] Rohacs, J.: Controls based on the biological principles (to be published in the proceedings of ICNPAA 2006)
- [10.] Rohács, J. : Some Thoughts about the Biological Principle based Controls, (to be published in the proceedings of ICNPAA 2006)
- [11.] Rohacs, J.: Development of the control based on the biological principles, ICAS Congress, Hamburg, 2006 Sept. CD-ROM, ICAS, 2006
- [12.] Alternative Control Technologies NATO RTO-TR-7, AC/323(HFM)TP/3, Neuilly-sur-Seine Cedex, France, 1998.
- [13.] Frew, E., McGee, T., Kim, Z. W., Xiao, X., Jackson, S., Morimoto, M., Rathinam, S., Padial, J., Sengupta, R.: Vision-Based Road-Following Using a Small Autonomous Aircraft, http://www.calccit.org/c3uv/_notes/papers/FrewMKXJMRPS04.pdf
- [14.] The secret life of the brain, <http://www.pbs.org/wnet/brain/>
- [15.] Zamora, A.: Human Sense Organs, <http://www.scientificpsychic.com/workbook/chapter2.htm>
- [16.] The Human Brain, http://www.solarnavigator.net/human_brain.htm
- [17.] Davidmann, M.: How the Human Brain Developed and How the Human Mind Works, <http://www.solbaram.org/articles/humind.html>

- [18.] Neumann, J.: The Computer and the Brain, New Haven/London: Yale Univesity Press, 1958.
- [19.] Pylyshyn, Z. W.: Computers and the Symbolization of Knowledge,
<http://rucss.rutgers.edu/ftp/pub/papers/suffolk.pdf>
- [20.] Turing, A.M.: On computable numbers, with an application to the Entscheidungs problem. Proc. London Math. Society, 1936, ser. 2, 42.
- [21.] Russel, P.: The Brain Book, Peguin Group, new York, 1979
- [22.] Eliashberg, V.: What Is Working Memory and Mental Imagery? A Robot that Learns to Perform Mental Computations, <http://brain0.com/erobot.html#sect11>
- [23.] Rybak, I. A., Guskova, V. I., Golovan, A. V., Podladchikova, L. N., Shevtsova, N. A.: BMV: Behavioral Model of Visual Perception and Recognition Rostov State University, Rostov-on-Don, Russia, <http://www.rybak-et-al.net/vnc.html#PAPER>
- [24.] Zufferey, J-C., Floreano, D.: Toward 30-gram Autonomous Indoor Aircraft: Vision-based Obstacle Avoidance and Altitude Control,
<http://infoscience.epfl.ch/getfile.py?mode=best&recid=63986>
- [25.] McGee, T. G., Sengupta, R., Hedrick, K.: Obstacle Detection for Small Autonomous Aircraft Using Sky Segmentation,
http://www.calccit.org/c3uv/papers/2006/McGee_vision_ICRA2005.pdf