

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

MESTERSÉGES INTELLIGENCIA SOROZAT

Mérő László

**A mesterséges intelligencia
és a kognitív pszichológia
kapcsolata**

KÉZIRAT

TANKÖNYVKIADÓ, BUDAPEST, 1989

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

MESTERSÉGES INTELLIGENCIA SOROZAT

Mérő László

**A mesterséges intelligencia
és a kognitív pszichológia
kapcsolata**

KÉZIRAT

TANKÖNYVKIADÓ, BUDAPEST, 1989

1. A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ÉS A KOGNITÍV PSZICHOLÓGIA IRÁNYZATAI

A mesterséges intelligencia egyfelől egyfajta műszaki tudomány, amennyiben feladata egy adott működés létrehozása minél jobb minőségben, mesterségesen megvalósítható és reprodukálható eszközökkel. Jobb híján erre a célra jelenleg a számítógépet használjuk. A létrehozni kívánt működés pedig többnyire olyasvalami, amire, ha ember végzi, azt szoktuk mondani, hogy magas szintű intelligenciát igényel. Ilyen lehet egy szöveg lefordítása egyik nyelvről a másikra, különféle szakterületeken (orvosdiagnosztikában, genetikai beavatkozások, óriásmolekulák nyomtatott áramkörök, olajkutató fűrészek, stb tervezésében) értelmes, hasznos tanácsok adása, sakkozás, és egy sor más, az ember által örömből vagy kényszerűségből végzett tevékenység.

Ahhoz, hogy ezekre a feladatokra jó minőségű programot írjunk, elvileg egyáltalán nem szükséges az, hogy akár halvány fogalmunk legyen arról, hogy ezeket a tevékenységeket az emberi agy valójában hogyan végzi. Elképzelhető, hogy egészen más úton, alkalmas matematikai algoritmusok vagy áramkörök segítségével lényegesen jobb megoldást sikerül alkotni. Így például ha pusztán az ember bizonyos memóriefunkcióinak megvalósítását tűzzük ki célul a mesterséges intelligencia számára, (mondjuk telefonszámok megjegyzése és visszakeresése név, cím vagy szám szerint), akkor a rendelkezésünkre álló számítógépek és programozási technikák segítségével máris messze felül tudjuk múlni az ember ilyen képességeit, jóllehet egészen más eszközökkel és, (mint látni fogjuk), egészen más szervezési elvek alapján, mint ahogy az ember memóriája működik.

Másfelől a mesterséges intelligencia a természettudományos megismerés egy új eszközének is tekinthető, amennyiben lehetőséget ad arra, hogy az ember gondolkodási mechanizmusairól szóló ismereteinket modellezzük a segítségével. Egy ilyen modellnek a fő haszna az lehet, hogy meggyőződhetünk arról, hogy elképzeléseink mennyire működőképeseek illetve mennyire írják le jól gondolkodási mechanizmusainkat. Egy ilyen modellnél nem is annyira az a célunk, hogy minél jobb minőségű programot állítsunk elő, hanem inkább az, hogy működése minél inkább hasonlítson az emberére: hasonlóak legyenek az erényei és a hibái. Például egy műszaki szemmel készített sakkprogram értékelésénél az egyetlen szempont az, hogy versenyeken milyen eredményeket ér el. Egy gondolkodási modellnek készült sakkprogramot többre értékelhetünk egy

olyan programnál, amelyik őt esetleg rendszeresen megveri akkor, ha jobban elhisszük az általa játszott játszmákról, hogy ezeket akár ember is játszhatta volna.

Bármilyen jól is közelítené az emberi gondolkodási folyamatokat egy modell, egy műszaki ember valószínűleg sohasem követné azt pontosan, amikor egy célirányos rendszert épít. Nyilván nem korlátozná magát az ember biológiai korlátaival (például a következő fejezetben bemutatandó rövid idejű emlékezet kapacitásának nagyon behatárolt voltával), ha őt erre semmi műszaki ok nem kényszeríti. Másfelől viszont azt is látni fogjuk, hogy a tisztán műszaki gondolkodásmód alapján készített eddigi mesterséges intelligencia programok teljesítőképesége egy bizonyos határt nem lépett át, holott az emberek egy része képes ezt a határt messze meghaladni. Ez a mesterséges intelligencia számos kutatóját arra készítette, hogy behatóbban foglalkozzon az ember gondolkodási mechanizmusainak megismerésével és kutatásával.

Ezen a ponton találkozunk a mesterséges intelligencia a pszichológia úgynevezett kognitív irányzatával. Nem részletezzük itt általában a pszichológia különböző irányzatait, de röviden szólnunk kell erről a közelítésmódról.

Az emberi gondolkodás kutatása a pszichológia egyik klasszikus témája. Alapkérdései, hogy hogyan, milyen formában tároljuk magunkban a világról szóló ismereteinket, mik az eszközeink arra, hogy mozgósítsuk ezeket újabb és újabb problémák megoldására. Mi szervezi bennünk az ismereteket gondolkodássá, problémamegoldó képességgé. Mit jelent az emlékezés, a tanulás, a felidézés, az aszociálás, a kreativitás, és egyáltalán: az intelligencia fogalma. Milyen folyamatok zajlanak le bennünk, amikor valamit megismerünk a világról. Erről az utóbbi kérdésről kapta nevét a kognitív pszichológia irányzata (kognició = megismerés), de nem a kérdésfeltevés módjával hozott újat a pszichológiában, (azok, ha belegondolunk, több ezer éves kérdések) hanem szemléletmódjával, vizsgálódásának módszereivel, eszközeivel.

A kognitív pszichológia annak a huszadik századi természettudományban egyre általánosabbá váló alapállásnak a terméke, amely szerint a tudomány nem feltétlenül a természetben ténylegesen szerepet játszó elveket, folyamatokat, törvényeket írja le, hanem olyan fogalmakat, gondolati rendszereket alkot, amelyek működése lehetőleg minél jobban megközelíti, modellezi a természetben lezajló folyamatokat. Ezekről a modellekről, mivel eleve ember alkotta rendszerek, remélhető, hogy sokkal egyértelműbben és egzaktabbul tudunk beszélni, mintha közvetlenül a természeti rendszerekről beszélünk. Egyre kevésbé hiszünk abban, hogy "a matematika a természet könyvének nyelve". Manapság inkább úgy fogjuk fel a dolgot, hogy a matematika is valamiféle leíró nyelv, amelynek konkrét formája, "nyelve" ugyanolyan esetleges, mint a szanszkrit vagy a spanyol nyelv konkrétsága. Egyfajta ember alkotta szabályrendszer, mint a sakk vagy az udvariaság.

Ezzel együtt, a matematikának kétségtelenül nagy leíró ereje van. Ez akkor is bebizonyosodott használatának évszázadai során, ha a matematika természeti tény voltát manapság megkérdőjelezzük. Ha a matematikai számításokkal kapott eredményeket jóslásoknak, előrejelzéseknek fogjuk fel, akkor ezek rendszeresen, nagy pontossággal beválnak, legalábbis azokban a tudományokban, amelyek létrehozták: a fizikában, a csillagászatban, stb. Kevésbé meggyőzőek a matematikai modellek eredményei azokban a tudományokban, amelyek csak az utóbbi időben kezdték használatba venni: a közgazdaságtanban, a biológiában, a pszichológiában. Ennek a tapasztalatnak lehet oka az, hogy egyelőre nem találjuk ezeknek a tudományoknak az alkalmas matematikáját. Lehet oka az is, hogy ilyen nincs is: ezekben a tudományokban a matematika valóban csak többé-kevésbé rossz közelítő leírást adhat. Mindenesetre még ezek a leírások is gyakran sokkal alkalmassabbak az illető tudományok összefüggéseinek, törvényszerűségeinek megismerésére, mint ha nem használnánk őket, mintha megelégednénk az összefüggések fogalmi, kvalitatív leírásával.

A pszichológia kognitív irányzata arra törekszik, hogy az ember megismerési, gondolkodási folyamatait minél egzaktabb modellekben fogalmazza meg, mindazonáltal gondolkodásról szóló, az évszázadok során kialakult fogalmak megtartásával, amennyire lehet. Teljes sikernek talán az számítana, ha a gondolkodás részegységeit és szerkezeteit matematikai objektumok, konstruktumok formájában tudná leírni. Sajnos azonban nagyon nehéz megmondani, hogy mik legyenek egy ilyen modell alapobjektumai és ezek működésének szabályrendszere. A 2. fejezetben ezeknek a problémáknak egy részét sokkal világosabban fogjuk felvetni és megvizsgálni.

Amennyiben elfogadjuk a most vázolt hozzáállást, már alig különböztethetőek meg a mesterséges intelligencia és a kognitív pszichológia modelljei: mindkét tudomány ember által konstruált eszközökkel dolgozik, ezek működését elemzi. A gyümölcsök hasonlóak, de a gyökerek és a célok nagyon mások. A kognitív pszichológia indíttatása a deskripció, egy ténylegesen létező, természet adta működés minél jobb leírása, míg a mesterséges intelligencia indíttatása a konstrukció, a működés létrehozása. Ehhez mindkét tudománynak szüksége lehet a természet adta működés megértésére, ezért fonódik össze napjainkban a két tudományág. Ha netalán ezt a célt elérnék, útjaik ismét szétválának: a mesterséges intelligencia kutatóit ezek után a működés mesterséges megvalósításának és javításának technikai lehetőségei érdekelnék, a pszichológusok ezek után inkább az általános elveken belül fellelhető egyéni különbségek okait és szerepét kutatnák. A kognitív pszichológia azért keresi az emberi gondolkodás jól működő modelljeit, mert ez számára a megértés eszköze lehetne. A mesterséges intelligencia azért, mert ez számára hasonló (vagy jobb) működések létrehozásának eszköze lehetne.

A két tudományág közvetlen feladatai és módszerei tehát napjainkban nagyon hasonlóak, de mivel indíttatásuk, szemléletmódjuk és céljaik nagyon különböznek, más és más hozománnyal jutottak el arra a pontra, ahol találkoztak. Ezért egyértelműen van mondanivalójuk egymás számára. Mindkét tudományág ért el olyan jelentős eredményeket, amelyek a másik érdeklődésére számot tarthatnak. Ezzel együtt természetesen mindkét tudományág létezik egymástól függetlenül is, és "éli az életét": a mesterséges intelligencia, mint műszaki-matematikai diszciplína újabb és újabb módszereket, algoritmusokat fejleszt ki feladatainak megoldására, és a kognitív pszichológia, mint pszichológiai diszciplína, az emberi gondolkodás újabb és újabb összefüggéseit tárja fel.

Ebben a tanulmányban olyan eredményeket tekintünk át, amelyek eléggé lényegesen megváltoztatták e két tudomány gondolkodásmódját.

A 2. fejezetben a kognitív pszichológiának az ember gondolkodási sémáinak megismerésével kapcsolatban elért néhány eredményét írjuk le. A 3. fejezetben egy pszichológiai kísérlet tanulságai alapján becsléseket fogunk végezni arra, hogy egy sakknagymester hányféle sakkal kapcsolatos sémát ismerhet. A 4. fejezetben az észlelés és a memória kognitív pszichológiai modellje alapján egy, ezt modellező mesterséges intelligencia-feladat megoldásának egy lehetőségét mutatjuk be, amelynek alapján a 3. fejezetben kapott becsléseket általánosíthatjuk. Az 5. fejezetben az emberi szakértelem különböző szintjeinek jellemzőit vizsgáljuk a korábbi eredmények fényében. A hatodik fejezetben a mesterséges intelligencia eddig elért eredményeit értékeljük az emberi szakértelem szintjei alapján. Megállapítjuk, hogy a legtöbb területen a mesterséges intelligencia eddig az emberi mesterjelöltnek megfelelő szintet volt képes elérni, és egyetlen területen sem volt képes azt lényegesen meghaladni.

2. A KOGNITÍV PSZICHOLÓGIA SÉMAFOGALMA

Klasszikus megállapítás, hogy az egész több, mint a részek összege. Egy dallam több, mint a hangok egymásutánja, egy szimfonia több, mint egy dallam. Egy katedrális több, mint a kövek összege. Nem is egyszerűen több: más. Nagy kérdés, hogy hol, milyen ponton áll bennünk össze ez a másság: már az észlelés, az érzékelés szintjén, a megjegyzés, az emlékezés szintjén vagy csak a tudatos gondolkodás szintjén? Vagy esetleg máshol, sehol vagy mindenütt? A pszichológiának a huszadik század elején kialakult egyik irányzata, a Gestalt-pszichológia (magyarul nem túl szerencsés fordítással alaklélektannak is nevezik) pont ezt a kérdést ragadta meg tudományos eszközökkel. A legkülönbözőbb érzéki csalódások, együtt érzékelt struktúrák vizsgálata során arra a megállapításra jutott, hogy gondolkodásunk szinte minden folyamatában tettenérhetők olyan lépések, amikor akár anélkül, hogy ennek tudatában lennénk, észlelgesen, a részletek külön elemzése nélkül jutunk eredményre. Ezt a jelenséget nevezték el német Gestalt szóval, amely alakot, alakzatot, mintázatot jelent.

A Gestalt-pszichológia nagyon sok jelenség közös lényegét ragadta meg anélkül, hogy sikerült volna egyértelműen, egzaktul definiálnia, hogy mit is ért a Gestalt fogalmán. Ezzel együtt, már ez a nem egzakt fogalom is igen termékenynek bizonyult a különböző gondolkodási struktúrák összefüggéseinek feltárásában; új, jól vizsgálható és szinte mindenkinél fellépő érzéki, emlékezési és gondolkodási csalódások felismerésében és előrejelzésében. Ahogy a felismert Gestaltok száma nőtt, és ahogy a példák a gondolkodás legkülönbözőbb területeiről és fázisairól is szaporodtak, megkísérelték a Gestaltok egyes alfajait külön nevekkel azonosítani, meghatározni az alaptípusokat. E törekvés arra vezetett, hogy több tucatnyi új pszichológiai fogalom született, amelyeket egyre nehezebb volt elkülöníteni, szétválasztani egymástól. A különféle Gestaltok fogalomrendszere olyan dzsungellé vált, ahol egyre több a hasonlóság az egyes fogalmak között, mint a különbség.

Nem célunk itt az egyes Gestalt-szerű fogalmak részletes elemzése és megkülönböztetése, már csak azért sem, mert eléggé reménytelen feladatnak látszik. Ehelyett egy másik utat választunk, amely a huszadik század második felében alakult ki és nagyon biztató eredményeket ígér arra vonatkozóan, hogy a gondolkodás jellegét mélyebben megértjük.

Ezt az utat a kognitív pszichológiai megközelítés alakította ki. A sokféle modell között, amelyet a kognitív pszichológia az emberi gondolkodás, emlékezés, feladatmegoldás leírására felállított, megkísérelte az embert úgy is vizsgálni, mint egyfajta speciális információátvivő berendezést. Az ilyen vizsgálatok során egy furcsa meglepetés érte a kutatókat, amikor azt vizsgálták, hogy egy adott időegység alatt mennyi információt képes az ember átvinni (azaz például visszamondani a kísérletvezetőnek). Azt tapasztalták, hogy ha például szép lassan mondunk három szót, azt az emberek vissza tudják mondani. Négyet, ötöt is. Tizenkettőt már nem. Valahol hét körül van a határ. Ez eddig semmi különös, csak egy küszöbszám megállapítása. Az már érdekesebb, hogy ez a küszöbszám gyakorlatilag függetlennek bizonyult attól, hogy az egyes szavakat milyen időközönként mondjuk, legalábbis igen tág határok között. Akkor is hét körül van a küszöbszám, ha egy másodpercenként mondjuk a szavakat és akkor is, ha három másodpercenként. Ez az észrevétel azért különösen izgalmas, mert azt jelzi, hogy az ember ennél a feladatnál nagyon másképp viselkedik, mint a szokásos műszaki információátviteli berendezések (például a távíró).

Hasonló küszöbszámot kaptak akkor is, ha nem szavakat, hanem más ingereket: különböző magasságú hangokat, színeket, szagokat, stb adtak. Ennek alapján alapvetően módosítani kellett azt a kiindulási elképzelést, hogy talán tekinthetjük (legalábbis valamilyen szempontból) az embert a műszaki információátvivő berendezésekkel analógnak. Radikálisan más modellt kellett felállítani.

Ez a felismerés vezetett ahhoz, hogy a memóriát is felosszuk a modellünkben: talán van értelme külön hosszúidejű és külön rövididejű memóriáról beszélni. Vegyük észre, hogy ez az elképzelés már teljesen a pszichológia sajátja: sem a műszaki analógiákból, sem az anatómiai vagy élettani tényekből nem adódik. Ez a modell valami olyan, ami speciálisan az emberi gondolkodás pszichológiai vizsgálata során fogalmazódott meg és vált, immár a saját jogán, vizsgálatra érdemessé.

Természetesen eleinte semmi garancia nem volt arra, hogy ez a modell az emberi emlékezet jó leírásának bizonyul. Inkább a kényszer szülte, hogy valahogyan keretbe tudjuk foglalni a tapasztalt érdekes, furcsa jelenségeket. A modell azonban nagyon jó leíró erejűnek bizonyult a legkülönbözőbb kísérletekben. Ráadásul a kétféle memória létezésének bizonyítására tervezett kísérletek egy olyan jelenségre is felhívták a figyelmet, amelyről részletesebben is érdemes szólnunk.

