

Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola Természettudományi
Tanszék

Dinamikus biológiai rendszerek stabilitásának elemzése és a mérési
folyamat

Jólesz Ferenc és Szilágyi Miklós

Bevezetés

Az információelméleti és kibernetikai szemlélet egyik alapvető jellemzője, hogy mindig a lehetséges állapotok és információk egy egész sorozatát vizsgálja; mind a kiindulási adatok, mind a végső megállapítások a sorozatra, nem pedig annak egy individuális elemére vonatkoznak. Tehát a lehetőségeknek a ténylegesnél sokkal nagyobb sokaságát mérlegelik, majd pedig azt, hogy egy adott esetben miért jönnek létre sajátos megszorítások. Ez a szemlélet közös a kvantumelméletével, mivel az is jellemzője, hogy semmilyen információ, jel, azaz esemény nem mehet át egyik rendszertől a másikba anélkül, hogy a két rendszer között ne lenne kölcsönhatás. A kölcsönhatások általános elemzésére alkalmas a kvantumelmélet mérési szemlélete, amely a mérés fogalmát általában definiálja (Neumann 1932, Araki, Yanase 1960, Wigner 1962, Müller 1974).

A mérés olyan fogalmi rendszert nyújt, melynek elemei (események, kölcsönhatások, állapotok) pontosan definiáltak és összefüggésbe hozhatók. Általában az egyes konkrét jelenségek analógikus összehasonlítása mindig valamely tudományág szemléletmódjának és leírási módszereinek alkalmazását jelenti egy saját lényegét illetően még meg nem értett jelenségkör értelmezésére. Ez annyiban előnyös, amennyiben lehetővé teszi ez utóbbi jelenségkör első közelítésben való leírását. A döntő két mozzanat: az analógián alapuló modellalkotás és az egységes szemléletre való törekvés. Véleményünk szerint a kvantumelmélet mérési szemlélete olyan rend-

szerek vizsgálatához szolgáltathat egy lehetséges leírási módszert, amelyekben a kölcsönhatások komplexitása kiemelkedő és túl fontos is ahhoz, hogy el lehetne hanyagolni. Ilyen komplex rendszer az idegrendszer is. A mérési szemlélet alkalmazása a biológia ezen területén azért lehetséges, mert a környezetnek és az idegrendszernek, ill. az idegrendszer elemeinek kölcsönhatását általában mérés-ként lehet felfogni. A mérés nem kvantumelméleti jelentésű fogalmának alkalmazását neuronhálózatok elemzésére Lábos alkalmazta először (Lábos és mtsi. 1973, Lábos 1973). A kvantumelmélet mérési szemléletének segítségével - véleményünk szerint - az idegrendszer működésének elemzése teljesebbé válhat.

Célkitűzések

Az idegrendszer kölcsönhatástípusait a kvantumelméleti felosztásnak megfelelően (Müller 1974) osztályozzuk, rámutatva, hogy a biológiából ismert strukturális (huzalozás) és funkcionális (küszöb alatti és feletti folyamatok) fogalmak e szemlélettel összeegyeztethetők. Elemezni fogjuk a neuronális mérési folyamat jellemzőit, kiemelve egy határozatlansági reláció típusu összefüggés jelentőségét az ingerek (elemi információk) leképezésében. A mérési elmélet alapján feltételezzük a neuronpopulációkkal történő mérés szükségességét. Egyéb lehetőségeknek akárcsak vázlatos kifejtése is igen nagy terjedelmet igényelne, ezért jelen előadásban csak arra vállalkozhatunk, hogy összevessük a mérési elmélet és a dinamikus biológiai rendszerek elemzésének ma már klasszikusnak mondható Ashby-féle módszerét (Ashby 1954, 1972, Szilágyi, Tóth) és kiemeljük néhány közös vonásukat. Ashby ugyanis szintén a kölcsönhatások logikai rendszerét vizsgálja és részletesen elemzi az egyes részek közötti kölcsönhatások révén kialakuló stabil állapotokat. Két objektum kölcsönhatási egyensúlya viszont mérési folyamat (Marx 1971).

A kölcsönhatások elemzése

Dinamikus rendszerek elemzése általában az állapotok megismerésén alapszik. Az állapot azonban mindig kölcsönhatás eredménye, és így egy rendszer állapotainak megismerése is csak köl-

csönhatások révén lehetséges. Ezért a megismerés és az elemzés alapvető fogalma a kölcsönhatás, és az állapotváltozással szemben a kölcsönhatási folyamat a dinamizmus kifejezője. Az állapotok és változásaik a konkrét kölcsönhatásokban és nem önmagukban jellemzik a rendszert és így a rendszer (egy biológiai rendszer is) valójában a különféle kölcsönhatások együttesének jelölésére szolgáló fogalom. Ennek megfelelően az idegrendszert, mint dinamikus rendszert, folyamatok és események rendszereként foghatjuk fel.

A továbbiakban megkíséreljük összefoglalni a kölcsönhatástípusokat, ill. összehasonlítani ezek szerepét az idegrendszer működésében. A rendszerezés a kvantumelmélet alapján történt, de feltételezésünk szerint egy másik (adott esetben biológiai) kölcsönhatási szinten is megnyilvánul ezen kölcsönhatástípusok általános szerepe is.

