

Károly Krisztián

krisztian.karoly@mil.hu

LÖVÉSZ ZÁSZLÓALJ KAPCSOLATI RENDSZEREINEK VIZSGÁLATA HÁLÓZATELEMZÉSI MÓDSZEREKKEL 1. RÉSZ

Absztrakt

Korunk információs társadalmának vívmányai komoly kihívások elé állították a haderőt is. A vezetés- szervezés részét képező döntési ciklusok illetve az információfeldolgozás ideje drasztikusan lecsökkent. A hadviselő felek közül az információs uralmat kialakító fél vezetési fölényhez juthat. Ezen új típusú gondolkodásmód hívta életre a hálózat központú hadviselés rendszerét. Mint minden hálózat a katonai hálózatok is jól vizsgálhatók matematikai módszerekkel. A 2000-es éveket követően komoly hálózatelemzési matematikai modellek születtek, amelyek ismeretében kézenfekvő ezen módszerekkel elemezni a Magyar Honvédség alakulatait a hálózat centrikus műveleti térben. Kutatásaimban önhasonló alakzatokat (fraktálszerű képződményeket) és skálafüggetlen hálózatokat keresek egy lövész zászlóalj függelmi kapcsolati rendszerében. Jelen publikáció egy folytatásos cikksorozat első része.

The army also met the modern applications' challenges of the information based society. The decision cycles and the time of the information management (part of the command & control system) dropped off dramatically. The faster powers at war can reach the leadership dominance. This new headgoal made the Network Centric Warfare (NCW) theory. The military networks (similar to the other networks) is analysed well by mathematical methods (e.g. graph theory).

There was a revolution in the network analysis in dawn of 21th century, and it improved this segment of the mathematic. It is necessary to research the forces of the Hungarian Defence Forces with these new methods. I search for fractals and scale-free networks in the order link system and in the information link system of an infantry battalion. This is the first step of a publication series.

Kulcsszavak: *hálózatelemzés, skálafüggetlen, önhasonló hálózatok, hálózat központú hadviselés, híradás ~ network centric warfare, signal, scale-free network, fractal, logical topology*

*„A matematikai igazságok rajta vannak az abszolút igazságok listáján, és mi csak felfedezzük azokat.”
Erdős Pál*

BEVEZETÉS

Röviddel az ezredforduló előtt az Egyesült Államok hadseregében megalkották a hálózat központú hadviselés (NCW¹) koncepcióját [1; p. 190.]. Felismerve a modern Információs Technológiákban (IT²) rejlő lehetőségeket, az alegységeket, parancsnokokat és törzseket, valamint a szenzorokat hálózatszerűen kívánták összekapcsolni. Gyakran emlegetett elvárásként támasztották, hogy az USA elnöke akár a lövészárokban lévő katonával is összekapcsolható legyen, ezáltal lerövidítve a hálózati csomópontok közötti utat, amely nagyfokú robusztusságot biztosít a hálózatnak. Mindezen rendszert a világ jelenleg egyetlen domináns haderejére optimalizálták [2][3].

A Magyar Honvédség haladva a kor kihívásaival szintén igyekszik kialakítani a maga hálózat központú hadviselési képességét. Ezeket a már említett információs technológiákra, valamint tudatosan kialakított vezetési rendszerre kell építeni. Azonban a rendszer kiépítése során vizsgálni kell a hálózatot, továbbá a kialakítás lépései során időről-időre felül kell vizsgálni, úgynevezett hálózatelemzést kell végrehajtani.

Az NCW modell megalkotását követően, attól függetlenül, civil vonalon Barabási Albert-László és munkatársai 1999-től folyamatosan publikált hálózatelemzési műveikben, alapjaiban változtatták meg a valóságos hálózatokról alkotott képünket. A korábbi Erdős-Rényi modelltől [4; p. 20.] függetlenül bevezették a skálafüggetlen hálózatok fogalmát. Ez új megvilágításba helyezte többek között a különböző társadalmi, szociológiai, gazdasági hálózatokat.

Ezen ismeretek birtokában érdemes ismét megvizsgálni hálózatelemzési módszerekkel a Magyar Honvédséget érintő hálózat központú hadviselési lehetőségeket. A téma nagyságát tekintve szűkíttem a lövész zászlóalj kapcsolati rendszereire.

Kutatási célkitűzésem egy általam választott lövész zászlóalj információs-, függelmi-, kapcsolati rendszerének elemzése. Résztartási céljaim önhasonló hálózatok (fraktálszerű képződmények), továbbá skálafüggetlen hálózatok keresése. Illetve a kapott eredmények alapján egy ideális híradó hálózatra javaslatot tenni, amely tovább növelné a zászlóalj túlélőképességét az entrópia - alapú hadviselési környezetben.