Ha nem teljes szavakat mondunk vissza a kísérleti személlyel, csak értelmetlen szótagokat, vagy esetleg csak betűket, akkor is körülbelül 7-nek bizonyul az említett küszöbszám. Sőt, ha tovább megyünk, és jól ismert szókapcsolatokat vagy akár szállóigéket mondunk vissza, akkor

is. Tehát egyszerre körülbelül ugyanannyit tudunk megjegyezni betűkből (H, S, U, K, M, P, I, stb), szavakból (asztal, Duna, pongyola, zsiráf, stb) és jól ismert mondatokból (lenni vagy nem lenni, ez itt a kérdés; ég a napmelegtől a kopár szik sarja; ember küzdj és bízva bízzál, stb). Úgy tűnik tehát, hogy a rövididejű memóriának valami nagyon is jól meghatározott kapacitáskorlátja van - kb. 7 egység. De hét milyen egység? Hiszen a 7 jól ismert mondat több tucat szót illetve több száz betűt is tartalmazhat!

Látható, hogy itt a kognitív pszichológia egyfajta izgalmas invarianciajelenséggel találkozott. A fizika tapasztalata megtanított minket arra, hogy ahol invarianciajelenségeket találunk, ott többnyire valami fontos fogalom, fizikai mennyiség lappang a dolgok mélyén. Mindenesetre el kellene valaminek nevezni azt az egységet, amelyben a rövididejű memória kapacitásának a korlátja méretik.

Nevezzük a rövid idejű memóriát angol rövidítése (Short Term Memory) alapján STM-nek, a hosszúidejű memóriát (Long Term Memory) pedig LTM-nek. Azt az egységet pedig, amelyben mérve az STM kapacitása az egység tartalmától, jelentésétől invariáns módon körülbelül 7, nevezzük kognitív (megismerési) sémának.

Az elnevezés alapja az, hogy a különböző féle Gestaltok elemzése során a "séma" kifejezés egyre gyakrabban került elő, többnyire valamilyen pontosító jelzővel. Így például beszélnek ikonikus (képi), epizodikus (történeti), procedurális (eljárási), orientációs (tájékozódási), percepció (észlelési) sémákról; személyiség-, szerep-, szöveg-, oksági-, következtetési sémákról, vagy működési módjuk szerint statikus, dinamikus, relációs, analitikus, szintetikus sémákról, és sok másfajta sémáról is. Ha kvalitatívan próbáljuk nézni, hogy miféle dolgok lehetnek azok, amelyeket az STM egy egységként képes kezelni, ilyen sémák bármelyike felmerülhet a különféle kísérletek folyamán.

Attól még, hogy nevet adtunk a fogalomnak, nem jutottunk sokkal előbbre a megértésében. Az ilyen fajta névadás könnyen vezethet körben forgó érvelésekhez. Végülis egyelőre csak annyit mondtunk, hogy egyfelől milyen érdekes, hogy a legkülönbözőbb fajta sémákból az STM éppen hetet tud megjegyezni, másfelől pedig definíció szerint legyen a séma az, amiből az STM körülbelül hetet képes egyszerre megragadni. Ez a fajta fogalomalkotás ugyan befolyásolhatja a gondolkodásunkat és önmagában is eredményes kísérletek tervezéséhez, érdekes gondolati konstrukciók megalkotásához vezethet, de azt semennyire sem bizonyítja, hogy a fogalom alapja valamiféle, a természetben tényleg létező dolog.

Kicsit hasonló a helyzet ahhoz, mint amikor Newton kimondta második törvényét: $P=ma$. Törvény ez, vagy csak az erő fogalmának egy lehetséges definíciója? Önmagában nyilván csak az utóbbi. A newtoni mechanika felépíthető e definíció alapján, de arról nem mond semmit, hogy mi is az erő. Ha azonban ehhez hozzávesszük például Hooke törvényét a rugó

megnyúlásáról, ott egy Newton törvényétől függetlenül definiálható erőfogalommal találkozunk. Hooke törvénye is önmagában csak egy lehetséges definíció lenne az erőre (miszerint valami, ami arányos a rugó megnyúlásával). Viszont a két definíció alapján vizsgált erőfogalom már összevethető egymással: megnézhető, hogy az egyik erőfogalom azonos-e a másikkal; az egyik definíció alapján mért mennyiség mindig konstansszoros-e a másik alapján mértnek. Sőt, olyan kísérlet is tervezhető, ahol mindkét erőfogalom egyszerre fellép, például ha egy spirálrugót vizsgálunk: ott lesz megnyúlás is és gyorsulás is az erő hatására. Az, hogy a két egymástól független erőfogalom a kísérletek alapján ugyanannak bizonyult, nagy mértékben hozzájárult ahhoz, hogy valóban elhisszük, hogy az erő valóban a fizika egyik alapfogalma, függetlenül attól, hogy nekünk mik az elképzeléseink a fizikáról.

Általában: definiálhatunk egy x fogalmat, miszerint x értéke legyen $x=am$, ahol m egy mérhető mennyiség, a pedig konstans. (Például ha Newton II. törvényében az m tömeget konstansnak vesszük). Ezzel x értéke is mérhetővé válik, és lehet, hogy az x fogalomról könnyebben tudunk gondolkodni, mint az eredeti m fogalomról (jobban illeszkedik meglévő gondolati struktúráinkhoz), de alapvetően újat még nem fedeztünk fel, legfeljebb eddigi ismereteinket egy a korábbinál jobb, egyszerűbb, érthetőbb rendszerbe foglaltuk. Ha viszont (megintcsak meglévő gondolati struktúráink alapján) ugyanezt az x fogalmat egy másik, m -től teljesen független, mérhető n mennyiséggel is definiáljuk: $x=bn$, akkor már kísérletekkel vizsgálható, hogy igaz-e az, hogy az m és n egymáshoz tartozó értékeire m/n mindig konstans. Ha ez igaznak bizonyul, az immár azt igazolja, hogy fogalomalkotásunk helyes volt, gondolati struktúráinkból adódó elképzeléseink az x fogalom természetéről (azaz hogy m -mel is és n -nel is az adott módon kellene, hogy összefüggjön), helyesnek bizonyultak. A kisebbik vívmány, hogy felfedeztünk m és n között egy új összefüggést. A nagyobbik, hogy elképzeléseink az x fogalom természetéről beigazolódtak: haladhatunk tovább.

Van tehát egy s sémafogalmunk, és ezt úgy definiáltuk, hogy $S=ks$, ahol lehet például S a sikeresen felidézett szótagok száma, s annak a mértéke, hogy egy átlagos séma hány szótagból áll, k pedig feltételezésünk szerint konstans, körülbelül 7, és jelentése az STM kapacitáskorlátja lenne. Ami itt mérhető, az a S értéke. A s értéke persze erősen függ attól, hogy miféle kísérleti anyaggal dolgozunk: értelmetlen szótagok esetén alighanem $s=1$, átlagos magyar szavak esetén s kb. 2 és 3 között lehet, szállóigék esetén akár a 10-et is elérheti. Pontosabban definiálni csak akkor tudnánk, ha tudnánk, hogy mi a séma, és hogy biztosan van értelme sémákról beszélnünk. Pusztán ennyivel tehát még nem jutottunk sokkal előbbre.

Megpróbálkozhatunk viszont egy, a felidézési kísérlettel

független kísérlettel, például egy hosszabbtávú tanulási kísérlettel. Adhatunk mondjuk egy hosszú listát, és vizsgálhatjuk, hogy 1 perc alatt ki mennyit tud megtanulni a lista elemei közül úgy, hogy azt félóra múlva vagy másnap vissza tudja mondani. Tétélezzük fel, hogy nemcsak a felidézés, hanem a hosszabb távú tanulás is sémánként történik. (Erre a sémák intuitív jelentése alapján mindenképpen komoly okunk lehet). Ebben az esetben igaz kellene, hogy legyen, hogy $F=ps$, ahol F a félóra múlva vagy másnap helyesen felidézett egységek (pl. szótagok) száma, p pedig konstans. A kísérlet valóban nagyon független a felidézési kísérlettől már csak azért is, mert az STM kapacitáskorlátjában csak nagyon csekélyek a különbségek az egyes emberek között, a mostani p konstans értékében viszont igen nagyok lehetnek. Ami viszont most minket érdekel az az, hogy konstans lesz-e az S/F mennyiség különféle ingerek esetén. És valóban, nagyon sok kísérlet mutat arra, hogy ez az S/F érték általában nagyon hasonló lesz, akár ha betűket, szótagokat, szavakat, kifejezéseket, asszociációpárokat, mondásokat idéztetünk fel illetve tanultatunk meg.

Ennek alapján már komolyan hihetünk abban, hogy sémafogalmunk valóban valamiféle, gondolkodásunkban ténylegesen létező entitást fejez ki. Azt ugyan továbbra sem sikerült pontosan definiálnunk, hogy milyen gondolkodási egységeket takar ez a sémafogalom, de azt valószínűsítettük, hogy alighanem valamiféle minden ember gondolkodásában meglévő entitást, amelynek komplexitása egészen sokféle lehet: a betűtől a szállóigéig; két elem közötti speciális kapcsolat leírásától (mint látni fogjuk), egészen bonyolult, de jól ismert teljes struktúrákig. A következő fejezetben leírandó kísérletek és számítások alapján ennél messzebb menő következtetéseket próbálunk meg levonni.

3. A SÉMÁK MENNYISÉGÉNEK BECSLÉSE

Az előző fejezetben leírtuk egy izgalmas fogalom keletkezését. A séma fogalmát nem konstruktív módon definiáltuk, még annyira sem, mint amit a humán tudományokban általában konstruktív definícióknak érteni szokás, azaz hogy körülírjuk egyéb fogalmakkal, hogy mit is szeretnénk az új fogalmon érteni (mint például a Gestalt esetében, vagy a kognitív pszichológia korábban felsorolt sokféle sémafogalma esetében). A séma definíciója csak annyi volt, hogy valamilyen egység, amiből az ember a rövid idejű memóriájában körülbelül 7 darabot képes egyszerre tárolni.

A "körülbelül" szó az előző mondatban azt jelenti, hogy a legkülönbözőbb kísérletekben ez a szám általában 7 plusz-minusz 2-nek bizonyult. A helyzet természetesen ennyire egyszerű nem lehet: általában bonyolultabb sémákból inkább a minusz kettő, egyszerűbb sémákból inkább a plusz kettő jön be. Ennek oka lehet az is, hogy amikor egyszerű sémákkal kísérletezünk, (például szavakkal vagy betűkkel), akkor az embernek lehetősége van arra, hogy az észlelés során azonnal egy sémába csoportosítson két, függetlennek szánt szót (például ha ablak és zsiráf is szerepelt a szavak között), és ebben az esetben ez a két szó már csak egy elemet foglal az STM kapacitásából. Ebből is látszik, hogy egészen pontos eredményeket nem várhatunk a kísérletekből, hiszen nehéz azt meghatározni, hogy ki miféle kész sémákat hozott eleve magával a kísérleti laborba, például ki az, akinek az előbbi két szóról (Ablak - zsiráf) egyből beugrik a képes gyerekléxikon, mint egy kész, önálló séma. Inkább az a meglepő, hogy a 7 ± 2 törvény ennek ellenére meglehetősen stabilan működik.

A 7 ± 2 törvény felismerésének fontos didaktikai, pedagógiai alkalmazásai is vannak például abban, hogy hogyan kell egy magyarázatot úgy felépíteni, hogy az ne legyen eleve követhetetlen, már pusztán a rövid idejű memória kapacitáskorlátja miatt. Ebben a tanulmányban nem az ilyen alkalmazásokkal fogunk foglalkozni, hanem azzal, hogy mit kezdhetünk egy ilyen elvont sémafogalommal és mit mondhatnak az ezzel kapcsolatos eredmények a mesterséges intelligencia számára.

Herbert Simon, a Nobel-díjas közgazdász, aki elsősorban az emberi gondolkodás, döntéshozatal mechanizmusainak kérdéseit kutatja (és azok hatásait a közgazdasági döntésekre) vetette fel 1973-ban a következő bátor kérdést: hány szakmai séma lehet jelen egy szakértő fejében? A kérdést azért

nevezhetjük igazán bátornak, mert arról definíciónk szerint fogalmunk sincs, hogy mi is lehet egy ilyen séma, arról is csak eléggé közvetett bizonyítékaink vannak, hogy ilyen értelemben vett sémák léteznek, és mégis rögtön azt kérdezzük, hogy hányan vannak. Első ránézésre kicsit olyan ez a kérdés, mint hogy "hány angyal fér el egy tű hegyén". Végülis az is egy gondolati konstrukcióval kapcsolatos kvantitatív kérdés. A sémákkal kapcsolatos kvantitatív kérdés megközelítésére szerencsére, mint látni fogjuk, lényegesen egzaktabb eszközöket sikerült találni.

A kérdés vizsgálatához három axiómát állítunk fel. Mindhárom axióma olyan kísérleti pszichológiai eredményeket tömörít, amelyek nagyon sok konkrét kísérletnek nagyon általánosnak bizonyult tanulságai. Az axiómákat először egészen tömör formában fogalmazzuk meg, majd fűzünk hozzájuk néhány megjegyzést, hogy érthetőbbé váljon, hogy miért tekinthetjük ezeket valóban axiómáknak, a vizsgált rendszeren belül alapigazságoknak, és mit is jelentenek.

1. axióma: Az STM-ben egyidejűleg tárolható sémák száma korlátos.

2. axióma: Az STM-ben csak olyan séma tárolható, amelynek megfelelő séma az LTM-ben már létezik.

3. axióma: Ahhoz, hogy egy, az STM-ben tárolt sémát hosszabb időre megjegyezzünk, bizonyos minimális időre van szükség.

Axiómáinkat úgy állítottuk fel, mintha tudnánk, hogy mik is azok a sémák, amelyekről beszélünk. Valójában persze a helyzet az, hogy éppen az STM-mel definiáltuk a séma fogalmát. Ez azonban csak ahhoz kellett, hogy elhihessük, hogy ténylegesen létező entitással dolgozunk. Így természetesen az 1. axiómában mondott korlát körülbelül 7 (+-2). Ebbe az axiómába (és a többibe is) belefér, hogy egy séma lehet valami egészen egyszerű dolog is (mint egy betű, egy betűcsoport vagy egy szó), valami bonyolult dolog is (mint egy szállóige vagy egy kész és jól ismert struktúra), vagy akár valami szintén jól ismert rendező, szervező elv ezek között (például ha egy csatajelenet leírásának megjegyzéséről van szó, akkor az a háttértudás, hogy hogyan szoktak a szekértábor mögött elhelyezkedni a gyalogosok és a tüzérek). Nem foglalkozunk most azzal, hogy elképzelhető, (sőt nagyon valószínű) hogy a szekértábor általános szerkezete, a tüzérség hadrendje és egy-egy ágyú vagy huszár külön-külön is egy-egy séma.

Nyilvánvaló, hogy akinek több sémája van az adott kérdéssel kapcsolatban, az többet lesz képes első hallásra megérteni, átlátni és megjegyezni is. Akinek vannak kész sémái a szekértábor általános szerkezetére vonatkozóan, annak csak azt kell megjegyeznie, hogy itt szekértáborról van szó, és mik a hallott (vagy látott) jelenetben ennek a specialitásai. Akinek ilyen sémái nincsenek, az kisebb egységekben tudja csak megragadni a jelenetet és nyilván kevesebbre fog emlékezni. Nem firtatjuk egyelőre, hogy konkrétan milyen sémákat használt az, aki a csatajelenetből

bizonyos részleteket képes volt első hallásra megjegyezni, másokat meg nem.

Ennek fényében már érthetővé válik a 2. és 3. axióma elsőre kicsit talányosnak tűnő megfogalmazása is. Látszólag azt gondolhatnánk, hogy ha egyszer úgyis létezik az LTM-ben az STM-mel megragadott mindegyik séma, akkor nincs is mit megjegyezni. Van mit megjegyezni: azt ugyanis, hogy éppen ennek a néhány sémának az együtteséről van szó: például egy ilyen és ilyen szekértáborról. Ez a konfiguráció önmagában eddig nem volt külön séma. Ha sokszor látjuk így együtt, akkor válhat azzá, vagyis a jelenet egésze vagy egy része (valamilyen speciális jellegzetessége) külön sémaként is rögzülhet. Ez azonban már a tanulási folyamatok kérdésköre, amivel ebben a tanulmányban nem foglalkozunk.

A 2. axióma érvényessége olyasfajta kísérletekkel bizonyítható, amikor azonos elemeket különböző elrendezésekben prezentálunk: egyszer úgy, hogy azok beleilleszkedjenek egy jól ismert struktúrába, máskor pedig úgy, hogy ne. Például egyszer egy értelmes huszita szekértábor-felállásba szervezve mutatjuk a szekereket, a huszárokat és a tűzéseket, máskor pedig úgy, hogy ezekről az elemekről ne is jusson eszünkbe, hogy huszitizmus is van a világon.

A 3. axióma érvényessége olyan kísérletekkel bizonyítható, hogy adott ideig kivetítjük a megjegyzendő elemeket (szavakat vagy képeket), majd olyan zavaró információt vagy feladatot adunk, amely a rövid idejű memóriát garantáltan leköti. Ha 2-3 másodpercnél rövidebb ideig mutatjuk a megjegyzendő dolgokat, akkor általában nem sikerül megjegyezni és már pár perc után sem tudjuk visszamondani, hogy azok mik voltak, akkor sem, ha ugyanilyen elterelő feladat esetén, de 6-10 másodperces korábbi bemutatás mellett egészen biztosan sikerül visszaemlékezni rájuk.

Hogyan tudunk e három axióma alapján valamit mondani a sémák számáról? Pusztán az eddigi gondolatmenet alapján ez még nem látszik, de egy alkalmasan megszerkesztett kísérlet-típus megnyitja az utat ennek a kérdésnek a vizsgálatához. Az STM-LTM modell egy klasszikus kísérletfajta értelmezéséhez teljesen új perspektívát adott. Képzeljük el a következő kísérletet.