1. A típusu kölcsönhatások

A neuronok, mint önálló egységek, individuumoknak tekinthetők. Adott strukturális (alapvető) tulajdonságaikat az alkotórészek közötti kölcsönhatások biztosítják. Az ingerülettel kapcsolatos egyéb kölcsönhatások és az ezek során fellépő energiák nem képesek strukturájukat megváltoztatni. Az individualitás, az egyedi karakter biztosítékai az A típusu alapvető kölcsönhatások. Általában - a fizikai világkép fogalomkörében maradván - azt mondhatjuk, hogy valamennyi fizikai (anyagi) objektumnál létezik valamilyen belső kölcsönhatás, amely az adott objektum minden más típusu kölcsönhatásban mutatkozó individualitását alapvetően meghatározza. Nyilvánvaló, hogy esetünkben egy jól körülhatárolt biológiai objektum alkotórészeinek kölcsönhatásáról van szó, melyek stabilitásuk révén az objektum individualitásának hordozói. A stabilitás elsősorban abban tükröződik, hogy az említett alkotórészek száma és minősége egy adott folyamaton (ingerület) belül állandó. Az általánosítás lényege az, hogy az ingerületi folyamatban szereplő kölcsönhatási energiák nem tudják megváltoztatni a neuronok alapvető minőségét. Ez nem jelenti azt, hogy állapotukat nem befolyásolják. Bár meghatározzák a jelleget (stabilitás), nem jelentenek egyben határozott állapotot is, mivel a neuron számtalan véletlen kölcsönhatásnak is ki van téve.

Az A típusu kölcsönhatások eleve meghatározzák az individuális objektum egyéb (külső) kölcsönhatásokban való részvételének lehetőségét, tehát korlátozzák azok spektrumát. A neuronális objektumok az A típusu kölcsönhatások által biztosított morfológiai és kémiai strukturájuknak megfelelően számos lehetséges huzalozásos és nem huzalozásos csatolásban szerepelhetnek más neuronális objektumokkal (axonok, dendritek és szinapszisok révén) és külső környezetükkel ("receptor" jellegű membránfelület). Az A típusu kölcsönhatások tehát stabilitásuk révén biztosítják az individuális objektum a rendszer egészével történő lehetséges csatolásainak spektrumát.

2. B típusu kölcsönhatások

A véletlen kölcsönhatások, lényegében az A típusu kölcsönhatások révén, többé-kevésbé elhatárolt (zárt) rendszernek a környezetével való kölcsönhatását (nyitottságát) testesítik meg. Az abszolút individuális állapot (abszolút stabilitás) ugyanis csak fikció, mert a neuronok állapotának alakításában a véletlen kölcsönhatások (háttér vagy zaj) is döntő szerepet játszanak. A neuronok aktuális környezetének állandó változása következtében a véletlen kölcsönhatások különböző konfigurációja képviseli az objektumnak a környezettel való kapcsolatát, ami a véletlen kölcsönhatás lényeges szerepéből kifolyóan a neuron állapotának permanens és folytonos változásához vezet.

Egy rendszer (és így egy neuronális objektum) állapotát egy állapotfüggvénnyel jellemezhetjük. A továbbiakban a kvantumelmélet állapotfogalmát használjuk (Marx 1971). Ennek értelmében mérés előtt az állapotfüggvény segítségével leírt rendszer kevert állapotban van (lehetséges állapotok sorozata), mérés révén viszont sajátállapotba jut (tényleges, meghatározott állapot). Az állapotfüggvény értelmezése a mérés előtt valószínűségi jellegű, a háttér (B típusu kölcsönhatások) folytonos ingadozása miatt nem határozható meg; kevert állapotban nem beszélhetünk mérési eredményről csak sajátállapotban. Ez egyben azt is jelenti, hogy az állapotfüggvény leírása csak a mérés révén megnyilvánuló sajátállapotok sorozata révén lehetséges. Állapotsorozattal jellemezhetünk egy rendszert akkor, amikor nem tudjuk meghatározni, azaz mérni, hogy ép-

pen milyen állapotban van, de nyomon akarjuk követni az összes lehetőségek következményeit. A sorozat nem a ténylegesen létező sorozat, hanem az, amely létezhet (Ashby 1972).

Az A és B együttesen határozzák meg a lehetséges állapotokat, melyek közül egyik sem realizálódik, ha a B konfigurációja instabil. Ilyenkor a lehetséges állapotok sorozata jellemzi a rendszert, az állapotfogalom valószínűségi jellegű. A B típusu kölcsönhatások esetén a neuronális objektum nincs sajátállapotban, de megvan a lehetősége annak, hogy adott körülmények között sajátállapotba kerüljön. Ez a feltétel egy küszöb feletti ingerrel való kölcsönhatást jelent, míg a B típusu kölcsönhatások a neuronok és környezetük közötti minden reakción belül szerepelnek, de kis intenzitású és/vagy rövid időtartamu, a neuron szempontjából egymástól független, véletlen jellegű küszöb alatti ingerek. Az A típusu kölcsönhatások által körülhatárolt csatlási lehetőségeken belül a B típusu kölcsönhatások minden konfigurációja előfordulhat, s ezek módosítják a lehetséges állapotok spektrumát (pl. gátló, vagy facilitáló postsynaptikus potenciálok), de csak folytonos küszöb alatti változásokat okoznak, meghatározott sajátállapothoz nem vezetnek.