HÁLÓZAT KÖZPONTÚ HADVISELÉS

A hálózat központú hadviselés gondolatát először Jay Johnson tengernagy említette meg 1997-ben egy az Egyesült Államok Haditengerészeti Intézetében rendezett konferencián, később 1998-ban doktrínába foglalták [1; p. 190.]. Az elmélet lényege, hogy egyszerűsítse a hálózati szenzorok, parancsnokok, és lövészek bonyolult hierarchiáját, csökkentse a műveleti szüneteket, növelje a precizitást és lerövidítse a vezetés időszükségletét.

Az NCW modell alaptételei a következők:

1. A robusztus hálózatok elősegítik az információ megosztást.
2. Az információ megosztás elősegíti az együttműködés kialakítását.
3. A harchelyzet ismeret (SA3) elősegíti a csapatok műveleti összeszinkronizálódását.
4. Ezek az elemek drasztikus arányban növelik a műveletek sikerességét [2][3].

¹ Network Centric Warfare

² Information Technologies

³ Situational Awareness

Az NCW modellel nagyjából egy időben alakult ki az entrópia alapú hadviselés modellje [5][6]. „Az elv szerint az ellenség rendezetlenségét (az entrópiáját) kell megnövelni a kohéziót biztosító szervezeti elemek (személyek, eszközök, objektumok) kiiktatásával addig a szintig, hogy a személyi állomány már ne legyen képes a szervezett ellenállásra.” [1; p. 190.]

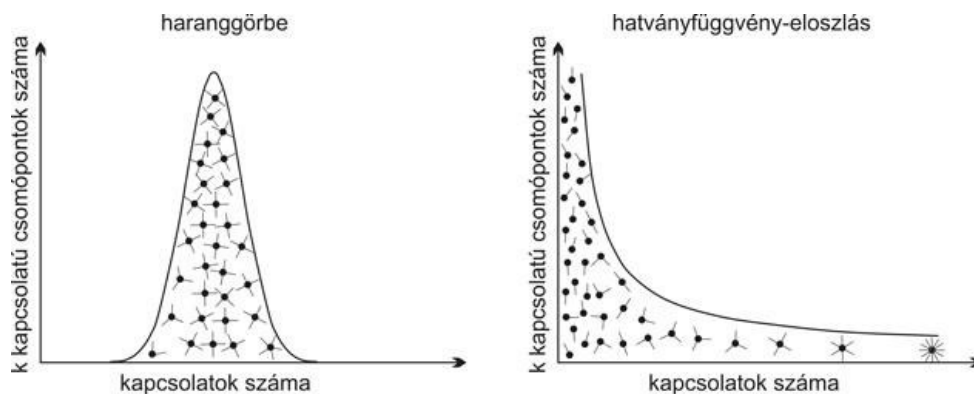
Felmerülhet az olvasóban a kérdés, hogy ezen alaptételek kimondása után miért fontos a Barabási-féle modell vizsgálata a katonai hálózatokban? A válasz egyszerű: Mikor ezek az elméletek születtek, még más volt az általánosan elfogadott kép a valóságos hálózatokról. Barabási és kutatócsapata a skálafüggetlen hálózatok bevezetésével tudományos, matematikai módszerekkel megalapozott választ adtak a valóságos hálózatok viselkedésére, ráadásul a leírt hálózati megoldásokat szélesebb körben tudták alkalmazni, mint a társadalmi hálózatok. Külön érdekesség, hogy a DARPA 1999 őszen kiírt pályázatán, amely „elsődlegesen az új hálózati technológiáknak a fejlesztését tűzte ki célul, amelyek a jövő hálózatai számára lehetővé teszik, hogy a támadások esetén épkek maradjanak, és a hálózati szolgáltatásokat fenntartsák” a Barabási-féle kutatócsoportot elutasították, mert akkor még nem értették mi különleges van a skálafüggetlen hálózatokban, pedig nem sokkal előtte hozta le felfedezésüket a rangos Nature című tudományos folyóirat. Azóta tudjuk, hogy a skálafüggetlen hálózatok terén elért sikereik komolyan hozzájárultak a robosztusság, és a hálózatok támadhatóságának vizsgálatában, matematikai modellezésében [4; p. 126.].

HÁLÓZATELEMZÉS MATEMATIKAI MÓDSZEREI

A társadalmi, biológiai, informatikai hálózatok jobb megérthetősége érdekében, célszerű azokat kvantitatív formába önteni, és úgy kezelni. A probléma megoldásához matematikai módszereket hívunk segítségül, mint a diszkrét matematika, a gráfelmélet, fraktálok, matematikai címkézés.