Megmutatunk a vizsgált személynek egy sakkállást 2-3 másodpercig (például kivetítjük egy képernyőre), majd megkérjük, hogy rekonstruálja egy üres sakktáblán a látott állást. Ha a kivetített állás után egy pillanatra egy kusza ábrát is kivetítünk, azzal el tudjuk érni, hogy a vizsgált személy a rekonstrukcióhoz ne nézhesse a kivetített kép benne megmaradt utóképet, de ne is felejtse el azt azonnal, ami az STM-jében megmaradt. Tehát a rekonstrukció kizárólag az STM-ben megragadott dolgok alapján történhet, hiszen a 3. axióma alapján az LTM-ben semmit sem tudott rögzíteni.

Ha a vizsgált személy minden sakkállást képes a mondott feltételek mellett rekonstruálni, az a 2. axióma alapján azt jelenti, hogy minden álláshoz tudott találni olyan sémákat

az LTM-jében, amelyek azt az állást egyértelműen meghatározzák. Méghozzá az 1. axióma alapján ehhez legfeljebb k darab séma elég volt (ahol k körülbelül 7). Ez azt jelenti, hogy bármely sakkálláshoz kiválasztható a vizsgált személy LTM-jében levő sémák közül legfeljebb k darab úgy, hogy ez a k séma az adott sakkállást egyértelműen rekonstruálhatóvá tegye. (Mondhatjuk azt is, hogy pontosan k darab, legfeljebb ezek közül néhány üres). Minden sakkálláshoz tehát ebben az esetben hozzárendelhető legalább egy olyan séma- k -as az LTM-ben tárolt sémák közül, amely a szóban forgó sakkállást egyértelműen meghatározza. Ha ugyanis lenne két különböző sakkállás, amelyek megjegyzéséhez a vizsgált személy ugyanazokat a sémákat hozza be az LTM-jéből az STM-jébe, akkor ezt a két állást nem tudhatná megkülönböztetni egymástól így, a kettő közül legalább az egyiket hibásan rekonstruálná.

Ha tehát a vizsgált személy minden sakkállást képes a mondott kísérleti feltételek mellett helyesen rekonstruálni, akkor kell, hogy legyen az LTM-jében annyi különböző séma, hogy azok közül bármely két különböző sakkálláshoz hozzárendelhető legyen két különböző séma- k -as.

Jelöljük az LTM-ben levő sémák számát N -nel, az összes létező sakkállások számát pedig M -mel. Az előző bekezdés azt jelenti, hogy

$$\binom{N}{k} \geq M \quad (1)$$

Az összes lehetséges sakkállások M száma elvileg nyilván meghatározható hamarosan egy konkrét módszert is fogunk látni arra, hogy hogyan. k -ról a sémák definíciója révén tudjuk, hogy körülbelül 7, így az (1) képlet egy alsó becslést ad az LTM-ben tárolt sémák számára.

Eljutottunk tehát odáig, hogy már látjuk, hogy három axiómánk elvileg legalábbis lehetőséget ad arra, hogy alkalmasan tervezett kísérletek segítségével becsléseket adhassunk a sémák számára.

Fogalmazzuk meg, hogy mi az előbb elképzelt sakk-kísérletben az általános elv, aminek alapján a sémák számát megragadhatjuk. A lényeg az volt, hogy tervezhetünk egy olyan felidézési kísérletet, amelyben a felidézendő dolgot csak annyi ideig mutatjuk meg, hogy az ne legyen elég az LTM-ben való rögzítésre, vagy legalábbis arra ne, hogy a rögzítés után még újra meg lehessen ragadni további információkat az STM-ben. (Tehát az idő arra elég, hogy a vizsgált személy egyszer feltöltse az STM-jét, de arra már nem elég, hogy az így megragadott momentumokat hosszabb időre megjegyezze és még újabb momentumokat is felvegyen az STM-ben így felszabaduló helyekre). Ezzel biztosíthatjuk, hogy a felidézés kizárólag csak az STM-ben tárolt információk alapján történjen. Mármint ha találunk objektumoknak

egy olyan osztályát, amelynek elemszáma meghatározható, és bizonyos emberek az osztály minden elemét képesek hibátlanul felidézni, akkor ebből a meglévő sémák számára alsó becslés kapható.

Ez az előző bekezdés egy gondolati keretet, egy típuskísérletet határoz meg a sémák számának becslésére, de a dolog természetesen nem ilyen egyszerű. Többféle probléma is felmerül.

Az egyik probléma a memóriamodell, amelyet használunk. Itt most az egyszerűség kedvéért csak az STM-ről és az LTM-ről beszélünk, de már a sakkos kísérlet vázlatos leírásánál is említettük, hogy szükség van arra, hogy a rekonstruálandó állás kivetítése után valami zavaró, kusza képet is vetítsünk, hogy ne tudja a vizsgált személy a vetített kép megmaradó belső utóképét nézegetni. Az, hogy ilyen utókép van, eleve mutatja, hogy a memória szerkezete nem lehet olyan egyszerű, hogy csupán két szerkezeti egységgel, az STM-mel és az LTM-mel teljes mértékben leírható legyen. Valóban, ezt a modellt sokféleképpen szokás pontosítani, beszélhetünk például ún. ikonikus memóriáról, gyanítható, hogy létezik valamiféle nagyon rövid idejű memória is, és az LTM-nek is több funkcionális fajtája különböztethető meg. Ezzel együtt, jelen céljainkhoz ez az egyszerű, STM-ből és LTM-ből álló memóriamodell is megfelel és a modelltől adódó nyilvánvaló elnagyoltság az eredmények újdonságértékéhez és horderejéhez képest csekély.

Vegyük észre, hogy ez a fajta memóriamodell tipikus kognitív pszichológiai konstruktum: semmi sem garantálja, hogy agyunkban tényleg léteznek pl. az STM-nek megfelelő formációk vagy funkcionális egységek. Anatómiai, élettani alapját eddig nem találták, igaz olyan biológiai ismeretünk sincs, ami ilyen egységek létezését eleve kizárná. A mesterséges intelligencia szemléletével is teljesen ellentétes a konstruktum, főleg az STM ilyen erősen korlátozott volta. Semmi sem mutatja, hogy mi kényszeríthetne egy mérnökembert arra, hogy az STM kapacitását ilyen erősen korlátozza, még ha el is szánná magát arra, hogy ilyen kétszintes rendszert épít. Ez a modell tehát teljesen a pszichológia sajátja, hihetőségét, leíró erejét tisztán pszichológiai eszközökkel valószínűsítettük és paramétereit pszichológiai kísérletekkel határoztuk meg, nem pedig mikroszkóppreparátumok vizsgálataival, nem mikroelektródák vagy kémiai analizátorok segítségével, és nem is konstruktív műszaki vagy matematikai modellek elemzésével.

A másik probléma a kísérlettel kapcsolatban az, hogy milyen területről vegyük a rekonstruálandó dolgokat. Szerencsés, ha a terület olyan, hogy a dolgoknak gazdag jelentéstartalma, szemantikája van, mert ebben az esetben sokféle, bonyolult séma mozgósítható a felidézés érdekében. Ennek hátránya viszont az, hogy nehéz megmondani azt, hogy mekkora is azoknak a dolgoknak a száma, amelyeket a vizsgált

személy hibátlanul képes lenne rekonstruálni: mennyi (1)-ben az M. Ebből a szempontból nagyon szerencsés éppen a sakkállások vizsgálata: egyrészt szemantikailag nagyon gazdag, mély tartomány, amelyben az állásoknak "lelke" van, másrészt eléggé absztrakt ahhoz, hogy azért az állások száma, legalábbis elvileg, megbecsülhető legyen.

A harmadik probléma az, hogy nem tudhatjuk, hogy ki milyen általános, kész sémákat hozott magával a kísérletre. Ez a probléma is nagyon szerencsésen hidalható át azzal, hogy sakkállásokat vizsgálunk, mivel ez egyrészt eléggé speciális terület ahhoz, hogy feltételezhetjük, hogy a sakk-tudásnak egyéb (például nyelvi vagy esztergálási) tudással nemigen van közös része. Másrészt a sakk esetében van egy külső mércénk ahhoz, hogy meghatározzuk, hogy a vizsgált személy mennyire ért ehhez a területhez: vizsgálhatunk egészen kezdőket, harmadosztályú sakkozókat, mestereket, nagymestereket, és így elemezhetjük, hogy milyen szintű sakk-tudáshoz milyen sémaszám tartozik.

A negyedik probléma az, hogy a leírt becslési eljárás nyilvánvalóan alsó becslést ad ugyan, de egyelőre nem látszik, hogy mennyire durván alsó becslés. A következő fejezetben egy egészen más úton ezt a kérdést fogjuk körüljárni.

A sakkra konkrétan elvégzett kísérlet annyira nem tökéletes és kerek, mint amennyire azt a kísérlet vázlatában leírtuk: még a legjobbak, a nagymesterek sem képesek minden sakkállást rekonstruálni. Képesek viszont azokat az állásokat, amelyeket mesterjátszmákból vettünk. Amatőr játszmából vett állások rekonstruálásánál még a nagymesterek is rendszeresen tévednek. Még érdekesebb az eredmény, ha random állásokat rekonstruáltatunk. Ezekben az állásokban ugyanazok a figurák szerepelhetnek, mint a mesterjátszmából vett állásokban, de véletlenszerűen elhelyezve a táblán; csak arra ügyelve, hogy azért a kapott állás ne legyen ellentétben a sakk szabályaival. Random állások esetén gyakorlatilag semmi különbség nem mutatkozik a nagymesterek és a kezdő amatőrök rekonstruálási teljesítménye között: mindkét csoport körülbelül hét figura helyes rekonstruálására képes.

A random állásokkal kapott eredmény egyfelől gyönyörűen egybeesik az STM kapacitásával: joggal feltételezhetjük, hogy a random állásokban az STM által megragadható sémák nem lehetnek mások, mint maguk a konkrét figurák. Mesterjátszmából vett állások esetén az állás logikájából adódóan nagy szerkezeteket lehet egyetlen sémával megragadni, különösen a hozzáértő nagymesterek számára. Közbülső helyzetet jelentenek az amatőr játszmákból vett állások. Minél erősebb játékosok játszmájából vesszük a rekonstruálandó állást, annál nagyobb a különbség a rekonstrukciós teljesítmények között aszerint, hogy milyen erős játékos rekonstruál.

A sémák számának becslése szempontjából különlegesen szerencsés helyzet, hogy a nagymesterjátszmákból vett (kö-

zépjátékbeli) állásokat a nagymesterek gyakorlatilag százszázalékosan képesek voltak rekonstruálni, és csakis a nagymesterek képesek erre. Erre az esetre tehát a korábban leírt alsó becslési eljárás tökéletesen működik, csak még a lehetséges nagymesterjátszma-beli középjáték-állások számát kell (M-et) megbecsülnünk.

Erre a becslésre egy lehetséges útnak az kínálkozik, ha megsaccoljuk azt, hogy átlagosan milyen szorzótényezővel sokszorozódik minden egyes lépésben a lehetséges állások száma. Miután azt tapasztalatból tudjuk, hogy a középjáték körülbelül a 40. lépéspár körül ér véget, (azaz kb. nyolcvan világos és sötét lépés után), ha ez az elágazási faktor ismert, ebből a lehetséges állások számára is adódik egy becslés.

Az elágazási faktor becslése önmagában is érdekes eredményt ad. Amatőr játékosok egy-egy állásban rövid megfontolás után átlagosan 4-6 lépést is érdekesnek, esetleg megléphetőnek, mindenesetre megvizsgálásra érdemesnek találnak. A nagymesterek egy-egy állásban általában már rövid gondolkodás után is csak 1-3 lépést látnak olyannak, aminek a következményeit érdemes komolyan elemezni. Átlagosan körülbelül kettőt. E nagy különbség elemzésére rövidesen visszatérünk, de előtte végezzük el a sémák számának alsó becslését.

Ha az elágazási faktort a nagymesterek esetén 2-nek vesszük (ami lényegében azt jelenti, hogy egy átlagos állásban egy nagymester két lépést tart nagymester szinten is értelmesnek), akkor a mesterjátszma-ban 40 lépéspár után létrejöhethető állások számát 2^{80} -nak becsülhetjük. Ez persze nagyon durva becslés, mert egyrészt teljesen eltekintettünk azoktól a nagymesterjátszma-tól, amelyek 40 lépés előtt véget érnek, valamint attól is, hogy egyazon állás esetleg különböző lépéssorrendekkel is előállhat. Ez az elhanyagolás azonban nagyságrendi különbséget nem okoz. (Ez a két lehetőség ugyanis azt mutatja, hogy becslésünk lehet, hogy túlbecsül). Másrészt nagyon sok játszma jóval hosszabb, mint 40 lépéses, és a nagymesterek nyilvánvalóan jól tájékozódnak a végjátékok területén is, úgyhogy szinte biztosra vehetjük, hogy a 2^{80} -as becslés alsó becslés a lehetséges mesterjátszma-állások számára.

Ha az (1) képletet $k=7$ és $M=2^{80}$ -val nézzük, azt kapjuk, hogy $N \geq 1226$. Ez tehát egy alsó becslés a sémák számára. Szinte biztos, hogy rendkívül erősen alsó becslés, nemcsak azért, mert M-et alighanem alulbecsültük, hanem még legalább három ok miatt.

1.) Becslésünk megengedi, hogy valamennyi sémahetes alapján valóban egy értelmes sakkállás legyen rekonstruálható. Ez nyilván abszurdum: ha például van néhány séma, amely a világos királyállást írja le, ezek egymást nyilván kizárhatják. Vagy például az a séma, hogy "ez az állás a szicíliai védelemre jellemző" szintén aligha szerepelhet egy értelmes sémahetesben azzal a sémával, hogy "ez az állás a királycselre jellemző".

2.) Mint az előző példák is mutatják, ahhoz, hogy egy teljes sakkállást a nagymester csupán hét séma alapján tökéletesen rekonstruálni tudjon, eléggé bonyolult sémákkal kell, hogy dolgozzon. Nagyon bonyolult sémák esetén az STM kapacitása a tapasztalatok szerint inkább 7 mínusz 2, mint 7. Ha például az (1) képletet $k=5$ -tel nézzük, azt kapjuk, hogy $N = 10391$.

3.) Talán a legerősebb érv amellet, hogy az (1) alapján kapott becslés a sémaszámra nagyon durván alsó becslés, az, hogy a becslés mellesleg azt is feltételezi, hogy minden egyes séma egyenlő valószínűséggel fordul elő a rekonstrukciók során. Ez nyilván nagyon durva feltételezés. Ha az (1) becslést annyival bonyolítjuk, hogy a sémák használati gyakoriságára valami realiztikusabb feltételezést veszünk fel (például a következő részben feltételezett harmonikus eloszlást), akkor az (1) becsléshez hasonló eljárással kapott becslés a sémaszámra közel egy nagyságrenddel nő.

Mindezek alapján reálisnak látszik, ha a sakknagymester által ismert sémák számának alsó határát nagyjából 10000 és 100000 közé becsüljük. Ehhez a becsléshez természetesen valamiféle felső becslést is kellene adnunk, hogy ténylegesen használhatóvá váljon. Ezt a következő fejezetben tesszük meg.

Láttuk, hogy a nagymesterek eleve sokkal kevesebb lépést látnak értelmesnek, meggondolásra érdemesnek egy adott sakkállásban, mint az amatőrök. Ez eddig nem nagyon meglepő eredmény. Érdekesebb, hogy a különféle sakkozókat vizsgáló kísérletekből az derült ki, hogy a nagymesterek átlagosan nem számolnak mélyebbre előre, mint az amatőrök. Nem helytálló tehát az a közkeletű elképzelés, hogy a sakkmester azért sakkmester, mert kiválóan kombinál. Talán bizonyos esetekben igen, de általában nem teszi ezt. Nem is dönt gyorsabban, mint az amatőr játékos: ha egy nagymesternek illetve egy amatőrnek azt mondjuk, hogy gondolja meg nyugodtan, és aztán válasszon lépést, akkor átlagosan nagyjából ugyanannyi idő alatt döntenek. Akkor viszont mitől nagymester a nagymester? A következő fejezetekben meg fogjuk vizsgálni, hogy hogyan függ össze egy sakkozó játékereje az általa ismert sémák számával, és az ilyen vizsgálatok alapján az emberi szakértelem kognitív alapjainak egy mélyebb szintjét fogjuk megismerni. Ez a mesterséges intelligencia távlatainak megítélésében is jelentős szerepet játszik.

4. A MAPP PROGRAM

Az előző fejezetben láttuk, hogy a sakkozók által ismert sémák számára egy tisztán pszichológiai kísérlet alapján alsó becslés adható. A becsléshez kiindulásként az ember emlékezetének szerkezetére és az ehhez használt sémák működési módjára egy olyan modellt alkalmaztunk, amelyben nem volt szükség arra, hogy kvalitatíven is meghatározzuk, egzaktul definiáljuk azt, hogy mit értünk sémán. Valójában a kognitív pszichológia kvalitatív elképzelése a sémákról még a 2. fejezetben leírtnál is jóval összetettebb. Általánosan elfogadott elképzelés, hogy a sémák azonkívül, hogy egyszerű és nagyon bonyolult, összetett egységek is lehetnek, valamilyen módon aktív dolgok is, amelyek mind észlelési, mind gondolkodási folyamatainkat aktívan befolyásolják, alkalmassint vezérlik, és eközben maguk is módosulhatnak. Ezt az elképzelést olyanfajta "aforizmákkal" szokás jellemezni, hogy "azt látjuk, amit hiszünk", tehát amire már vonatkoznak kész sémáink, vagy hogy "a múlt meghatározza a jövőt", vagyis hogy sémáink meghatározzák, hogy valamiből mit emeljük ki, minek alapján döntsünk különféle helyzetekben.