3. C típusu kölcsönhatások

A mérési kölcsönhatás következtében realizálódik a lehetséges állapotok valamelyike. A C típusu kölcsönhatások az addig csak esetlegesen meglévő állapotok egyikét stabilizálják (kölcsönhatási folyamatok egyensulya = mérési folyamat). A B és a C egyaránt a külső környezetből származnak és a neuron nyitott jellegét testesítik meg, azonban alapvetően eltérő a szerepük. A lényeges szempont a mérési kölcsönhatás állapotmeghatározó szerepe, mivel csak C teszi lehetővé a lehetséges állapotok valamelyikének megvalósulását: a lehetségesből a ténylegesbe való átmenetet, de hogy a lehetséges állapotsorozatból melyik válik ténylegessé (stabilá) az a három kölcsönhatás együttes konfigurációjától függ. Jól értelmezhető ez a térbeli és időbeli szummáció jelenségén. Ugyanis az A típusu kölcsönhatások által meghatározott huzalozások térbeli elrendeződésén belül a más neuronális objektumokkal létrejövő B típusu kölcsönhatások tér-és időbeli eloszlása állandóan változik és csak bizonyos - térben és időben meghatározott - konfigurációjuk eredményez küszöb feletti folyamatot: C típusu kölcsönhatást.

Ultrastabilitás

Az A és B típusu kölcsönhatások együttesének permanens változása (küszöb alatti folyamatok) a neuron dinamikus jellegét fejezik ki. Minden meghatározott aktuális időpillanatban egy meghatározott állapotsorozatot képviselnek, amelyek a különböző mérések szempontjából lehetségesként szóba jöhetnek, de egyikük realizálásához (stabilitásához) C típusu kölcsönhatásra is szükség van. Ennek fennállása esetén (küszöb feletti folyamatok) mindig meghatározott, de a kölcsönhatás jellegét is magán viselő állapot realizálódik. Másrészt a B típusu kölcsönhatások kombinációinak, végső soron a környezetnek permanens változása miatt, a lehetséges sajátállapotok spektruma is állandóan változik (a B típusu kölcsönhatások küszöbmódosító szerepe, IPSP, EPSP).

A C típusu kölcsönhatások egy lehetséges állapotsorozat valamelyikét valósítják meg ugrásszerűen. Ezen állapotok mindegyike mérés esetén stabil, tehát a neuron Ashby definíciója szerint egy ultrastabil rendszer, amelynek több lehetséges stabil állapota van (Ashby 1972).

Mérési folyamat

Neumann mérési elmélete (Neumann 1932) szerint a "magára hagyott", tehát mérésnek alá nem vetett rendszer állapota az időben folytonosan változik (B típusu kölcsönhatások), ugyanakkor a várható mérési eredményekre vonatkozóan csak valószínűségi kijelentéseket tehetünk. A mérés során (C típusu kölcsönhatás) az állapotfüggvény ugrásszerűen megváltozik. Neumann ezek alapján kétféle folyamatot értelmel: az un. spontán folyamatot (B) és a mérési folyamatot (C). A mérés átrendezi a rendszert (az állapotfüggvény ugrása), és így a következő értéket már nem az eredeti rendszeren mérjük. A mérés ugyanakkor a rendszert a mért paraméter szempontjából sajátállapotba viszi, míg a mérés előtt nem volt sajátállapotban. Neumann szerint a mérés tulajdonképpeni feladata, hogy a rendszer lehetséges állapotainak spektrumát tiszta sokaságokra bontsa és ezáltal valószínűségi összefüggéseket szolgáltatson azon értékek között, amelyeket a rendszerrel való sorozatos kölcsönhatások révén nyerünk. Ezek szerint a mérés információelméleti effektus-

nak is felfogható és az idegrendszerénél éppen ez a döntő szempont. A mérés az állapotot befolyásolja: az új információ - a mérési eredmény - a rendszer állapotában tükröződik. Ez újabb mérés tárgya lehet, tehát a mérőobjektumból mérendő objektum lesz egy újabb kölcsönhatási szinten. Azonban a mérési eredmény már nem csak az eredeti ingerről (eseményről), hanem a mérési berendezésről is információt szolgáltat ezen az újabb szinten.

A mérési szemlélet a neuronális rendszerek elemzésének számos új lehetőségét veti fel, azonban itt csak néhány lényegesebb megállapításra szorítkozhatunk.

Kibernetikai értelemben egy rendszer nagyságának attól kell függnie, hogy hány megkülönböztetést teszünk. Ezek száma lényegében a lehetséges állapotokéval egyenlő. A mérés során azonban egy tényleges állapot (sajátállapot) realizálódik. A lehetséges állapotok akkor is fennállnak, ha mérés nem történik, de így a rendszer állapotát nem lehet gyakorlatilag megismerni, míg a mérési aktus lehetővé teszi ezt, a lehetséges állapotok számának (spektrumának) ugrásszerű redukálásával. Ez egyben azt is jelenti, hogy egy rendszer megismerése csak C típusú kölcsönhatások segítségével lehetséges.