Ebben a fejezetben nem a sémáknak ezt a jelenlegi tudományos eszközeinkkel még megfoghatatlan sokféleségét fogjuk elemezni, hanem megkíséreljük az előző fejezetben leírt kísérletet számítógép segítségével végrehajtani: lássuk, mire jutunk. Ehhez természetesen egzaktul meg kell fogalmaznunk a feladatot, annyira, hogy arra már program legyen készíthető.

A számítógépes programozás szokásos eszköztára számára persze a feladat teljesen érdektelen: elég egy pillanatra bevinni a memóriába a sakkállást, és semmi ok nincs arra, hogy a program később ne emlékezzen rá tökéletesen. Ezért pontosan meg kell fogalmazni azt, hogy mi is legyen az a programozási feladat, amelynek megoldásaként olyan programot kaphatunk, amely a sémákról és a memória szerkezetéről szóló ismereteinknek nem ellentmondó módon képes sakkállásokat felidézni. A feladat nyilván két részből áll. Először is tanítsunk meg a számítógépnek bizonyos számú sémát. Ezek a sémák akár lehetnek mind külön-külön programok is, de az is elképzelhető, hogy mindegyik sémának megfelelő program vezérlő elve azonos, vagy csak néhány általános elv közül választódik ki, úgyhogy maga a séma gyakorlatilag nem is program, hanem csak néhány adat: melyik általános sémakezelő alprogramot alkalmazzuk és milyen paraméterekkel.

Mivel tudjuk, hogy jelenlegi számítógépeinkben a program és az adat megkülönböztethetetlen, a feladat általános kitűzésénél nyugodtan mondhatjuk, hogy legyen minden séma egy-egy program. A rövid idejű memória tartalma tehát azt jelentheti, hogy az állás alapján válasszunk ki k (mondjuk 7) darab számot, és ezután csak ennek a hét programnak a segítségével rekonstruáljuk az állást - úgy, hogy közben minden egyéb input adat (e hét szám kivételével) hozzáférhetetlenné váljon a rekonstruáló program számára.

A fenti feladat persze rendkívül általános: gyakorlatilag végtelen szabadságot enged a programozónak abban, hogy milyen programokat írjon "sémák" gyanánt, hogy milyen alapon válassza ki a kapott sakkállásból a hét programnak megfelelő hét számot, és hogy ebből a hét számból hogyan szervezze meg a kiválasztott hét program együttműködését az állás rekonstruálására. Ez az utóbbi rekonstruáló program azonban egyetlen program kell hogy legyen, amely bármelyik hét séma esetére megszervezi azt, hogy hogyan, milyen sorrendben, milyen rendszer szerint fusson le a hét kiválasztott program.

Első ránézésre túl általánosnak látszik a feladat, de azonnal látni fogjuk, hogy mégsem az. Eleinte azt is gondolhatnánk, hogy a feladat megoldásához nincs is szükség a sémákra: a sémakiválasztó program mindent elintézhet egyszerűen úgy, hogy megszámozza az állásokat (mint a bolondok a vicceket), és minden látott álláshoz csak egyetlen számot jegyez meg: a sorszámát. Ezután a rekonstruáló program e szám alapján visszakeresi az állást. Ez természetesen a kitűzött feladatnak egy lehetséges korrekt megoldása, csak az állások megszámozásához csillagászati nagyságrendű számokat kell használni. Most áruljuk el, hogy mi a feladat lényege: próbáljuk meg a rekonstrukciót minél pontosabban elvégezni úgy, hogy minél kevesebb számot használunk.

Felfoghatjuk a feladatot úgy is, hogy egy versenyt írtunk ki a fent leírt típusú programok megalkotására. A versenyfeladat tehát az, hogy készítsünk egy olyan programot, amely minden sakkálláshoz hozzárendel hét számot 1 és N között, majd e hét szám alapján minél pontosabban rekonstruálni tudja a mesterjátszmából vett középjátékbeli állásokat. Az nyeri a versenyt, aki a legkisebb N értékkel képes bizonyos adott szintű rekonstrukciót elérni, vagy egy adott rekonstruálási szintet a lehető legkevesebb sémával elér. (Például 100%-osat, mint a nagymesterek vagy mondjuk kb. 70%-osat, mint az első osztályú amatőr versenyzők).

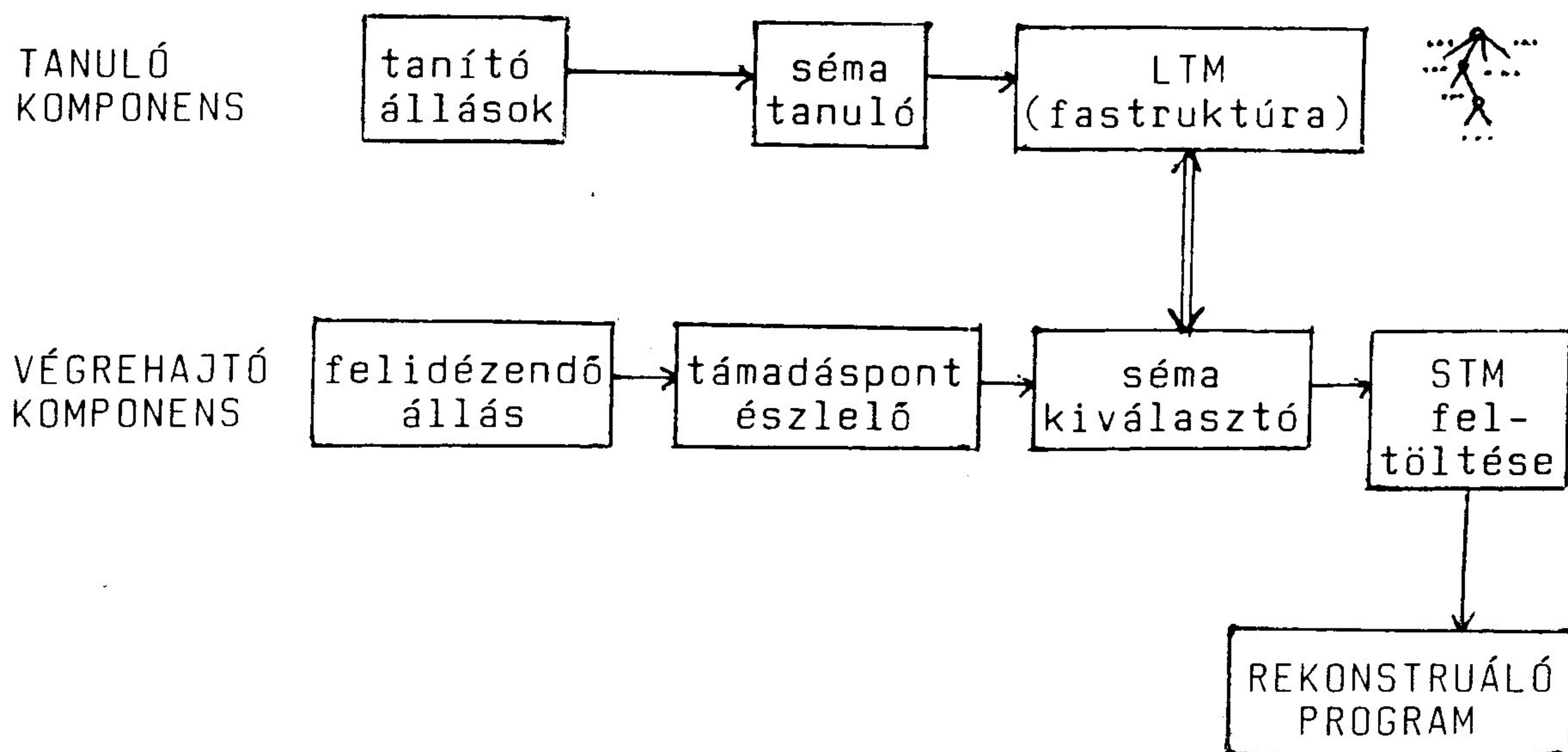
A trükk az előző bekezdésben ott van elrejtve, hogy a rekonstrukció csak a mesterjátszmából vett állásokra vonatkozik. Ezért a tisztán csak kombinatorikai elvek alapján ügyeskedő programoknak nem sok esélyük van, mert azok hogyan használhatnák ki azt, hogy mik az értelmes sakkállások sajátosságai? Ezért mondhatjuk, hogy a kitűzött feladat mesterséges intelligencia természetű: valahogy az értelemmel eleve kapcsolatos, ha csak annyiban is, hogy úgy kell szervezni a programot, hogy az egy állás értelmességét valahogyan képes legyen megragadni. Lehet ugyan, hogy enélkül is menni tud a dolog, de (a 6. fejezetben részletezendő tapasztalatok alapján) ez nem látszik valószínűnek.

Ugyanakkor a feladat a kognitív pszichológia érdeklődésére is jogosan tart számot, sőt ez a terület fogalmazta meg ezt a problémát. Ha nem ilyenek lennének az elképzeléseink a memória és a sémák működéséről, (ha nem különböztetnénk meg az STM-et és az LTM-et, vagy más lenne a három axiómánk), akkor másként tűztük volna ki a rekonstruáló program készí-

tésére vonatkozó feladatot; más alapfeltételeket adtunk volna meg.

Láttuk tehát, hogy ahhoz, hogy ezt a rekonstruáló program készítési feladatot megoldjuk, hallgatólagosan mindenképpen meg kell mondanunk, hogy mit is akarunk a sémákon érteni - legalábbis egy adott megoldás eleve egyfajta sémaelméletnek is felfogható. Lehet, hogy az adott megoldásban egészen furcsa dolgok játsszák a sémák szerepét, például bonyolult kombinatorikai konstrukciók, de az is lehet, hogy már ennek a feladatnak a megoldásához valami olyasféle sémafogalom kialakítására kényszerülünk, ami akaratlanul is emlékeztetni fog arra, amit séma alatt valóban szeretnénk érteni. A feladat éppen azért látszik izgalmas kihívásnak, mert úgy tűnik, hogy eredményes megoldásához nem bonyolult absztrakt matematikai konstrukciókon keresztül vezet az út, hanem alkalmas sémafogalmak kialakításán keresztül.

A feladat mindenesetre adott, lehet a megoldásával próbálkozni. A következőkben Simon és munkatársainak a megoldását ismertetjük, amelynek érdekessége, hogy a feladatot a kognitív pszichológia fogalomrendszerének keretében próbálja meg megoldani, és jóllehet nagyon leegyszerűsített fogalmakkal dolgozik, mégis roppant eredményesnek bizonyul, és egészen más irányú, immár tisztán pszichológiai következtetések levonására is lehetőséget nyújt. A programot szerzői (Simon és Gilmartin) MAPP-nak nevezték el, az angol Memory Aided Pattern Perceiver (memóriával segített mintázat érzékelő) rövidítéseként.

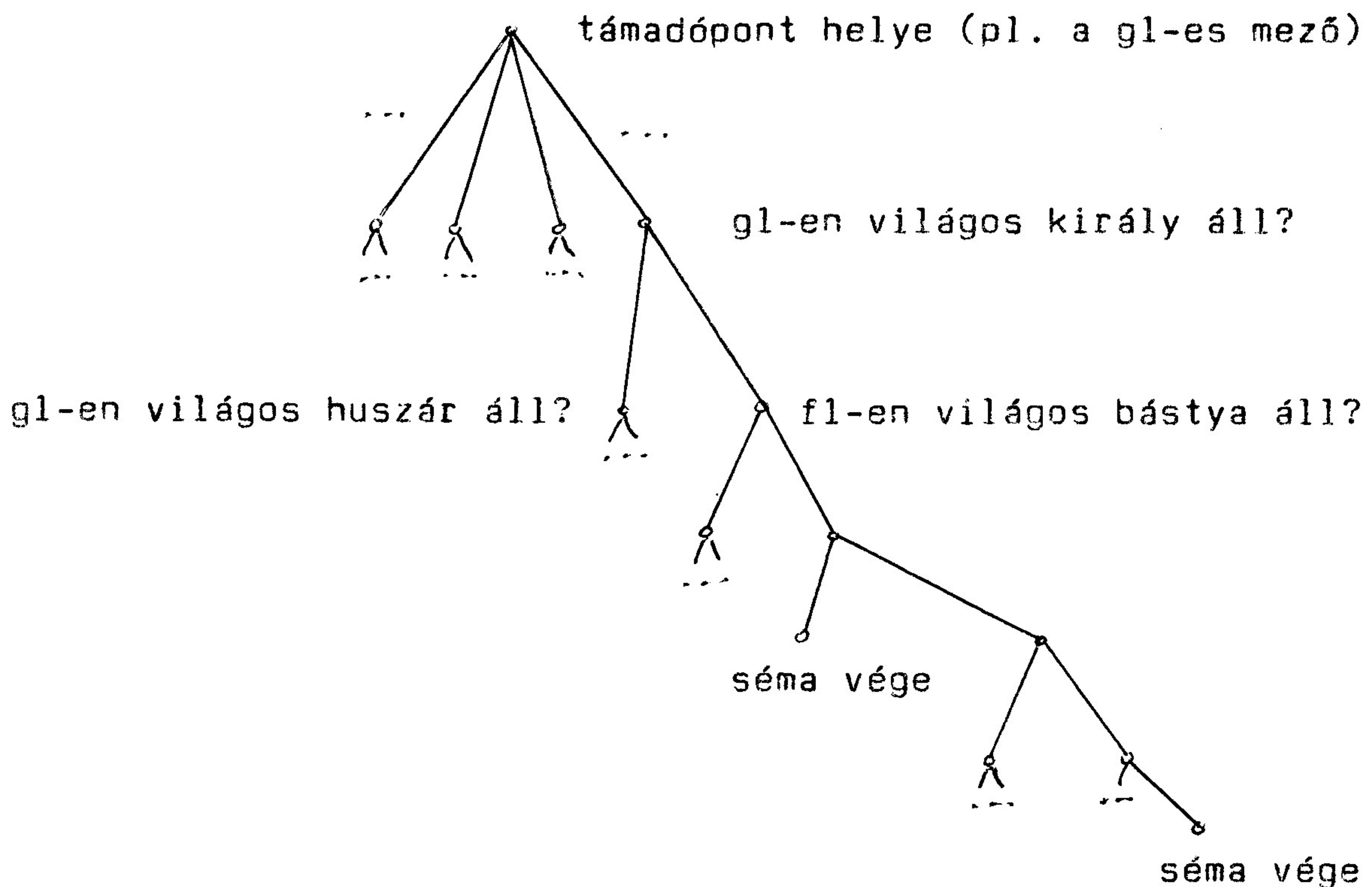


1. ábra: a MAPP program szerkezete

A MAPP program két komponensből áll: a tanuló és a végrehajtó komponensből. A tanuló komponens segítségével állásrészleteket lehet beadni a programnak, amely ezeket a darabokat egy később részletezendő fastruktúrába szervezi: így hozza létre az LTM modelljét. A végrehajtó komponens kikeresi a megadott konkrét állás alapján az ahhoz legjobban illeszkedő hét, az LTM-ben tárolt állásrészletet, és ezek alapján elvégzi az állás rekonstruálását. A rendszer blokkvázlatát az 1. ábra mutatja.

A program tanuló komponense tehát csak arra szolgál, hogy elkészítse a sémák tárházát, amelyek alapján a végrehajtó komponens (a tanuló komponensnek immár csak az eredményét, a sémákkal feltöltött LTM-et használva) el tudja végezni a rekonstrukciót, és így oldja meg a kitűzött feladatot.

A MAPP programban tehát az LTM-ben tárolt valamennyi séma egy-egy konkrét állásrészlet. Ezekhez az állásrészletekhez még egy jellemző van definiálva: az úgynevezett támadáspont helye. A támadáspont a szóban forgó állásrészlet (séma) egy jellegzetes pontja (konkrétan mindig egy figurája). A tanulás úgy történik, hogy a tanító (ember) megmutatja a következő megjegyzendő állásrészletet a gépnek, rámutat a támadáspontra, majd sorban, az általa vélt fontossági sorrend szerint végigmutatja a szóban forgó séma által tartalmazott figurákat. Ezután a program a 2. ábrán látható



2. ábra: Az LTM struktúrája a MAPP programban

fastruktúrában elhelyezi az új sémát. A 2. ábrán bemutatott fa az első szint kivételével bináris szerkezetű. Ennek a szervezésnek csak programozástechnikai oka van. Mélyebb oka van viszont annak, hogy miért éppen ilyen formában találták a program szerzői alkalmasnak a sémák megfogalmazását és ábrázolásuk módját.

A MAPP program azt az elképzelést testesíti meg, hogy a sémák vizuális egységek. Ez az elképzelés teljes általánosságában mai tudásunkkal (részben éppen a MAPP program tapasztalatai alapján) szinte biztosan túlzottan egyszerűsítettnek mondható. A jelen feladat megoldásához azonban ez a megközelítés igen szerencsésnek bizonyult, és jóllehet a valósághoz képest rendkívül szimpla, mint minden modell, sok tanulságos momentumot tartalmaz. A támadáspont fogalma azon pszichológiai kísérletek tanulságaként alakult ki, amelyekben (bonyolult tükörrendszerek vagy a szemmozgató izmok mozgását regisztráló elektródák segítségével) a sakkállást elemző emberek szemmozgásait követték. A szemmozgás-kísérletek eredményével való összevetésre a MAPP program bemutatása után visszatérünk. A tanító számára a támadáspont fogalmát nem definiálták egzakt módon, csak annyit mondtak, hogy azt a pontot jelölje ki, amelyet az adott állásrészlet legjellegzetesebb pontjának, kulcspontjának tart. A tanító maga is erős sakkozó, sakkmester volt.

A végrehajtó komponens a kapott, majd felidézendő állásból először is kiemeli azokat a pontokat, amelyeket az illesztendő sémák lehetséges támadópontjainak tart. Ezt a kiemelést úgy végzi, hogy a kapott állás minden egyes pontjára alkalmaz egy úgynevezett kiértékelő függvényt. Ez a kiértékelő függvény bizonyos fajta konfigurációkat keres az adott pont körül és ezekhez előre megadott pontértékeket rendel. Az így kapott értékek összege adja a kiértékelő függvény értékét az adott pontra. A potenciális támadópontok a kiértékelő függvénynek elsősorban a lokális maximumai, másodsorban abszolút értékben vett legmagasabb értékei. Egy külön programrész rendezzi "esélyességi sorrendbe" a potenciális támadópontokat.

A kiértékelő függvény fogalma a játékprogramokból és általában a heurisztikus kereső programok elméletéből jól ismert. Például a legtöbb sakkprogram is az egyes lépések után előálló állásokat valamilyen kiértékelő függvény alapján értékeli, és minden állásban valamiféle előre kereső eljárással azt a lépést választja, amelyik (például a minimax elv értelmében) a kiértékelő függvényt maximalizálja. A MAPP programban a kiértékelő függvény szerepe és működése teljesen hasonló, de a célja lényegesen más. A MAPP program kiértékelő függvénye által vizsgált konfigurációk például azok a figurák, amelyeket sok figura támad illetve véd, a gyalogláncok talppontjai, értékesebb tiszték, stb. Ezekből a komponensekből állítja össze a MAPP azt a kiértékelő függvényt, amely megmondja, hogy egy konkrét állásban melyik pont mennyire esélyes arra, hogy egy jól illeszkedő séma

támadáspontja legyen.

A potenciális támadópontokhoz a program olyan sémákat keres, amelyeknek a támadópontjai ugyanezek és amelyek a lehető legjobban illeszkednek az adott állás többi figurájához is. A 7 (vagy kevesebb) legjobban illeszkedő sémával tölti fel a program az STM-et, majd a program kitűzésének játékszabályai szerint az eredeti állás "elfelejtődik", és működésbe lép a rekonstruáló programrész.

A rekonstruáló program egyszerűen elhelyezi a táblán a kapott sémáknak megfelelő állásrészleteket. Az egyes sémák közötti esetleges ellentmondásokat a program a sémákon belüli (a tanítás során bevitt) fontossági sorrendek segítségével oldja fel. Nyilván meg lehetne ezt a programot sokkal rafináltabbra is tervezni, de a tapasztalat az, hogy ha például ez a program "kitalálna" valamit, legalább annyiszor fordulna elő, hogy tévesen egészíti ki a kapott állást, mint az, hogy ráhibázik valamilyen olyan részletre, amelyről a kiemelt sémák nem szóltak.

A program első változatába 894 kész sémát építettek be, és a rekonstrukció eredménye megközelítette a másodosztályú amatőr sakkozók felidézési teljesítményét: a program közép-játék-állásokban a figuráknak átlagosan 52%-át rekonstruálta helyesen. A következő változatban a sémák számát 1144-re emelték, és így a program már elérte a másodosztályú amatőrök teljesítményét: a rekonstrukció pontossága 55%-ra nőtt. Tizedik lépéspár utáni állásokra (amelyek tehát többnyire még több figurát is tartalmaznak mint az átlagos közép-játékállások, de általában szabályszerűbbek) a helyes rekonstrukció aránya 73% volt, ez valamivel jobb mint a másodosztályú sakkozó szintje.

Próbáljuk meg ennek az eredménynek az alapján megbecsülni, hogy hány sémát kellene megtanítani a programnak ahhoz, hogy nagyjából 100%-os rekonstrukciós teljesítményre legyen képes. Ez a feladat már csak azért is érdekes, mert az eredmény felső becsléssel kecsegtet a nagymester által ismert sémák számára. Nyugodtan feltételezhetjük ugyanis, hogy a nagymester sémái a MAPP program primitív állásrészlet-sémáinál lényegesen komplexebbek és jobban is vannak egymással összeszervezve. A MAPP programnak például olyanfajta sémája nincs, hogy "ez egy királyindiai védelem-szerű állás", vagy hogy "sötét erős nyomást gyakorol világos centrumára". Éppen az ilyesfajta bonyolult sémák hiánya miatt nem sikerült a MAPP programban a rekonstrukciót a sémák által reprezentált állásrészletek egyszerű felrakásánál intelligensebbé tenni.

A 100%-os felidézéshez szükséges sémaszám becsléséhez tudnunk kellene, hogy melyik séma milyen gyakran szerepelhet a sorozatos felidézések során. Már az előző fejezetben is láttuk, hogy kell hogy legyenek gyakrabban és ritkábban használt sémák is. A sémák gyakorisági eloszlásának meghatározásához sajnos nemigen van lehetőségünk közvetlen mérési adatokat nyerni. Elméleti megfontolásokkal viszont élhetünk.

Valószínűleg nem tévedünk nagyot, ha azt feltételezzük, hogy a sémák gyakorisági eloszlása nagyjából ugyanaz lehet, mint például a szavak gyakorisági eloszlása egy nyelvben (erre az analógiára a következő fejezetben még visszatérünk!), vagy mint az ismert sakkmegnyitások gyakorisági eloszlása, amit ugyanaz az eloszlás közelít nagy pontossággal. Ez az eloszlás a harmonikus eloszlás, amelyet a következőképpen definiálunk. Legyen a leggyakoribb séma relatív gyakorisága f_1 . Ekkor az i -edik leggyakoribb séma relatív gyakorisága a harmonikus eloszlás szerint

$$f_i = \frac{f_1}{i}$$

Természetesen az f_1 gyakoriság a sémák számától függ: tudjuk, hogy

$$\sum_{i=1}^N f_i = c \cdot \log N$$

ahol c konstans. (Ez utóbbi összefüggést például a logaritmus függvény Taylor-sorának felhasználásával igazolhatjuk.)

Tegyük fel, hogy a 100%-os rekonstruáláshoz N sémára lenne szüksége a MAPP programnak. Azt mindenesetre tudjuk, hogy 894 séma 52%-os és 1144 séma 55%-os rekonstrukcióhoz elég. Tételizzük fel, hogy a a MAPP program szerinti rekonstrukció pontossága annyi, amennyi a program által ténylegesen felhasznált sémák összes előfordulási gyakorisága lenne az összes N séma használata esetén. Ez a feltételezés ugyan meglehetősen durva, mert az ugyan nagyon valószínű, hogy minél több sémát használunk N közül, annál nagyobb lesz a rekonstrukció pontossága, de annak feltételezésére, hogy a két mennyiség megegyezik, nincs komoly elméleti indokunk. Viszont ha egyelőre elfogadjuk ezt a feltételezést, akkor kiszámíthatjuk, hogy a sémák számának növekedésével hogyan növekszik a felidézés pontossága. Ezt az összefüggést pedig már tudjuk konkrét adatokon ellenőrizni, legalábbis a sémák számának abban az intervallumban, amely sémaszámokra a MAPP program ténylegesen elkészült.

Ha a feltételezés igaz, akkor a korábban bemutatott két adat szerint igaznak kell lennie a következő összefüggésnek:

$$\frac{\log 894}{0,52} = \frac{\log 1144}{0,55}$$

Itt a baloldal értéke 13,0 a jobboldalé pedig 12,8 tehát meglehetősen jól megegyeznek. Ez mindenesetre valószínűsíti feltételezésünket arról, hogy a programban ténylegesen használt sémák előfordulási gyakorisága az összes N sémán belül megegyezhet a felidézési teljesítménnyel. Ennek alapján a 100%-os felidézéshez szükséges N sémaszámra azt kapjuk, hogy

$$\frac{\log N}{1} = \frac{\log 1144}{0,55} \quad (2)$$

ahonnan $N \approx 350000$. Ennyire becsülhetjük tehát azt, hogy hány sémát kellene beépíteni a MAPP programba ahhoz, hogy lényegében 100%-os rekonstrukciós teljesítményt érjünk el vele.

A MAPP programnak megtanított sémák között nagyon sok lényegében duplikáltan szerepel: egyszer világos és egyszer sötét szemszögéből. Valószínűleg a rekonstruáló program ügyesebb szervezésével ezt a redundanciát lényegesen csökkenteni lehetne. Ha teljesen megszüntetnénk ezt a redundanciát, akkor ugyanezt a felidézési pontosságot feleannyi sémával is el tudhatnánk érni. Így a (2) képlet jobboldalán 1144 helyett 572 szerepelhetne, és ebből kb. $N=100000$ -es becslést kapnánk a 100%-os felidezéshez szükséges sémaszámra. A redundancia teljes megszüntetése természetesen lehetetlen, így ez az utóbbi szám már egyáltalán nem biztos, hogy felső becslés a sémák számára. A helyes becslés valószínűleg a két szám között van. Minket azonban most inkább csak a kapott számok nagyságrendje érdekel.

Az előző fejezetben láttuk, hogy a nagymester (és csakis a nagymester) képes nagyjából 100%-os felidezésre. Ennek alapján ott egy becslést adtunk a nagymester által ismert sémák számára. Ott a kezdeti néhány ezres durva alsó határ alapján körülbelül 10000 és 100000 közé becsültük a nagymester által ismert sakk-sémák számát. Itt most egy felső becslést kaptunk 350000-rel: eszerint ekkora sémaszámmal még eléggé egyszerű szerkezetű sémák segítségével is elérhető lenne a nagyjából 100%-os pontosságú felidezés. A két becslés egymással meglehetősen jól összeecseng, különösen ha figyelembe vesszük, hogy milyen durva közelítő eljárásokkal kaptuk őket. A MAPP program eredményei tehát megerősítik az előző fejezetben kapott eredményeinket.

Sőt, ennek alapján tovább is haladhatunk: most már tudjuk, hogy nagyjából (legalábbis nagyságrendileg) milyen mértékben becsülheti fölül a sémák számát a MAPP programból kapott szám, és ennek alapján azt is megbecsülhetjük, hogy a különböző erősségű sakkozók nagyjából milyen gazdag sémakészlettel rendelkezhetnek. A különböző erősségű sakkozók felidézési teljesítménye ugyanis egyszerűen kísérletileg meghatározható, és ebből a (2) képlet, illetve az abból kapott szám arányos csökkentése segítségével becslést adhatunk a vizsgált sakkozók sémakészletére. Eszerint az I-II. osztályú sakkozók sémakészletét néhány százra, a mesterjelölt sakkozókét néhány (kevés) ezerre becsülhetjük. A mesterek (de nem nagymesterek) sémakészlete már körülbelül tízezres nagyságrendű lehet.

Látjuk tehát, hogy a sémakészlet nagysága igen erősen összefügg a játékerővel, fogalmazhatjuk egy kicsit általánosabban így is: a szakértelem, a kompetencia szintjével. Ennek az összefüggésnek az elemzésére a következő fejezetben visszatérünk.

A 100%-os felidőzéshez szükséges sémaszám becslésénél gondolatmenetünkben hallgatólagosan feltételeztük, hogy a tanító a MAPP programnak a leggyakoribb sémákat tanította meg. Ez a feltételezés reálisnak látszik, már csak azért is, mert a MAPP program sémakészletének növelése váratlan nehézségekbe ütközik: az 1000-es határ után a tanító már igen nehezen talál újabb megtanításra érdemes sémákat. A program kibővítése további sémákkal a rekonstrukciós teljesítményt már alig javítja.

Ennek oka valószínűleg az, hogy ezen a szinten felül már a szükséges sémák nem egyszerűen állásrészletek, hanem bonyolultabb, mélyebb összefüggéseket testesíthetnek meg. A MAPP program kerete ezen a szinten felül már nem ad lehetőséget arra, hogy a tanító szétválassza a lényegeset a lényegtelentől, és csak a lényeges, hatékony dolgokat tanítsa meg a programnak: egyszóval azokat, amelyek érdemesek arra, hogy mester szinten sémává váljanak.

Nyilván lehetne okosítani a MAPP programot: talán automatizálható lehetne a sémák megtanulása úgy, hogy a program végignéz néhány ezer (vagy tízezer) mesterjátszmát és kiemeli belőlük az ismétlődő sémákat; talán a sémák illesztése a kapott felidézendő álláshoz optimalizálható lehetne, bonyolultabb eszközökkel, mint a támadáspont egyszerű fogalma; talán a felidéző program is megtervezhető sokkal rafináltabbra, mint a MAPP programban. Az is elképzelhető, hogy egy egészen más szervezési elv hatékonyabb megoldást eredményezhet. A pálya adott: valószínűleg minden olyan megoldás, amely a fejezet elején kitűzött feladatot jól oldja meg, érdekes tanulságokat szolgáltat. A MAPP program révén adott megoldási út pszichológiai ismereteinket próbálja (egy bizonyos szinten) modellezni és így oldja meg a feladatot. A mesterséges intelligencia gyakorlata szempontjából egészen más megoldási út is tanulságos lehet, új szervezési elveket tárhat fel. Valószínűnek látszik azonban, hogy a feladat eredményesebb megoldásához a sémák szerkezetének, működésének mélyebb megértése vezethet el a leghatékonyabban: az evolúció is ezt az utat választotta, csak még azt nem ismerjük eléggé, hogy mi is ez az út.

A MAPP program, mint említettük, a maga egyszerű sémafogalmával is felfogható az emberi percepció (érzékelés) egy modelljének. Mint ilyen, nemcsak a felidezés hatékonysága szempontjából vizsgálható, hanem aszerint is, hogy mennyire jól írja le az ember érzékelési mechanizmusait. Bizonyos értelemben egészen meglepően jól: az az útvonal, amelyet az állást vizsgáló, felderítő ember szeme bejár (a szemmozgás-kísérletek tanulságai szerint) nagyon hasonlít arra, amit akkor kapunk, ha összekötjük a MAPP program által talált potenciális támadáspontokat, a program szerinti fontossági sorrendben (esetleg ismétlődéseket is megengedve). Volt olyan eset is, hogy a MAPP alapján megrajzolt útvonal teljes egészében pontosan megegyezett

azzal, amit az állás bemutatásának 5 másodperces ideje alatt a vizsgált személy szeme bejárt. Ez mindenesetre jogos optimizmust kelthet bennünk arra nézve, hogy a MAPP program elve valóban az emberi gondolkodás fontos momentumait ragadhatja meg.

A MAPP programban a feladat kitűzése némileg hajánál fogva előrángatottnak tűnhet: végülis kit érdekel a sakkállások rekonstrukciója? A következő fejezetben megvizsgáljuk, hogy eredményeink mennyire általánosíthatók egyrészt a percepción túl, másrészt a sakkon túl a gondolkodás egyéb területeire. A 6. fejezetben pedig eredményeink alapján elemezni fogjuk a mesterséges intelligencia eddigi eredményeit és további fejlődésének várható lehetőségeit.

5. AZ EMBERI SZAKÉRTELEM SZINTJEI

A 3. fejezetben azt mondtuk, hogy a nagymesterek és az amatőr sakkozók között nem mutatható ki lényeges különbség sem abból a szempontból, hogy átlagosan milyen messzire kombinálnak előre, sem pedig aszerint, hogy mennyire gyorsan hozzák meg döntésüket egy frissen látott állásban. Jóformán az egyetlen olyan közvetlenül mérhető paraméter, amelyben lényeges különbség mutatkozik, az a játékuk minősége. Egy nagymester képes egyszerre 20-30 erős mesterjelölttel is szimultán játszani, és többnyire igen jó, 90% körüli eredményt ér el. Ilyenkor a nagymesternek egy-egy lépésre legfeljebb néhány másodperce van, nagyon mélyen előre gondolkodni nincs ideje. Ellenfelének viszont 2-3 perce is van minden lépésre, mégis többnyire veszít.

Most már azt is tudjuk, hogy ez a hatalmas játékerőbeli különbség a nagymester és az erős amatőr között az ismert sémák számában több mint egy nagyságrendnyi különbséget jelent. Miután elfogadtuk azt, hogy az ember gondolkodását az általa ismert sémák határozzák meg, már nincs mit csodálkoznunk azon, hogy a közvetlenül mérhető paraméterekben nem találunk különbséget a nagymester és az amatőr között; hogy a nagymester nem gyorsabb és nem kombinál mélyebbre, csak éppen jobbakat lép. A sémaszámában meglévő különbséget egészen vulgárisan úgy is fogalmazhatjuk, hogy a nagymester "többet tud a sakkról", hogy számára "nincs új a nap alatt". Ezeket a triviális aranyigazságokat tudjuk mostani eredményeink alapján már tudományosan, kvantitatív módon is megfogalmazni a sémaszámok segítségével.

A nagymesteri játékerőhöz szükséges több tízezernyi sémát az ember hosszú és intenzív gyakorlás során tanulja meg. Ez a folyamat minimum tízéves, napi sokórás elfoglaltságot jelent. Ez alól még az ismert csodagyerekek (Capablanca, Reshevsky, Fischer) sem voltak kivételek. Ami még izgalmasabbá (és szinte misztikusá) teszi a nagymesterré válás folyamatát: e sémák többsége verbálisan nemigen írható le. A legjobb tankönyvek is bevallottan csak azt tudják elősegíteni, hogy a tanulók ráérezzenek a példákban rejlő általános sémákra, és azok kapcsolatára egymással. Valószínű, hogy ezek a sémák egymásra épülve, egymást kiegészítve, a tanulás és a gyakorlás során folyamatos változás és finomodás közben alakulnak ki.