A mérés statisztikus és valószínűségi jellegének oka az objektumok és így a neuronális objektumok nagy mértékben nyitott jellege. A neuronális folyamatok leírásában ugyanis úgy határoztuk meg az állapot fogalmát, hogy az A és B típusú kölcsönhatások eredménye, és a lehetséges állapotok egy adott spektrumát tartalmazza. Az A és B típusú kölcsönhatások az adott feltételek (strukturális és funkcionális csatolások) által meghatározott lehetséges spektrumot jelentik egy neuronális mérési folyamat konkrét kimenetelére vonatkozólag. Feltesszük tehát, hogy a körülmények folyamatos változása során a lehetséges állapotok ugrásszerűen meg is valósulnak és így a megfigyelés számára hozzáférhetőkké is válnak. Az állapotfüggvény által leírt valószínűségi spektrum minden egyes valószínűségi értéke mögött a kölcsönhatások egy meghatározott együttese áll: a neuron alapvető belső kölcsönhatásai, a környezetével való kölcsönhatása, a mérési kölcsönhatás. Mindegyik

objektív körülmény, egy eseményhez tartozó lehetséges állapot valószínűségének mértékét meghatározó kölcsönhatás-halmaz.

A statisztikus determináltságnak nem a mérőberendezés képezi az okát, hanem az állapotát befolyásoló véletlen ingadozások. Ezekről függ, hogy a mérés milyen állapotot talál, vagyis milyen sajátállapot realizálódik. A mérési eredmények, ill. halmazuk véletlen ingadozását, amely a statisztikus leírás alapja lehet, végső fokon a rendszer állapotának méréstől független ingadozása határozza meg. A véletlen kölcsönhatások tehát szükségszerűnek értelmezhetők, de csak adott vonatkoztatási rendszerben. Valamely méréssorozat eredményeként kapott valószínűségi eloszlás nem önmagukban jellemzi a mért mennyiségeket, hanem a különböző mérőberendezésekkel való viszonyokban. A vonatkoztatási rendszer nem passzív, mert aktívan (kölcsönhatás) hat a vizsgált paraméterrel jellemzett mérendő mennyiségre, részt vesz ennek a paraméternek a kialakításában. Egészen általános az a megfogalmazás, hogy az információkat (eseményeket) egyetlen paraméterük sem jellemzi önmagukban, kölcsönhatásoktól függetlenül, hanem ezeken keresztül. Éppen ez bizonyítja, hogy a mért események tudatunktól függetlenül léteznek, vagy léteztek, hogy mindig valamely kölcsönhatáson keresztül nyilvánulnak meg.

Az, hogy a megismerés eszköze bizonyos módon és bizonyos mértékben befolyásolja a szerzett ismereteket, nem egyedül a fizika sajátossága. Érvényes, hogy a neuronális mérőberendezések, adott időpillanatban meghatározzák a szerezhető ismeretek mennyiségét és minőségét, tehát mértékét. Ugyanakkor a megismerés dinamikus folyamata során bővül az elérhető ismeretek köre, bár az említett korlátoktól soha nem mentes. Ezen korlátozottság egyik konkrét megnyilvánulása a neuronális mérőberendezés sajátosságos "közvetítő" szerepe a megismerésben.

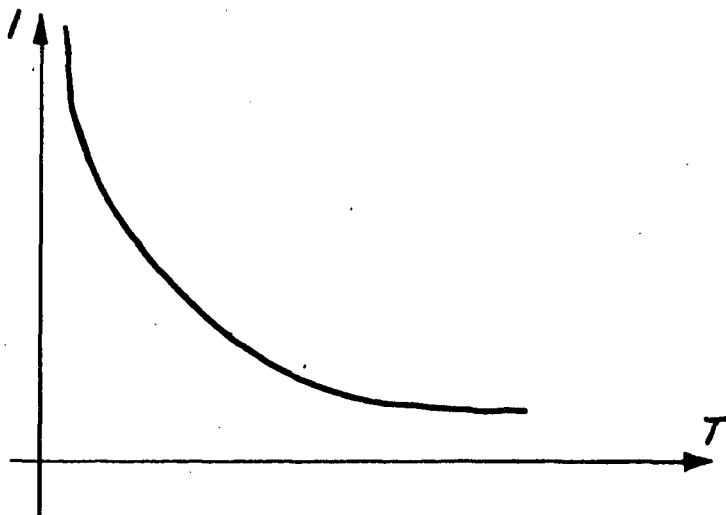
A neuron mérési folyamata és a határozatlansági reláció

A mérési elméletben megállapított másik korlátozás, hogy a spektrum folytonos tartományában csak előírt pontosságú mérés lehetséges. Ez viszont azt jelenti, hogy a mért paraméter egy

bizonyos intervallumba esik. Ezt igazolják újabb kísérleti adatok is (Lábos és mtsai 1973), amelyek véleményünk szerint alkalmasak a neuron mérési kölcsönhatásának részletesebb elemzésére is.

Az említett szerzők az ingert egy kétkomponensű vektornak fogják fel, amelynek egy intenzitás (I) és egy időtartam (T) komponense van. Megvizsgálták a neuron leképezését az ingerintenzitás, ill. az időtartam spektrumának folytonos tartományában. Megállapították, hogy a neuron csak ún. sávdiszkriminációra képes, azaz egy intenzitásintervallumhoz tartozik egy adott mérési eredmény vagy impulzus intervallum, ha az inger intenzitását változtatják, míg rögzített intenzitás mellett egy időintervallumhoz egy konkrét impulzus intervallum.