Ezért lehetett olyan nehéz a MAPP programban az első változat után a sémák számát még 250-nel növelni, és ezért olyan nagy kihívás a 4. fejezetben vázolt programozási

"versenyfeladat". Az ezredik séma körül a MAPP programot tanító mester kifejezőképessége korlátainak közelébe ért: innen már nagy nehézségeket okozott neki az állásrészlet-sémák szintjén lényeges újdonságokat mondani. Feltehetőleg ő még (mester lévén) rengeteg egyéb sémát is ismert, de ezeket már nem tudta kifejezni a MAPP program keretében. Talán másképp, pl. szavakkal sem igen tudta volna.

A sakknagymesterek által ismert sémák becsült száma nagyságrendileg megegyezik a kiváló irodalmárok által használt szavak és fordulatok számával: azt is néhány tízezerre becslik. Ugyanebbe a nagyságrendbe esik a kínai írás teljes jelkészletének a száma is: kb. 80000 jel ismert, és ezeknek a nagy részét csak a kínai írás legkiválóbb ismerői, mondhatjuk: nagymesterei ismerik. Hasonló eredményeket kapunk a go játék mestereinek vizsgálata során is. A legjobb entomológusok (a rovartan szakértői) is körülbelül 50000 rovar megkülönböztetésére képesek. Itt is valószínűleg egy-egy rovar egy-egy bonyolult sémát takar az entomológia nagymestere számára. Hasonló a helyzet a botanikusok esetében is.

A fenti koincidenciák mindenesetre feltűnőek: valószínű, hogy a legtöbb szakmában a nagymesteri szint eléréséhez körülbelül ugyanennyi, több tízezernyi séma ismeretére van szükség. Még a tízéves intenzív tanulási idő is érvényes más szakmákra is: Mozart például közismerten csodagyerek volt, már 5-6 éves korában is komponált érdekes zenéket. Mégis, ha megnézzük Mozart összes hangfelvételeinek gyűjteményét (a Schwann-jegyzéket), azt láthatjuk, hogy az első olyan darabot, amelyről a világon legalább öt különböző lemezfelvétel készült, 16 éves korában írta. Nyilván egy Mozart esetében a zeneszerző zsenéi is érdeklődésre tarthatnak számot, (Gondoljunk például a 12 éves korában szerzett Bastien és Bastienne c. operára), de ezek szerint igazi mesterműveket csak 16 éves kora után komponált: több mint tíz éves intenzív tanulás, gyakorlás után.

Hasonló a helyzet a többi olyan szakmában is, ahol a nagymesterek korán érnek, például a matematikusoknál és a költőknél. Más szakmákban az érés lassúbb. Szinte egyfajta rangsor állítható fel a szakmák (tudományok, művészetek) között aszerint, hogy általában hány éves korban érik el a nagymesteri szintet legjobb művelőik. A matematikusnál általában később érik be a fizikus, még később a biológus, majd a festő, a regényíró, az orvos, a politikus. Jól mutatja ezt például, ha megnézzük, hogy melyik tudományban átlagosan hány éves korban szerzik meg a kandidátusi fokozatot. Valószínűleg azokban a szakmákban, ahol az érés lassúbb, ez a szakmák sémáinak jellegéből adódik: általában minél kevésbé absztrakt jellegű a szakma, annál lassabban érnek a művelői mesterré. Annál inkább igaz ugyanis az, hogy a szakma sémái a hétköznapi tapasztalatok sémáihoz szorosan kapcsolódnak, de (éppen a szakma szakszerű jellege miatt) attól elvonatkoztatódnak, így ezekben a szakmákban két párhuzamos tanulási folyamat (egy emberi és egy szakmai)

összeérése eredményezheti a mesteri szintet.

Az előző, egyelőre talán némileg homályos eszmefuttatás további elemzésére hamarosan visszatérünk, de előtte emeljük ki a szakmai fejlődésnek egy másik fontos vízválasztóját: a mesterjelölti szintet. Azt már tudjuk, hogy a mesterjelölt a szakmában néhány ezer sémát ismer. Ez a szint például a sakkban ahhoz már elég, hogy akármilyen tehetséges gyakorlatlan játékosokat legyőzzön, és ahhoz is elég, hogy megértse a nagymesterek játszmáinak mélységeit. Ahhoz azonban kevés, hogy a nagymesterekkel szemben a győzelem akár minimális esélyével vehesse fel a harcot.

Most már tudjuk, hogy a sémaszám igen erősen összefügg a szakértelem szintjével, sőt ez egy nagyon érzékeny mérőszám, mivel (mint láttuk) az egyes szakértelem-szintek között nagyságrendnyi sémaismeret-különbségek mutathatók ki. Ezért értelmesnek látszik a következő általánosítás: nevezzük nemcsak a sakkban, hanem általában minden szakmában mesterjelölt szintűnek azt az embert, akinek a sémakészlete az adott szakmában néhány ezer körüli. Azt reméljük, hogy ez az általánosítás szerencsés fogalomalkotáshoz vezet, és amit a sakkmesterjelölt erényeiről és hiányosságairól elmondtunk, az sokkal általánosabb érvényűnek fog bizonyulni.

Ezen az alapon például egy idegen nyelvben mesterjelölt szintűnek tekinthetjük annak a személynek a tudását, aki sikeres középfokú nyelvvizsgát tesz. Ezt például azzal valószínűsíthetjük, hogy ennek a szintnek az eléréséhez átlagos színvonalú embereknek (heti 2-3 dupla órában) 3-4 év szükséges. Nyelvtanárok általános tapasztalata, hogy egy dupla órán kb. 7 új szót lehet stabilan megtanítani. Fel lehet ugyan adni 30 szót is, de azokat ha meg is tanulja a tanuló, helyesen használni nem fogja tudni: sémává még nem válnak. Még lassúbb folyamat, amíg az egyes nyelvtani szerkezetek, stíluselemek kész sémává érnek. Mármost ha ezek alapján becsüljük a tanuló sémakészletét, (és feltesszük, hogy ezeket a sémákat nagyjából valóban el is sajátította, ami a sikeres nyelvvizsgálóhoz természetesen szükséges), körülbelül éppen a mesterjelölt szint nagyságrendjét kapjuk meg.

Nagymértékben összeeseng ezzel az, hogy a japán általános iskolákban az alapvizsgánál (a 6. évben) 1800 alapvető japán írásjel ismeretét és helyes használatát követelik meg. Mostani terminológiánkkal azt mondhatjuk, hogy a kritérium az, hogy az írás mesterségében a tanulók ériék el a mesterjelölt szintet. Valóban, ha szavakkal megpróbáljuk megfogalmazni, hogy mit szeretnénk elvárni attól a tanulótól, aki a japán írás-olvasás alapvizsgáját letette, nagyjából ugyanazt fogjuk mondani, mint amit a sakkmesterjelölttről mondtunk. Ismét szépen összeesengenek a dolgok: a japán középfokú nyelvvizsga követelménye is nagyjából ennyi. Ez persze nem azt jelenti, hogy ha egy magyar ember megtanulja japánul ezt az 1800 jelet, akkor annyira fog tudni japánul, mint egy 12 éves japán gyerek: az sokkal

jobban tud japánul (hamarosan ki fogjuk fejteni, hogy az anyanyelvén szinte mindenki mester), de az írástudománya körülbelül olyan szintű. Csak persze az írástudomány nem önmagában számít, amögött ott van egy sokkal általánosabb hétköznapi tudás és nyelvtudás is.

Ugyanilyen alapon kiszámíthatjuk azt is, hogy körülbelül hány szakmai sémát ad egy egyetem elvégzése. Itt is nagyjából a mesterjelölt szint nagyságrendjét kapjuk, főleg ha figyelembe vesszük az egyes tantárgyak közötti redundanciát. Ez is magyarázza azt, hogy miért van szükség posztgraduális képzésre: ez felel meg körülbelül a Zeneakadémia mesterképző kurzusainak. Valószínűleg nem tévedünk sokat, ha azt mondjuk, hogy egy átlagos frissen végzett diplomás szakmáját mesterjelölt szinten érti. A legjobbak talán már az egyetem végére megközelítik a mesteri szintet, de a diplomakövetelmény a mesterjelölti szint elérése.

Ahogy a nyelvtanfolyamokon megkülönböztetnek kezdő, középhaladó, stb. szinteket, ugyanúgy nyilván általánosságban is meghatározhatjuk a szakértelem különböző szintjeit. Eddig két szintet emeltünk ki: a mesterjelölt és a nagymester szintjét. A skála a kezdőtől a nagymesterig nyilván többé-kevésbé folytonos mind a szintek szerint, mind az ismert sémák száma szerint. Ebből a skálából jónéhányat (mint a nyelvtanfolyamoknál) külön néven is szokás nevezni. Mi most négy szintet fogunk megkülönböztetni és megnézzük, hogy mi jellemzi az egyes szinteken levő személyeknek a gondolkodásmódját a szóban forgó szakterületen. Lehetne a szintek számát szaporítani és elemzésünket finomítani, megkülönböztethetnénk a harmadosztályú (haladó) sakkozót a másodosztályútól, az egyszerű mestert a nagymestertől, de ami számunkra most lényeges, azt már ez a négy szint megkülönböztetése is mutatja.

Az első szint a kezdő szintje. A kezdő csak nagyon kevés konkrét ismerettel rendelkezik új szakterületéről, ezért általános, hétköznapi sémáit próbálja alkalmazni itt is. Vannak szakmák, ahol ez többé-kevésbé eredményes lehet, mivel a hétköznapi sémák vonatkoznak az illető szakterület témájára is. Ilyen például a pszichológia, a politikatudomány, az esztétika, sőt valamennyire a közgazdaságtan vagy a biológia is. Más szakmákban azonnal nyilvánvaló, hogy a hétköznapi sémák nagy része csődöt mond, például a matematika, a fizika, a kémia területén. Az előbbi területek azok, amelyeken a nagymester később érik nagymesterré, az utóbbiak azok, ahol korábban.

A következő szint a haladó szintje. A haladó már ismer néhány száz szakmai sémát, de ez kevés ahhoz, hogy tisztán a szakmai sémái segítségével ki tudja magát fejezni (elsősorban önmaga számára), és szakember módjára, ilyen hozzáállással tudjon megoldani feladatokat. A haladó szakmai sémái állandóan keverednek az általános, hétköznapi sémáival. Ha szakemberrel konzultál, azonnal kitűnik, hogy még nem érti eléggé a szakmát. Ha teljesen kívülállóval

beszél, azzal sem könnyen ért szót, mert már gyakran annak számára ismeretlen fogalmakkal próbál dolgozni, de még nem tudja azokat hétköznapi szintre visszaegyszerűsíteni.

A mesterjelölt lényegében elsajátította a szakma alapjait. Ismer és képes alkalmazni néhány ezer szakmai sémát és különválnak a számára, hogy melyek a szakmai és melyek az általános sémái. Beszéli a szakmai zsargont (tehát képes kifejezni magát a szakma sémáival), és ez nem keveredik benne a hétköznapi sémákkal: szót ért a szakmán kívüliekkel is szakmai kérdésekről (már amennyire általános kifejező-készsége megengedi). A mesterjelölt gondolkodása analitikus: a problémákat szakmai sémái segítségével lépésről lépésre oldja meg. Amit a szakmában tud, azt szakmai fogalmakkal kifejezve át is tudja adni más szakmabelinek: vitaképes és racionális.

A nagymester több tízezer szakmai sémát ismer, amelyek nagy részét nem képes szavakkal, érvelésszerűen kifejezni. Nehéz vitahelyzetekben többnyire telibe találó analógiákkal, nem közvetlen szakmai érvekkel fejezi ki magát. Gondolkodása intuitív: egzakt szakmai levezetések nélkül képes egy-egy probléma lényegére tapintani és megoldását megtalálni. Problémamegoldásának alapeszköze nem a levezetés, a helytelen megoldások kizárása, a racionális keresés, hanem a ráérzés a helyes megoldásra.

A nagymester intuitív gondolkodása kicsit olyan, mintha egy külön, saját nyelvet beszélne, amely nyelv kifejezetten a szakma elemeiből épül fel. Anyanyelvén mindenki intuitíven beszél: fogalmunk sincs beszéd közben arról, hogy mi lesz a mostani utáni hatodik szavunk, mégis azt mondjuk, amit mondani akarunk. Hasonló a helyzet például a sakknagymesterrel is: nem kombinál lépésről lépésre előre (csak nagyon konkrét, éles helyzetekben, analóg módon ahhoz, amikor az ember egy szituációban érzi, hogy most nagyon pontosan kell fogalmazni és lelassul, keresi a szavakat). Ha a sakknagymester hosszan gondolkodik, többnyire nem azt számolgatja, hogy mi történik, ha én ide lépek, ő meg oda, hanem azon gondolkodik, hogy mi is legyen a mondanivalója az adott helyzetben. Nem kombinációkat keres, hanem gondolatokat, ugyanúgy, mint ahogy az ember írás közben többnyire nem szavakat keres, hanem gondolatokat, érveket.

Sokféle nyelv van, a művészek pontosan tudják, hogy a festészetnek, az irodalomnak és a zenének is megvan a maga nyelve és (az esztéták, de főleg a kritikusok nagy bánatára) alig fejezhető ki szavakkal az, hogy valaki helyesen, színvonalasan használja-e művésze nyelvét vagy sem, és ha nem, mi nem stimmel. Alkalmassint lehet a hétköznapi nyelv (beleértve a nyelvbe a hétköznapi viselkedés általános sémáit is) teljesen bomlott, míg egy másik nyelv tökéletesen ép, mint például Csontváry esetén. Lehet, hogy Csontváry festményei a skizofrén alkotások típuspéldáiként is bemutathatók, de az biztos, hogy egy-egy ilyen kép megalkotásához valamilyen szempontból tökéletesen ép ész kell, már csak

azért is, hogy a festő az egész hatalmas kompozíció egészét fejben tarthassa bármelyik négyzetcentiméter konkrét festése közben. Tehát "beszélheti" valaki a festészet nyelvét nagymesteri szinten anélkül, hogy a hétköznapi nyelvet akár mesterjelölt szinten bírná. Ugyanezért érezzük hitelesnek Zweig Sakknovellájában a világbajnok figuráját.

A felsorolt példák hitelesek, de nem tipikusak. A tipikus inkább az, hogy a nagymester szakmai nyelve teljesen függetlenül működik a hétköznapi nyelvtől; a két területen elért színvonal egymástól független. Lehet mindkettő nagyon magas, lehet csak az egyik.

A fordított esetre tipikus példa az úgynevezett életművészek. Nagymesteri szintre fejlesztették magukban a hétköznapi viselkedés sémáit anélkül, hogy valamilyen konkrét szakterületen akár mesterjelölti szintet is elértek volna. A szociális érintkezés nagymesterei. Don Juan vagy Casanova is nyugodtan nagymesternek tekinthető eme szempontok szerint, és akkor misztikumuk rögtön világossá válik: elérték területükön a nagymesteri intuitív gondolkodás szintjét. Racionális magyarázat nélkül ráéreznek a lényegre.

Anyanyelvének megértésében, a hétköznapi helyzetek kezelésében a legtöbb ember mesteri (de nem nagymesteri) szinten áll. Az aktív fogalmazásban, a helyzetek kialakításában már az emberek többsége csak mesterjelölt színvonalú. Gyakran előfordul, hogy ugyanazt az érvet a mesternek elhisszük, holott a tanítványnak nem. Valahogy a mester érve teljesen hiteles számunkra, a tanítványé nem. Ennek oka az lehet, hogy a tanítvány ugyanazt a gondolatot racionálisan, lépésről lépésre képes kifejteni, amit mi is racionálisan értünk meg. A nagymester intuitív érvelését mi is intuitív szinten fogadjuk el, ha amúgy nem ellenkezik saját szakmai sémáinkkal.

Az, hogy egy séma hétköznapi, egyáltalán nem jelenti azt, hogy egyszerű, még kevésbé azt, hogy primitív. Nézzük például a következő két sztorit. Az Enciklopedia Britannica első kiadásánál 1768-ban a szerkesztők nagyon nekigyürköztek, hogy legyen végre egy átfogó könyv Angliában, amely a kor tudományát teljes mélységében bemutatja. Négy év alatt el is készült a mű, három kötetben. Az első kötet az A és B betűs címszavakat tartalmazta, 511 oldalon. A második kötetben a C és K betű közötti címszavak voltak, a harmadikban az összes többi. A második és a harmadik kötet összesen 753 oldal volt. Nyilván nem az utóbbi két évszázadban töltődött fel tudásunk M-től Z-ig; itt valami másról van szó. D. R. Hofstadternek, a Gödel, Escher, Bach... c. kitűnő könyv szerzőjének az előbbi történetről azonnal az jutott eszébe, amikor a hanglezgyártás hőskorában a lemezeket még közvetlenül egy úgynevezett mesterlemezre vették fel, és azután arról sokszorosították. Gyakran előfordult, hogy a felvételt vezető mérnök a szimfónia közepe táján már látta, hogy vészesen fogy a hely a mesterlemezen, és vadul jelezni kezdett a karmesternek, hogy gyorsabban, mert elfogy a

lemez. Így a felvétel a vége felé egyre gyorsabb és gyorsabb tempóban folyt.

Alighanem mindenki számára világos, hogy ez a két történet miért tartozik össze. Valahányszor ezt a példát egyetemi előadáson elmeséltem, mindig akadt valaki, aki felkiáltott, hogy "ez pont ugyanaz, mint amikor vizsgára készülök". Ezen sem lepődött vagy ütközött meg senki. Szinte biztos, hogy ugyanide tartozik az a vicc is, amikor a nagymama azt mondja, hogy azért kötök ilyen viharos sietséggel, mert félek, hogy elfogy a fonal.

Egy sémához tartoznak mindezek a dolgok? Ha igen, szinte biztos, hogy az a séma nem egy szó vagy egy kifejezés körül csoportosul, hanem valami bonyolult és egészében jól ismert gondolati komplexumot foglal össze. Az is lehet, hogy több sémáról volt itt szó, de akkor azok nagyon szorosan kell, hogy kötődjenek egymáshoz. Az is lehet, hogy van, akiben ez az egész csokor egyetlen sémát fed le, és van, akiben nem. De ha itt nem eleve kész sémák lennének érintve, akkor az utolsó példa nem lenne vicc, hiszen nem lenne mihez képest más szempontot megvillantania. Akárhogyan is, azok a sémák, amelyeket ezek a kis történetkék megmozgattak (és ezzel esetleg némileg meg is változtattak), mindenképpen teljesen hétköznapi sémák, és semmi esetre sem egyszerűek, még kevésbé primitívek.

Megmagyarázni azt, hogy az előző példák miért tartoznak össze (miért mondtuk, hogy alighanem egy kész sémát fednek vagy rezonáltatnak meg) annak, aki magától nem érti (tehát akinek mindez nem kész séma), körülbelül ugyanolyan reménytelen dolog, mint egy viccet magyarázni. Ugyanezért olyan nehéz a szakemberek és a laikusok kommunikációja, és ezért feltételez legalább mesterjelölti szintet az, hogy valaki erre képes legyen.

A bemutatott hétköznapi példa talán még jobban megvilágítja, hogy miért mondtuk, hogy a sakknagymester agyában többnyire nem konkrét lépéssorozatok, kombinációk, hanem kész gondolatok járnak (sok tízezer kész sémája közül), amikor azon gondolkodik, hogy mit lépjen. Ugyanígy nem az egyes rovarok konkrét jellemzőit hasonlítja össze az entomológus, amikor egy ritka vagy új fajtát azonosít, és nem az egyes tüneteket nézi a nagymester szintű orvos, amikor diagnosztizál. Lényegében ugyanez mondható el a legabsztraktabb szakmák mestereiről is: a nagy matematikus nem konkrét levezetésekben gondolkodik, amikor egy feladatot megold vagy matematikai igazságok után kutat. Sokkal általánosabb (és ezért sokkal rejtélyesebb) sémákat használ. Majdnem biztos, hogy ezeknek a sémáknak egyike sem jelenik meg a matematikai könyvekben, még kevésbé a szakcikkben. A matematikus nagymester amikor a konkrét bizonyítás első sorát felvázolja, már szinte biztosra tudja, hogy a levezetés menni fog, jóllehet esetleg még több heti munkája lesz vele, amíg a matematikai közlés szokásos szabályai szerint (tehát a szakma mesterjelöltjei számára is érthető és egyértelmű

módon) leírja. Még a teljesen egzakt matematikára sem igaz az, hogy a matematikus a matematika kodifikált, formális nyelvén gondolkodik, de ahhoz, hogy arról is mondani tudjunk valamit, hogy akkor hát milyen eszközökkel gondolkodhat, többet kellene tudnunk a sémák általános működési mechanizmusairól.

Általában a szakmák megtanítására a mesterjelölt szintig vezet teljesen kikövezett út, eddig lehet eljutni lépésről lépésre, ésszerű és jól számonkérhető vizsga- és gyakorlati követelményeket támasztva. Tarrasch, századunk elejének nagy német sakkmestere állította, hogy bármely átlagosan értelmes közepes sakkozót egy évi intenzív tanítással fel tud hozni az I. osztályú szintre. (Ez akkoriban nagyjából a mai mesterjelölti szintnek felelt meg). Hogy azonban ezek után lesz-e belőle mester, sőt nagymester, azt már nem tudja garantálni. Azért persze a konkrét tanítványról sejti: minden pedagógus, akinek már volt kiemelkedően tehetséges tanítványa, megérzi ezt (még akkor is, ha maga nem nagymester szintű művelője a szakmának). Talán pont azt értjük tehetség alatt, hogy valakin érződik, hogy alkalmas arra, hogy a követelményszerűen felállítható néhány ezer sémán felül, minőségileg más szintre jusson. Már haladó korában, kevés sémával is csírájában úgy látja a dolgokat, ahogy azt a nagymesternek kell.

Ismét egy példa, ismét a sakk területéről, bár alighanem minden területről lehetne hasonló stílusú esetet találni. (Fogalmazhatnánk úgy, hogy példát ugyanehhez a sémához). Egy úttörő sakkcsapatban az edző bemutatott egy bonyolult állást. Hamar kiderült, hogy a nagy kérdés az: üssünk-e egy bizonyos pontra vagy sem. Mindenki mondott valamit, hogy nyugodtan üssünk ezért és ezért, vagy hogy ne üssünk azért és azért. Sax Gyula (akkor 14 éves) csak hümmögött, és annyit mondott, hogy "gyanús". Az edző erre fellelkesedett: ez a helyes hozzáállás, így kell ezt látni. Sok jó sakkozót lett abból a csapatból, még mesterek is, de nagymester egyedül Saxból lett.

Gondoljuk meg, hogy mi történhet, amikor a mesterré válás alig néhány éve alatt a sémák száma a mesterjelölt néhány ezréről tízezrekre szaporodik, holott előtte a mesterjelölti szint elérése is legalább annyi ideig tartott. Ez szinte csak úgy képzelhető el, ha a sémák exponenciális görbe szerint szaporodnak. Exponenciális növekedési görbe a természetben általában akkor fordul elő, ha bizonyos dolgok osztódással szaporodnak, és ez a növekedés addig tart, amíg a szaporodás semmiféle akadályba nem ütközik. 1-4 éves kor között (mint kimutatták), a gyermekek szókinccse is exponenciálisan nő. A természetben persze minden exponenciális növekedés előbb-utóbb korlátokba ütközik (például a népességrobbanásnak is valahol meg kell állnia). Ugyanez a helyzet a sémák szaporodásánál is. A mesterjelölt szint lehet nagyjából az, ahol az első esély van arra, hogy az (akkor még eléggé lassú) exponenciális növekedés

megálljon. Másfelől azt tapasztaltuk, hogy az összes vizsgált szakmában minden embernél megállt a növekedés a néhány tízezres (legfeljebb kb. százezres) sémaszám elérésénél. Ettől még persze a sémák maguk akármilyen bonyolult, komplex egységek lehetnek, így ez az eredmény még nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy "a jó pap holtig tanul".

Egyik esetben sem az emberi memória korlátozott kapacitása okozhatta a határt. A biológusok és a pszichológusok is valószínűnek tartják, hogy az ember teljes memóriakapacitásának csak egy kis részét használja ki élete folyamán. Lehetséges, hogy itt inkább egyfajta (illetve kétfajta) komplexitás elérése állítja meg az exponenciális növekedést. Az első határ (a mesterjelölté) az a komplexitás lehet, amelyet a racionalitás szokásos eszközeivel, analitikusan, lépésről lépésre el lehet érni. A második határ (a nagymesteré) az a komplexitás lehet, amelyet az intuitív gondolkodás segítségével el lehet érni. Itt megint "csalunk": nem definiáljuk egzaktul, hogy mit értünk intuitív gondolkodás alatt; beérjük a korábban taglalt körülírással. Nem lustaságból járunk így el, hanem mert egzakt definícióra jelenlegi tudományos eszközeink nem elégségesek. Valószínűleg ismét abba ütközünk, hogy nem tudunk eleget a sémák működési mechanizmusairól.

Lehet, hogy napjainkban azért bomlott a tudomány annyiféle tudományágra, mert több részterület komplexitása önmagában is elérte azt a szintet, amelyet egy nagymester képes áttekinteni. Talán ezért járt le a polihisztorok kora. Alighanem szakmának csak az nevezhető, aminek vannak nagymesterei, és a huszadik században már lehetetlenné vált, hogy valaki a tudományoknak legyen nagymestere, sőt az is, hogy általában a biológiának, a matematikának vagy az orvoslásnak.

Ezekkel a gondolatokkal felfegyverkezve a következő fejezetben azt fogjuk megvizsgálni, hogy mit mondhatunk a mesterséges intelligencia napjainkig elért eredményeiről és távlatairól.

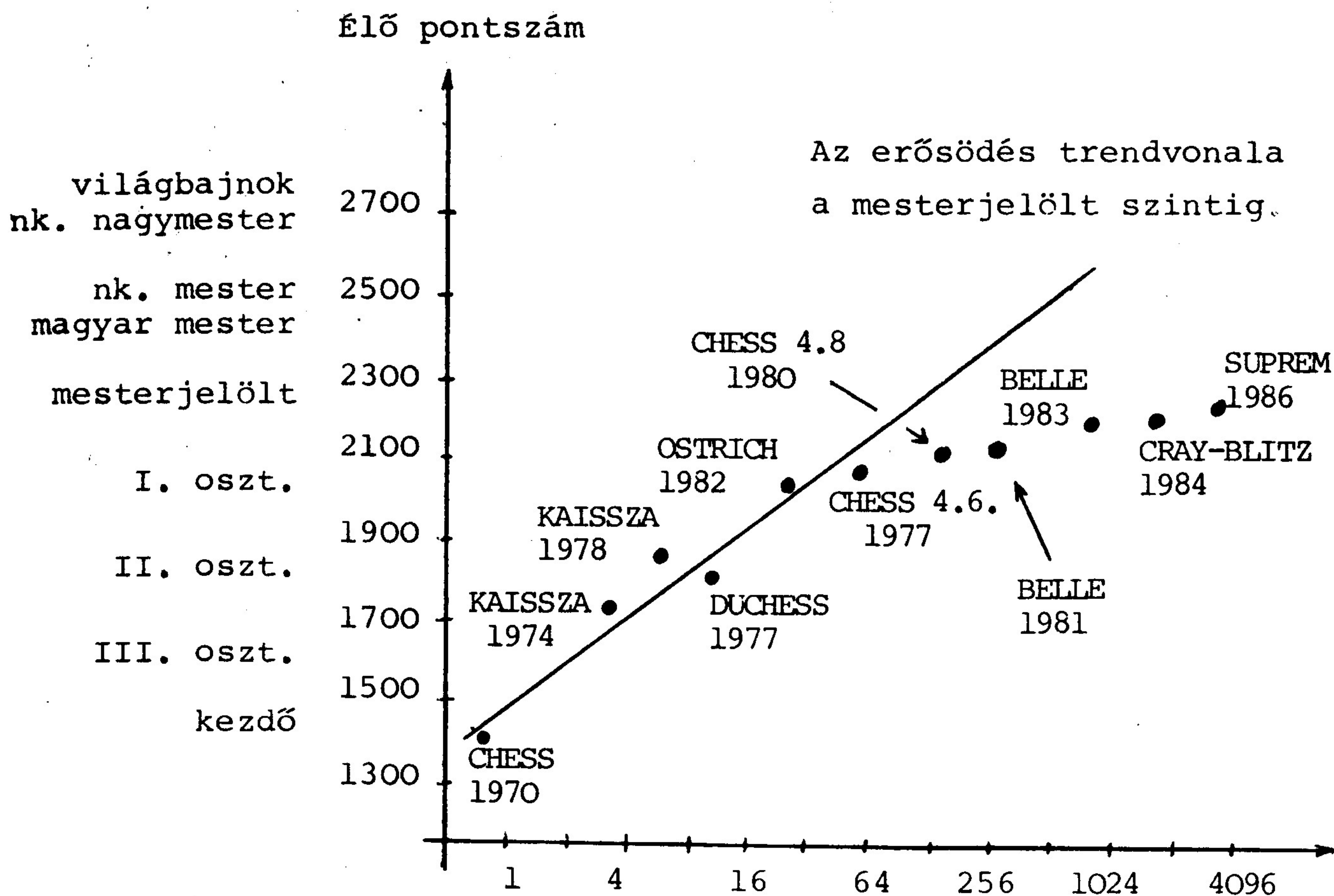
6. A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA A MESTERJELÖLT SZINTEN

A mesterséges intelligencia nagy ígéreteivel mindmáig súlyosan adós. Nincs még olyan program, amely az egyik nyelvről egy szöveget elfogadható minőségben lefordít egy másik nyelvre. Nincs még automatikus diktafon, amely egy magnóra mondott szöveget egy szövegszerkesztőbe leírna, legalább olyan helyesen, mint egy gyenge gépíró. Nagyon távol vagyunk a világbajnok sakkprogramtól. Egy emberi arc felismerése számítógéppel jelenleg teljesen reménytelen feladat.

A legkorábbi jóslatok arra, hogy mindez mikorra készül el az 1950-es évekből valók, és rendkívül optimisták. A már említett Nobel-díjas Herbert Simon egy 1958-as cikkében azt írta, hogy 6 éven belül számítógépprogram lesz a sakkvilágbajnok, ha engedik emberi versenyen azonos feltételekkel résztvenni. (Engedik). Az egyik nyelvről a másikra fordító programról is azt jósolta, hogy a hatvanas évek végére elkészül. Mire alapozta a jóslatait, és mi okozhatta, hogy ilyen nagy mértékben tévedett?

A 3. ábrán a sakkprogramok fejlődési trendjét ábrázoltuk. A vízszintes tengely (logaritmikus skála szerint) azt mutatja, hogy az ábrázolt programok hányszor tízezer állást vizsgálnak meg három perc alatt. (Azért éppen három percet vettünk egységnek, mert egy normál versenypartiban átlagosan ennyi időnként kell lépni egyet). A függőleges tengelyen a programok erősségét ábrázoltuk. A sakkozókát jó másfél évtizede rangsorolják az úgynevezett Élő-pontok alapján. (A magyar származású Élő Árpád matematikaprofesszor algoritmusá szerint).

Az Élő-féle skála azt fejezi ki, hogy egy adott pontszámú játékos egy másik adott pontszámú játékosal szemben várhatóan milyen eredményt ér el. A skála mértékegysége és nullapontja tetszőlegesen van megválasztva (mint pl. a hőmérséklet a Celsius-skálánál). A világbajnok általában kb. 2700 pontos, egy erős nagymester (kb. a világranglista első 10-15 helyezettje) 2600 pont fölött van, a nemzetközi nagymesteri szint kb. 2500 pont. Egy mesterjelölt kb. 2100-2300 pont között áll. Egy II. osztályú sakkozó kb. 1700-1900 pontos, egy kezdő 1300 pont körüli. Látjuk, hogy a skála nagyjából a minősítések (illetve az egymás elleni nyeres valószínűsége) szerint lineáris, így eddigi eredményeink alapján azt is mondhatjuk, hogy a 3. ábra függőleges tengelye az ismert sémák számának logaritmusá szerint van skálázva.



A 3 percenként megvizsgált állások száma /10000/

3. ábra. A sakkprogramok fejlődésének trendje.

A 3. ábrán látszik, hogy a sakkprogramok erősödése egy darabig lineáris kapcsolatban van a számítógépek sebességének növekedésével. Simon 1958-ban becslését még konkrét adatokra nemigen alapozhatta, legfeljebb arra, hogy mennyire hisz abban, hogy a mesterséges intelligencia problémáinak megoldására rendkívül hatékony eszköz lesz. Ez a hite pedig onnan eredt, hogy néhány egyszerű problémára nagyon gyorsan sikerült eléggé jól működő programokat írni. Aki viszont

mondjuk 1979-ben adott becslést a 3. ábra alapján arra, hogy mikor lesz világbajnok erejű a számítógép, teljes joggal jósolhatta ezt a 80-as évek közepére. Látjuk azonban, hogy a programok erősödésének trendje megtört, holott a számítógépek sebességének növekedése még nem állt le (a 3. ábrán egyre jobbra is vannak pontok, legfeljebb abszcissa-értékük kevesebb a trend szerint elvárhatónál).

A közgazdaságtan tapasztalataiból (is) tudjuk, hogy ha valahol egy trendvonal megtörik, annak többnyire az az oka, hogy valamilyen minőségi változás állott be a feltételekben. Például a szocialista országokban (a kapitalistákban is, csak ott korábban) az össz nemzeti jövedelem időbeli trendvonalala akkor tört meg, amikor az extenzív iparosításba bevonható új munkaerő tartalékai kimerültek és az országok kénytelenek voltak átállni az ipar intenzív fejlesztésére.

A 3. ábra trendvonalala (így utólag végignézve) 1979 körül tört meg, de valószínűleg többet mond, ha inkább azt vesszük észre rajta, hogy a mesterjelölti szint elérésekor. A sakkprogramok írására tett erőfeszítések ugyanis nem csökkentek a 80-as években, a nemzetközi mesteri szintet egyelőre mégsem sikerült áttörni. Ez a megállapítás a legkülönbözőbb féle elveken működő sakkprogramokra egyaránt vonatkozik: azokra is, amelyek tiszta fakereséssel dolgoznak, és azokra is, amelyek valamiféle sémafelismerés alapján.

Eddigi eredményeink alapján már lehet egy feltételezésünk arra, hogy mi okozhatta a trendvonal megtörését, milyen feltételek változhattak meg a mesterjelölti szint elérésekor. Elértük ugyanis azt a határt, amíg az analitikus, lépésről lépésre való haladás egyáltalán el tud jutni. A továbblépés lehetőségeire még később visszatérünk.

Vizsgáljuk most meg az egyéb mesterséges intelligencia programok eredményeit. A nyolcvanas évek közepére a mesterséges intelligencia bizonyos módszerei úgyszólván technológizálódtak. A szakértő rendszerek címszó alatt szokás összefoglalni azokat a programokat, amelyek bizonyos általánosan bevált módszerek szerint intelligenciát igénylő feladatokat oldanak meg. Nem térünk ki ebben a tanulmányban a szakértő rendszerek általános alapelveire, csak azt nézzük meg, hogy hányféle szakmai ismeretet reprezentáló szabályt sikerült a jelenlegi legeredményesebb szakértő rendszerekbe beépíteni.