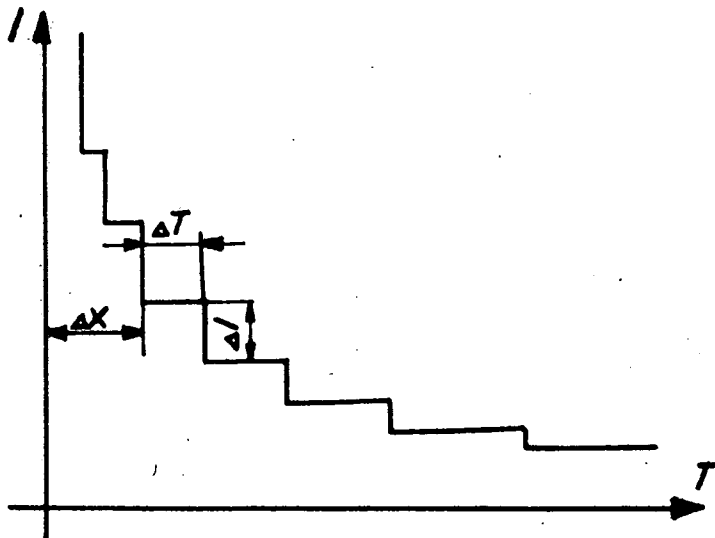
Véleményünk szerint az ingerintenzitás-időtartam, vagy strength-duration (SD) görbe (1. ábra) azt ábrázolja, hogy csak bizonyos I , T értékpárok váltanak ki küszöb feletti folyamatot.



1. ábra

A kölcsönhatástípusokkal értelmezve az SD görbe alatti területhez tartozó értékpárok, amelyek nem elég intenzívek és/vagy nem elég hosszú időtartamúak B típusu kölcsönhatásokat hoznak létre, míg a görbén lévő értékpárok C típusúakat. Az inger ebben az esetben a neuron küszöb feletti ingerületi folyamatát váltja ki, a válasz (mérési eredmény) a neuron ki-sülése lesz, amit az impulzus intervallumokkal és/vagy frekvenciákkal jellemezhetünk. Lábosnak és munkatársainak kísérleti adatai (2. ábra) szerintünk azt jelentik, hogy csak bizonyos meghatározott diszkrét értékek (mérési eredmények) adódnak megoldásként az inger-ingerület leképezésben, ahol

1. $T = \text{konstans}$. Ennek a kétféle típusu hibapárnak közös vonásai vannak azokkal a problémákkal, amelyekkel a helyzet és az impulzus mérésekor a Heisenberg-féle kvantummechanikában találkozunk és amit a határozatlansági reláció ír le.



2. ábra

Az említett kísérleti eredmények szerintünk arra vezethetők vissza, hogy a két ingerkomponens csak diszkrét értéket vehet fel a mérőobjektumon. Ezért nem is indokolt az ingert képviselő mérendő mennyiségek leírása folytonos és differenciálható függvényekkel. A kísérlet szerint is reális megállá-

pitás, hogy a neuronális folyamatok folytonos értékkészletet feltételező matematikai tárgyalása sok esetben nem kielégítő, alkalmazása a tapasztalatnak ellentmondana, és ez egyezik Ashby véleményével is (Ashby 1972). Azonban új tárgyalásmód nélkül az idegrendszeri jelenségeket helyesen értelmező elmélet kiépítése nem képzelhető el. Véleményünk szerint a neuronális mérési kölcsönhatások leírására alkalmazható a kvantumelmélet operátorfogalma. Ha az ingerhez, mint általános értelemben vett mennyiséghez, operátort rendelünk, akkor az operátorok az állapotfüggvénnyel jellemzett objektumra ugyan hatnak, hogy az operátorral jellemzett mennyiség sajátértéket vesz fel, ha az állapotfüggvény az operátor sajátfüggvénye. Az operátor sajátértékei így diszkrét sorozatot alkotnak és alkalmasak olyan mennyiség leírására, amelynek lehetséges értékei szintén diszkrétéek. A folytonos és differenciálható függvények helyett az operátorok nyújthatnak megfelelő matematikai eszközt a diszkrét értékkészletű mennyiségek mérésének leírására. Tehát a kapott mérési eredmények mindig a megfelelő operátor valamelyik sajátértékével egyeznek meg, lehetséges értékei az operátor sajátértékeivel azonosak. Az inger egy intenzitás- és egy időtartam-komponenssel jellemezhető, ezért elegendő ezek operátorainak megállapítása. Ez a szemlélet lehetővé teszi egy mennyiség lehetséges értékeinek leírását, de nem tudjuk azt megmondani, hogy egy elvégzett mérés eredményeként mikor melyik értéket kapjuk. A teljesség igénye megköveteli, hogy az időbeli állapotváltozás, kölcsönhatás törvényeit is megismerjük és ne álljunk meg egy mennyiséget reprezentáló sajátértéksorozat meghatározásánál.