Itt is a bűvös néhány ezres határral találkozunk. Az XCON nevű szakértő rendszer, amelybe eddig a legtöbb szabályt sikerült beépíteni, PDP számítógépes rendszerek konfigurálásában ad szaktanácsokat. Ez a rendszer mintegy 4000 féle szabályt, ismeretsémát tartalmaz. A legjobb PDP-szakértők időnként fanyalognak, hogy egyes feladatokat szellemebben is megoldhatna, de átlagos számítógépes mérnöknek a rendszer érdemi és hasznos tanácsokat tudott adni.

A többi szakértő rendszereknél a beépített szabályok száma általában 2000 alatt maradt. E nagy eltérés oka az lehet, hogy az XCON rendszer eleve ember által készített dolgok felhasználásához adott tanácsokat, míg a többi rend-

szer természet adta objektumokkal dolgozott, amelyek eleve szabálytalanabbak, nehezebben kezelhetők. A közismert és nagyon sikeres MYCIN rendszerbe például kb. 1500 szabályt építettek. A MYCIN bakteriális megbetegedések diagnosztizálásához és kezeléséhez ad szaktanácsokat. Azt tapasztalták, hogy a MYCIN "tudása" eléri az átlagos általános orvosok tudását, de nem éri el a specialistákét. Hasonló a helyzet a MYCIN más orvosi szakterületekre kidolgozott változatainál is és általában az egyéb szakértő rendszerek esetében is.

Valószínűleg nem tévedünk nagyot, ha ezeknek a szakértő rendszereknek a kompetenciáját mesterjelölt szintűnek értékeljük. Ezt mutatják egyrészt azok a kísérletek is, amelyekben a rendszerek teljesítményét az emberi szakértők véleményeivel hasonlították össze, másrészt a beépített sémák száma, amely szintén a mesterjelölt tudásának nagyságrendje.

Mi lehet az oka annak, hogy nem építettek egyik szakértő rendszerbe sem ennél több sémát? Az ok nagyon egyszerű: azt tapasztalták, hogy további sémák, szabályok beépítése nem-hogy nem javította a rendszerek teljesítményét, hanem többnyire kifejezetten rontotta. Az újabb szabályok összekeveredtek a régiekkel, például amit addig egy-két egyértelmű szabály jól megmondott, abba belezavart az új szabály, és amikor az új szabálynak ezt a kellemetlen "mellékhatását" megpróbálták kiszűrni, az egész rendszer egyre áttekinthetlenebbé vált, új és új nemkívánt mellékhatások jelentek meg. Az előző fejezet végén említett komplexitásprobléma állt elő egyfajta konkrét formában: a rendszer bonyolultsága meghaladta alkotójának áttekintőképességét, és ezért nemigen volt továbbfejleszthető.

Annak persze semmi akadálya nem lenne, hogy egyazon gépben, sőt egy közös keretprogram alá szervezve elhelyezzünk egy orvosi, egy geológiai, egy mikrobiológiai és még 100 másik szakértő rendszert. Ezek szabálykészlete összesen jócskán meghaladhatná a százezret, csak éppen egyik témában sem érné el a mesteri szintet: az egyik témából meglévő tudás semmilyen formában nem tudna hasznára lenni a másik témának. A mesterjelölti szint határát jelentő néhány ezer séma meghaladása akkor problematikus, ha ezek mind összefüggnek egymással: ha mind egy szakmához tartoznak. (Mint az előző fejezetben kifejtettük, valószínűleg éppen eszerint határozódnak meg, válnak szét, osztódnak a szakmák).

Egy mesterjelölti szinten tanácsot adni tudó szakértő rendszer nagyon hasznos lehet akkor, ha szakember nem érhető el (vagy nagyon drága), és egy átlagos szakember segítsége is megtenné, nincs szükség különlegesen nagy tudású specialistára. Egy mesterjelölt erejű sakkprogram végülis az emberek 99%-a számára nagyon is respektálandó ellenfél, biztos üzleti siker. Általában azokon a területeken, ahol az embernek már a mesterjelölti szint elérése is komoly nehézséget okoz, nagy erőfeszítést kíván, a szakértő rendszerek versenyképesek és jól használhatók. Azokon a területeken viszont, ahol az ember könnyedén eléri a mesterjelölti szint-

tet, sőt a mesterit is, a mesterséges intelligencia programok jelenlegi teljesítménye távolról sem kielégítő.

Aligha tévedünk sokat, ha a jelenlegi egyik nyelvről a másikra fordító programok színvonalát is mesterjelöltinek értékeljük. Szókincsben ugyan messze meghaladják ezt a szintet (annak semmi akadálya nincs, hogy akármelyik nagyszótár szókincsét beprogramozzuk), de ezek a szavak a fordító programok számára pusztán lexikai egységek, nem sémák. Amit ezek közül tényleg sémaként tudnak használni, azok száma legfeljebb néhány ezer. Számos bonyolult, jóllehet az ember által egészen magától értetődő módon használt séma még teljesen kimarad. Aki be tudná programozni az öt leggyakoribb angol szó (the, of, and, a, to) helyes használatát, az ezzel jó eséllyel a mesterséges intelligencia számos más fontos problémáját is megoldaná, mintegy melléktermékként.

Mivel az ember a nyelv megértésében mesterei szinten áll, egy mesterjelölt szinten fordító program terméke rendkívül zavaró a számára. Egy ilyen szöveget lektorálni, kijavítani nagyobb munka, mint az egészet újrarendezni. Hasonló problémákkal találkoztak azok is, akik az automatikus diktafont próbálták kifejleszteni. Az ember amikor egy szöveget hall, azért tudja azt leírni, mert érti. Próbáljunk csak meg egy ismeretlen nyelven mondott szöveget leírni: bámulatosan gyenge lesz az eredmény még akkor is, ha az illető nyelv írásmódja teljesen fonetikus.

A szakértő rendszerek módszertana lehetőséget ad arra, hogy nagyon sok területen mesterjelölt szintű számítógépes intelligenciát hozzunk létre. Azt is látnunk kell viszont, hogy ezek az eredmények meglehetősen csalókák. Amikor egy területen a szakértő rendszer tudása eléri a mesterjelöltét, ez csak nagyon szűken, nagyon szigorúan arra a szakterületre vonatkozik. A program nem produkálja azt, amit a mesterjelölt gondolkodása egyik fő jellemzőjének állapítottunk meg: hogy szakmai sémái különválnak a hétköznapi sémáitól. Illetve nagyon speciális módon teszi ezt: egyáltalán nincsenek meg a hétköznapi sémái. Ezért bár a szakismeretei kielégítőek lehetnek a mesterjelölti szinten, időről időre váratlan és kellemetlen bornírtságokat követ el, a szakma egészen hétköznapi kérdéseiben olyan hibákat vét, amelyeket már a teljesen kezdő is elkerül; tanítani sem kell neki, mert nem hülye, csak kezdő.

A jelenlegi mesterjelölt programok általunk érzékelt teljesítménye (minden szakterületen) részben egyfajta "optikai csalódás" eredménye: mivel az, aki használja őket, értelmes ember, eleve nemigen kérdez olyasmiket, ami számára magától értetődő. Ezért nem is veszi észre a rendszerek bornírtságát, vagy hogy finomabban fogalmazzunk, a szakmán belüli vészes szakbarbárságát. A számítógépes intelligencia a jelenlegi fejlettségi szintjén nem arra használható, amiben hasonlónak látszik az emberhez (mert abban nemcsak hogy nem versenyképes, de valójában még csak nem is hason-

lő), hanem arra, amiben más. Olyasféleképpen használható, mint minden (nem a mesterséges intelligencia területéhez tartozó) program, például egy adatbázis.

Jelenlegi tudásunk alapján könnyebb egy mesterjelölt szintű szakértő rendszert írni, mint egy középhaladó szintűt. A középhaladónál ugyanis az embernek azonnal feltűnik, hogy mi mindent nem tud, és hogy kitapasztalja, szinte vizsgáztatni kezdi. Ilyen hozzáállással persze egyre nyilvánvalóbb kérdéseket firtat, és éppen ezért egyre butább válaszokat kap. Egy mesterjelölt tudású rendszerrel viszont az, aki ismerkedik a rendszerrel, látja, hogy a program rengeteg mindent tud, és arra kíváncsi, hogy mi mindent tud még. Lényegében a "jó tanuló felel" illetve a "rossz tanuló felel" effektus jön be. A mesterjelölt program hézagait a felhasználó könnyedén kiegészíti mindazzal, amit úgyis tud, a középhaladó programnál egyre súlyosabb gyengeségekre tapint rá.

Éppen ezért jelenlegi mesterséges intelligencia programjaink értékelésénél hallgatólagosan (és ettől csalóka módon) kihasználjuk, hogy mi értelmesek vagyunk, hogy mi valamiben (a hétköznapi megértésben) eleve mesteri szinten állunk, és ezért felmentjük a programot az alól, hogy ő is értelmes legyen, tőle elégnek fogadjuk el azt, ha tud. A szűk szakmai tudás alapján jogosan értékeltük a szakértő rendszerek legjobbait mesterjelölt szintűnek, de általában a mesterjelölt szintű mesterséges értelem elérésétől még messze vagyunk: az ilyesmi eleve feltételezne egy mesteri szintű hétköznapi intelligenciát.

Egy szakértő rendszerben, amelytől konkrét szakmai tanácsot akarunk kapni, nem keressük az általános intelligenciát, csak a speciális szakmai tudást. Ezért mindazokon a területeken, ahol ennyivel beérjük, a szakértő rendszerek szerkesztési, programozási technológiai segítségével számíthatunk arra, hogy jó eséllyel mesterjelölt szintű rendszert fogunk tudni készíteni. (Legalábbis olyan színvonalú rendszert, amelynek teljesítményét saját általános intelligenciánk hallgatólagos beleértésével jogosan értékeljük mesterjelöltinek). Ezért tapasztalhatjuk napjainkban azt, hogy a mesterséges intelligencia jól alkalmazható és sikeres területté vált anélkül, hogy alapproblémáinak a megoldásához érdemben közeledett volna. Az eddig elért szint sok szempontból tehát már jól használható. Az, hogy jelenlegi tudásunk, eszközeink továbbfejlesztésével sikerülni fog-e ezt a szintet lényegesen meghaladni, netán a nagymesteri szintet elérni (bármely területen), legalábbis kétséges.

A filozófusok, a pszichológusok és a számítógépes szakemberek berkeiben nagy viták dúlnak arról, hogy egyáltalán elvileg lehetséges-e az emberi intuitív gondolkodás számítógépes megvalósítása. Az egyik szélsőséges álláspont szerint jelenlegi eredményeink ezt valamennyire már meg is valósították. Vagy ha nem is ezt, lehetőségeiben valami még sokkal jobbat. A másik szélsőség véleménye szerint jelenlegi

eredményeink siralmasak, és mivel az emberi intelligencia valami minőségileg más dolog, mint a számítógépes, a cél elérésére halvány remény sincs. Sokféle közbűlső vélemény is létezik. Ebben a vitában itt nem foglalunk állást, de megemlíjtük eddigi eredményeink két különböző lehetséges interpretációját.

Ha elfogadjuk, hogy jelenlegi mesterséges intelligencia programjaink a racionalitást, az ésszerű, logikus érvelést modellezik, akkor a fejlődés trendvonalának következetes megtörése azt mutathatja, hogy ezekkel az eszközökkel eddig e szintig lehet eljutni. Mivel az ember egy ennél magasabb szintű komplexitás áttekintésére, használatára is képes az intuitív gondolkodás segítségével, ez a pusztán egzisztencia-tény azt bizonyíthatja, hogy a racionális megismerésnek vannak bizonyos korlátai, és hogy a megismerésnek ezenkívül valami másfajta módja is létezik, amelynek működési mechanizmusairól jelenleg vajmi keveset tudunk. Ez a gondolatmenet alátámasztja, bár nem bizonyítja más, a racionalitáson túli megismerési módok létezését. Interpretálhatjuk eredményeinket úgy is, hogy eszközeink jelenlegi fejlettsége az intelligencia ilyen szintű modellezésére ad lehetőséget, de semmi sem zárja ki, hogy ezek fejlődésével az emberi intuitív gondolkodás szintje is elérhető (sőt esetleg meghaladható) lesz.

Ehhez a vitához tényszerű alapot adhatna (bár el még ez sem döntené), ha meg tudnánk állapítani, hogy a programok fejlődésének trendje a mesterjelölt szintnél található törés után egy lassúbb lineárisan növekvő pályára állt át, vagy egy aszimptotához tart. Ennek eldöntésére sajnos egyelőre nincs módunk; például a 3. ábra alapján is nyitott marad a kérdés.

A fő probléma az, hogy nem értjük világosan, hogy mit jelent egy dolgot megérteni. Lehet, hogy azt, hogy a dolog sémává vált. Ezért érdekes a mesterséges intelligenciának az ebben a tanulmányban tárgyalt fejezete mind a kognitív pszichológia, mind pedig a műszaki mesterséges intelligencia számára.

IRODALOM

Az anyag folyamatos olvashatósága érdekében a szöveg közben nem jeleztük az egyes gondolatok, módszerek pontos forrását. Az itt felsorolt művek alkalmasak a témában való alaposabb elmélyülésre, pontosabb tájékozódásra.

Általános művek:

- M. W. Eysenck: A handbook of cognitive psychology. Lawrence Erlbaum Associates, 1984.
- R. Groner, M. Groner, W. F. Bishof (eds): Methods of heuristics. Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- Horváth Gy.: A tartalmas gondolkodás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1983.
- P. N. Johnson-Laird, P. C. Wason (eds.): Thinking: Readings in cognitive science. Cambridge University Press, 1977.
- N. E. Sharkey (ed.): Advances in cognitive science 1. Ellis Horwood Limited, 1986.
- H. A. Simon: Models of thought. Yale University Press, 1979.
- B. L. Webber, N. J. Nilsson (eds.): Readings in artificial intelligence. Tioga Publishing Company, 1981.

A 2. fejezethez:

- Ádám Gy.: A megismerés csapdái. Gyorsuló idő sorozat, 1987.
- F. C. Bartlett: Az emlékezés. Gondolat könyvkiadó, 1985.
- L. S. Cermak, F. I. M. Craik (eds.): Levels of processing in human memory. Lawrence Erlbaum Associates, 1979.
- C. C. Foss (ed.): Új távlatok a pszichológiában. Gondolat könyvkiadó, 1972.
- R. L. Gregory: Az értelmes szem. Gondolat könyvkiadó, 1980.
- U. Neisser: Megismerés és valóság. Gondolat Könyvkiadó, 1984.
- H. A. Simon: How big is a chunk. Science 183, 482-488.
- E. Tulving: Elements of episodic memory. Oxford University Press, 1983.

A 3. fejezethez:

- N. Charness: Search in chess: age and skill differences. Journal of Experimental Psychology 7, 1981, 467-476.

- P. W. Frey (ed.): Chess skill in man and machine. Springer Verlag, 1978. Bővített új kiadás: 1987.
- A. D. de Groot: Thought and choice in chess. Mouton, den Haag, 1965.
- A. D. de Groot: Heuristics, Mental processes, and intelligence. In: Groner et al. (eds.), i.m., 109-129.
- Mérő L.: Heurisztikus eljárások a mesterséges intelligenciában. *Psychológia* 4, 1984, 241-259.
- J. S. Reitman: Skilled perception in GO: Deducing memory structures from inter-response times. *Cognitive Psychology* 8, 1976, 336-356.
- R. I. Reynolds: Search heuristics of chess players of different calibers. *American Journal of Psychology* 95, 1982, 383-392.
- H. A. Simon, W. G. Chase: Perception in chess. *Cognitive Psychology* 4, 1973, 55-81. Újranyomtatva: H. Simon, i.m. 386-403.
- O. K. Tyihomirov, E. D. Poznyanskaja: An investigation of visual search of analyzing heuristics. *Soviet Psychology* 5, 1966, 2-15.

A 4. fejezethez:

- W. Reitman, B. Wilcox: Modeling tactical analysis and problem solving in GO. Proc. 10th Annual Pittsburgh Conference, 1979, 2133-2148.
- H. A. Simon, K. J. Gilmarin: A simulation of memory in chess positions. *Cognitive Psychology* 5, 1973, 29-46. Újranyomtatva: H. Simon, i.m. 363-372.
- H. A. Simon: Studying human intelligence by creating artificial intelligence. *American Scientist* 69, 1981, 300-309.

Az 5. fejezethez:

- H. L. Dreyfus, S. E. Dreyfus: Mind over Machine. Thee Free Press, 1986.
- H. Gardner: Frames of mind. Heinemann, London, 1985.
- D. R. Hofstadter: Metamagical themas. Basic Books, 1985.
- D. H. Holding: The psychology of chess skill. Lawrence Erlbaum Associates, 1985.

A 6. fejezethez:

- H. Berliner, C. Ebeling: The SUPREM architecture: a new intelligent paradigm. *Artificial intelligence* 28, 1986, 3-8.
- W. B. Gervater (1985): Intelligent machines. Prentice-Hall, New Jersey.

- D. R. Hofstadter: Gödel, Escher, Bach. Basic Books, 1979.
- C. Hookway (ed.): Mind, machine and evolution. Cambridge University Press, 1985.
- M. Minsky: Why people think computers can't. AI Magazine, Fall 1982, 3-15.
- M. M. Newborn: Recent progress in computer chess. Advances in Computers 18, 1978, 59-117.
- J. Searle: Minds, brains and programs. The Behavioural and Brain Sciences 3, 1980, 417-457. (És utána sok vitacikk).
- H. A. Simon (1983): Reason in human affairs. Stanford University Press, Stanford, California.
- J. Weizenbaum: Computer power and human reason. Freeman, San Francisco, 1976.