Ha meg akarjuk tudni, hogy egy állapotfüggvénnyel jellemzett objektumon (neuron vagy neuronpopuláció) valamely inger milyen értékeket vehet fel, akkor csak olyan megoldások jöhetnek szóba, amelyek az operátor által reprezentált inger lehetséges sajátértékei. Méréskor az objektum az inger szempontjából sajátállapotban van és a sajátértékek a kérdéses inger lehetséges értékeit adják. Ha neuronon egy ingert mérünk, akkor a mérési eredmény (impulzus intervallum) szükségképpen a sajátértékek valamelyikével egyezik.

Ha egy mennyiség egy adott rendszeren jól meghatározott értéket vesz fel, akkor mindig vannak másfajta mennyiségek, amelyek egyidejűleg nem rendelkezhetnek ugyancsak jól definiált értékkel, ezek a mennyiségek, ill. operátoraik nem felcserélhetők. Valamint minden mennyiséghez tartoznak olyan más mennyiségek, hogy, ha az ilyen mennyiségek szórását kiszámítjuk, megállapítható, hogy a kétféle mennyiség szórása egyidejűleg nem lehet zérus, sőt, ha az egyik szórása csökken, akkor a másiké nő. A kísérleti eredmények szerintünk ezt a határozatlansági relációban leírt összefüggést a neuron mérési folyamata esetében is igazolják. A mérési eredmények tartományának szűkítése, ami az abszolút refrakteritásig lehetséges, tágítja az ingerkomponensek egyikének (intenzitás) lehetséges értékeinek tartományát, míg a görbe másik végén az időtartam komponensre vonatkozó ismeretünk lesz határozatlan.

A kétféle operátornak (intenzitás, ill. idő) nem adható egyidejűleg rögzített érték, az I rögzítése a T határozatlanságához vezet és fordítva, a leképezés határozatlansága a maximális értékek felé nő. Ez a probléma szükségképpen kapcsolódik a mértékszerű kódolási lehetőségekhez (Lábos 1973). Mivel a leképezés lényegében az eseménytér tükröződése a neuron állapotterében, az állapot az eseménytéren értelmezett valószínűségi mérték. Az inger intenzitásához, ill. időtartamához rendelt mértékek kapcsolatát egy határozatlansági reláció típusú összefüggés mutatja meg.

Ashby szerint (Ashby 1972) ha egy rendszer ultrastabil, akkor viselkedését lépcsősfüggvényként viselkedő paraméterek fogják leírni. Ha a rendszer részei elfogadnak egy változást (küszöb alatt maradnak), akkor a paraméterek megtartják értékeiket és így az állapot is változatlan marad, míg ha nem, akkor egy kritikus érték felett (küszöb) a lépcsősfüggvény ugrásszerűen meg fog változni, ami egy újabb stabil állapotot jelez. A B típusú kölcsönhatások esetében a változás folytonos és a lehetséges állapotok sorozata egy összefüggő tartományban marad. Ekkor a neuron nincs sajátállapotban. A stabilitás ekkor egy állapotsorozat stabilitását

jelenti. A rendszer ebben a tartományban folytonosan tud változni, mert folyamatosan érik véletlen jellegű, azaz nem elég intenzív és/vagy nem elég hosszú ideig tartó hatások. A rendszer tehát stabil, amíg a hatások egy bizonyos tartományban maradnak (eredeti küszöbfogalom). Egyensúlyi állapotról viszont csak akkor beszélhetünk, ha a lehetséges állapotok sorozata (stabil tartomány) egyetlen meghatározott állapotra zsugorodott. Ekkor egy sajátállapot realizálódik, azaz a lehetséges átcsap a ténylegesbe. A rendszer több egyensúlyi állapottal (további küszöbökkel) rendelkezik, tehát ultrastabil. Felvetődik a kérdés: vajon ez a sajátállapot végül is a neuron önmagában vett, azaz kölcsönhatásmentes állapota-e? Nem arról van-e szó esetleg, hogy ez csak a C típusú kölcsönhatásokhoz való viszonyára jellemző? Ez a kérdésfeltevés azonban alapvetően hibás, hiszen egyetlen tulajdonság sem jellemezhető a kölcsönhatástól függetlenül, a neuronális objektumokat is éppen kölcsönhatásaik jellemzik. A neuronra jellemző állapotfüggvény ugyan teljes képet ad, a határozatlansági reláció által megszabott korlátokon belül az adott pillanatban realizálható paraméterekről, ill. az egyes értékek valószínűségének mértékéről, azonban a lehetséges értékek közül mindig egy, vagy inkább ezek egy intervalluma realizálódik, mivel a mérési aktus az állapotfüggvény megváltozásával jár együtt. A lehetséges paraméterértékek ismeretében sem lehet egy ténylegesre pontosan következtetni, csak valószínűségi kijelentések formájában. Ugyanis a mérési szemlélet szerint a legfontosabb az állapotfüggvény megváltozása valamelyik megvalósult paraméterérték realizálása során. A mérési kölcsönhatások következtében lényegében a nem mérték valószínűségi strukturája is megváltozik. Egyetlen megvalósult paraméterérték semmit sem mond, csak a mérési eredmények valószínűségi eloszlása, ezért is kell sokaságon végezni a mérést.

Mérés neuronpopulációval

A mérési szemlélet alkalmazása felveti a neuronpopulációkkal való mérés szükségességét. Lényegében hasonló megfontolások alapján hangsúlyozzák a neuronpopulációk lényeges szerepét az individuális neuronokkal szemben (Cowan 1965, Kogan 1965, Wilson és Cowan 1972 és Lábos 1973).

A mérés kvantumelmélete is azt mutatja, hogy a kvantummechanikai kijelentések a mérési eredmények valószínűségei közötti összefüggésként interpretálhatók. Wigner a nem pontosan mérhető mennyiségek ismeretére vonatkozó mérték jellemzésére egy mennyiséget definiál (Wigner 1962), amit "ferde információ"-nak nevez. Feltételezésünk szerint az inger mennyiségei, komponensei sem mérhetőek pontosan. Amennyiben a mérést sokaságon hajtjuk végre, akkor ez a "ferde információ" átlagban csökken, ha az átlagolást a különböző lehetséges mérési eredmények megfelelő valószínűségeivel végezzük.

Tekintetbe kell azt is vennünk, hogy a neuronális rendszer egy sokkal nagyobb rendszernek, az idegrendszernek a része. A mérés folyamán a mérendő mennyiség ezzel a nagyobb rendszerrel áll kölcsönhatásban. A mérés maga az egész rendszernek csupán egy részrendszerében megy végbe, a mérési eredmények a rendszerben (neuronpopulációban) jelennek meg. A részrendszer azonban kölcsönhatásban áll a rendszer többi részével. Nevezhetjük tehát a mérésben közvetlenül résztvevő rendszert mérőberendezésnek (ami makroszkópikus, mert sokaság), ez azonban csak akkor érdemi meg ezt az elnevezést, ha szoros kapcsolatban van a rendszer többi részével, azaz nyitott. Ez a probléma a neuronális szerveződésnek egyik leglényegesebb kérdése. Ebből ugyanis az következik, hogy az egyes részek elvesztik individualitásukat, mivel egyértelműen meghatározott állapota csak a környezetétől teljesen elszigetelt, zárt rendszernek lehet, ami a neuronhálózati koncepcióból is nyilvánvalóan következik. A kvantumelmélet sem tartalmaz olyan dinamikus törvényeket, amelyek egy rendszer egyes részeinek kölcsönhatását egyértelműen megszabná, hasonlóképpen nem lehetséges az egyes neuronok, vagy neuronpopulációk kölcsönhatásait mechanisztikusan determinált törvényekkel leírni. Az individualitást meghatározó kölcsönhatások (A) mellett, sőt általuk biztosítva, mindig fennállnak B és bizonyos esetekben C típusu kölcsönhatások is. A neuronok a mérést megelőző állapotstruktúrájuknak megfelelően mérik az ingert és mérési eredményként tükrözik. Egy másik neuronon végrehajtva ugyanezt a mérést más sajátértékeket kapunk. A neuronpopulációban a mérési eredmények sorozata és azok eloszlása jellemzi a mért mennyiséget és a mérőberendezé-

sek állapotát, amelynek kialakításában az egész rendszer résztvesz a \underline{D} típusú kölcsönhatások révén. A mérési folyamat az állapotot befolyásolja, az új információ, a mérési eredmény a rendszer állapotában tükröződik. Ez az állapot azonban az egész rendszerre vonatkozik, tehát az állapot statisztikus jelentésű, a mérést sokaságon hajtottuk végre.

\underline{S} mérőrendszerrel \underline{R} mennyiség megmérhető, de \underline{R} és \underline{Z} mennyiség egyidejűleg nem. Ez egy neuron esetében is így van. Azonban a mennyiségeket nem csak egy \underline{S} objektum méri, hanem egy sokaság, amiben \underline{N} számú \underline{S} van, ahol \underline{N} véges, de igen nagy szám. Egy ilyen S_1, \dots, S_N összességben egy \underline{R} mennyiségnek nem a pontos értékét mérjük, hanem értékelőelosztását. Ennek a mérésnek nagy előnye, hogy amíg \underline{R} mérése az S_i rendszert erősen megváltoztatja (sajátállapotba viszi) \underline{R} eloszlásának felvétele az S_1, \dots, S_N összességen tetszőlegesen keveset változtat, ha \underline{N} elég nagy szám. Ha két $\underline{R}, \underline{Z}$ mennyiség az egyes \underline{S} rendszeren nem is mérhető egyidejűleg tetszőleges pontossággal (pl. egy neuronnál \underline{I} és \underline{T}), valószínűségeloszlásaik egy és ugyanazon sokaságban egyidejűleg meghatározhatók. Egy \underline{N} elemű összességnél ugyanis elég az \underline{R} statisztikáját nem az összes elemen elvégezni, hanem valamilyen S_1, \dots, S_M részrendszeren, ha \underline{M} és \underline{N} mindegyike elég nagy szám, bár \underline{M} egészen kicsiny lehet \underline{N} -hez képest. A mérés által előidézett változások ekkor az összességnek csupán $\underline{M}/\underline{N}$ -ed részét érintik, tehát egy tetszőlegesen kicsiny részt. Lényegében tehát ilyen összességben való mérésre azért van szükség, mert az egyes rendszereket a mérés erősen befolyásolja és azért, mert két mennyiség nem mérhető egyidejűleg tetszőleges pontossággal (utalunk itt a határozatlansági relációra és annak következményeire egy neuron mérésénél).

Multistabilitás

Egy ún. multistabil rendszer (Ashby 1954, 1972) lazán csatolt ultrastabil részrendszerekből áll, melyek közül nem mindegyik aktív (mér) minden időpillanatban és ezért ugy ké-

pes megváltoztatni aktív részrendszereinek konfigurációját (a mérés sokaságon keverékállapothoz vezet), hogy közben az egész rendszer egyensúlyban marad. A 'laza' csatolás véleményünk szerint annyit jelent, hogy az egyes részek között mindig van B típusu kölcsönhatás, de csak bizonyos esetekben C típusu, ami ezzel szemben szoros csatolást jelentene a mérésben résztvevő objektumok között. Az A, B, C típusu kölcsönhatások alapvető különbségéből következők, hogy bár a rendszer részei mindig kölcsönhatásban lehetnek egymással (A) és ezek a csatolások meg is valósulnak (B) azonban ez általában laza, véletlenszerű és csak időlegesen, a mérés időtartamára válik szoros, meghatározott csatolássá.

Ashby definíciója szerint is heterogén állapotú a rendszer. Nyilvánvaló, hogy mérési kölcsönhatások átrendezik a rendszert (az egyes részekben fellépnek ugrásszerű állapotváltozások), de a lehetséges állapotkombinációk az egész rendszert tekintve egy stabil tartományt alkotnak, amelyen belül folytonosan változnak. Az egész rendszert tekintve az egyes részrendszerek mérési kölcsönhatásai (C) egy folytonosan változó háttérrel (B) alkotnak.

Összefoglalás

A kölcsönhatás jelentőségét általában a mérés fogalma emeli ki, hiszen a környezet eseményei (információk) mindig a mérőberendezésekkel, (speciálisan neuronális objektumokkal) való kölcsönhatás során mutatkoznak meg. Ennek a ténynek információelméleti jelentősége van, annyiban, hogy nem lehet elvonatkoztatni a megfigyelés eszközeitől, mivel a mérési kölcsönhatás megváltoztatja az objektum állapotát. Ez lehetővé teszi a kvantumelmélet mérési szemléletének alkalmazását, amely szerint a viszonylagosság új elemét kell bevinni a leírásba, a megfigyelés eszközához való viszonylagosságot.

Az idegrendszeri kölcsönhatástípusok és a kvantumelméleti kölcsönhatások összefüggésbe hozhatók. A neuronális mérési folyamat elemzése ezek segítségével elvégezhető.

A neuronális objektumok paramétereikhez tartozó diszkrét értékészlet adekvát matematikai leírásának követelménye szükségképpen el kell, hogy vezessen az ingert jelentő mennyiségek operátor-reprezentációjához. A kísérleti adatok alapján feltételezett határozatlansági reláció típusu összefüggés fel nem cserélhető operátorokkal magyarázható.

A mérési eredmény mindig a mérési sorozatra vonatkozik, a mért mennyiségnek a sokaságon pontos értéke nincs, csak valószínűségi eloszlása.

Véleményünk szerint lehetőség nyílik a mérési kölcsönhatás egy olyan általános felfogására, ahol az idegrendszer mérési folyamatai csak mint speciális esetek jelennek meg, adott kölcsönhatási szinten. Szükséges a lehetséges-tényleges viszonyával jellemzett kvantumelméleti állapotfogalom részletes kifejtése a neuronális kölcsönhatási szint elemzésével. Ugyanakkor részletesebben kell foglalkozni azokkal a tényezőkkel is, amelyek a neuronális jelenségeket minőségileg megkülönböztetik a kvantummechanikai jelenségektől.

Irodalom

1. Araki, G., Yanase, M.: Measurement of Quantum mechanical Operators. Phys. Rev. 120, 622., 1960.
2. Ashby, W.R.: Design for a brain. Chapman & Hall, London, 1954.
3. Ashby, W.R.: Bevezetés a kibernetikába. Akadémia Kiadó, Budapest, 1972.

4. Cowan, J.D.: The problem of organismic reliability. Cybernetics of the nervous system Wiener-Schadé (ed). Progress in Brain Research Vol. 17. Elsevier, Amsterdam, London, New York, 1965.
5. Kogan, A.B.: Probability-statistical model of the brain organization. Idem.
6. Lábos E., Krüger Z., Schlobassi, R.: Intenzitás-diszkrimináció neuronok szóma-membránjában. MÉT XXXIX. Vándorgyűlése, Pécs, 1973.
7. Lábos E.: Mértékszerű kódolási eljárásokkal működő neuronhálózatok. NJSZT Kollokvium, Szeged, 1973.
8. Marx Gy.: Kvantummechanika. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1971.
9. Müller A.: A kvantummechanika filozófiai kérdései. Gondolat, Budapest, 1974.
10. Neumann, J.v.: Mathematische Grundlagen der Quantummechanik. Springer Verlag, Berlin, 1932.
11. Szilágyi M., Tóth Sz.: Stabil biológiai rendszerek elemzése az Ashby-féle modell alapján. Orvos és Technika.
12. Wigner, E.: Theorie der Quantummechanischen Messung. Physikertagung, Wien, 1962.