„A hálózat fogalma a hálózattudományban matematikai, ezen belül gráfelméleti alapokra épül. Ennek megfelelően a hálózat csúcsok/csúcspontok (csomópontok) és az ezeket páronként összekapcsoló élek (kapcsolatok) összessége. Az ezzel lényegében megegyező tartalmú gráf fogalom azonban csak a hálózatok legegyszerűbb változatainak leírására alkalmas.” [7; p. 181.] Továbbá meg lehet különböztetni a hálózatokat azok vonalas elrendeződése (pl.: utak, folyók), vagy a csomópontok és az ezek közötti kapcsolatok alapján (pl.: szociális kapcsolatok) [7; p. 181.]. Esetünkben az utóbbi hálózatokkal foglalkozom.

A hálózatok matematikai leírásával először Leonard Euler foglalkozott a Königsbergi hidak problémájában 1736-ban. Ebben fontos alapfogalmakat fektetett le a híres matematikus, melyek az évszázadok során dinamikusan fejlődtek. Eleinte csak a szabályos gráfokat vizsgálták a matematikusok, azonban Erdős Pál és Rényi Alfréd munkássága révén a gyakorlati alkalmazás került előtérbe. Az Erdős-Rényi páros a véletlen hálózatokat vizsgálta, ahol feltételezték, hogy a hálózatok véletlenszerűen kapcsolódnak egymáshoz, így azok fokszámeloszlása normál eloszlást mutat (haranggörbét követ). A következő mérföldkő 1999-ben volt, amikor Barabási Albert-László és Albert Réka felfedezték a skálafüggetlen hálózatokat, amelyek fokszámeloszlása hatványfüggvényt követ (1. ábra). Ezen elméletek, és az alábbi kutatómunka alaposabb megértése érdekében, célszerű néhány alapfogalmat definiálni:



1. ábra. Normál eloszlású és skálafüggetlen hálózatok (hatványfüggvény eloszlású) közötti különbség⁴

A hálózat egymással összekapcsolt elemek összességéből áll. A legtöbb valós hálózat elemei nem egyszerű pontok (mint a hálózatok matematikai leképezéseinek, a gráfoknak az elemei), hanem maguk is bonyolult hálózatok. Ez azt jelenti, hogy a természetben a hálózatok egymásba ágyazottan fordulnak elő [8]. A hálózatok matematikai elemzésével a gráfelmélet foglalkozik:

A gráf objektumok egy halmazának (csomópontok) és az azok között fennálló kapcsolatoknak (élek) egy absztrakt reprezentációja [9]. Jelölése $G(N;k)$, ahol G : a gráf, N : a csomópontok halmaza, és $k \subseteq N \times N$ az élek halmaza. Amennyiben két csúcsot legfeljebb egy él köt össze, egyszerű gráfról beszélünk. Az olyan gráfot, melynek élein haladva bármely csúcsából bármely másik csúcsába eljuthatunk, összefüggő gráfnak nevezzük [10].

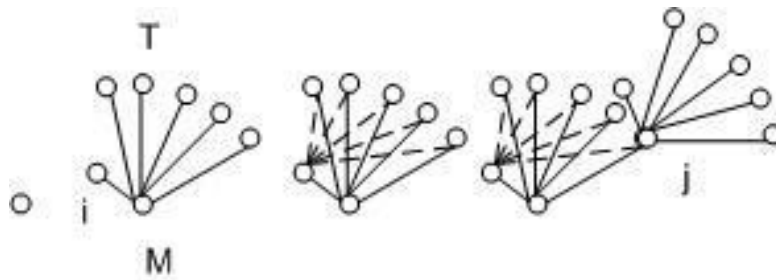
A valós analízis és a topológia megalapozására irányuló vizsgálatok során felfedezték a fraktálokat, melyeknek többféle definícióját is elfogadja a tudományos élet [11]. A következő fogalmak jól körülírják a fraktálokat: A fraktálok olyan önhasonló alakzatok, melyek önhasonló motívumai skálafüggetlen méreteloszlást mutatnak [8]. Egyes megfogalmazások szerint a végtelenségig önhasonló alakzatok [11]. Azonban a természetben előforduló fraktálok (pl.: brokkoli), egyértelműen nem képesek végtelen lépésű önhasonlóságra. Az általam vizsgált társadalmi hálózatok fraktál szempontból végső pontjai az emberek. A Magyar Honvédség jelenlegi maximális létszáma 33 ezer fő, az államigazgatásban pedig mintegy 800 ezren dolgoznak, a Föld lakossága jelenleg valamivel több mint 7 milliárd ember [12]. Azaz a hálózat, amely a fraktált alkotja, nem lehet ennél több elemű. A Csermely Péter-féle hálózat értelmezés alapján, a matematikai absztrakció révén, elvonatkoztathatunk a csomópontok valódi alakjuktól (pl. ember, sejtek, stb.), így kialakulhat egy magasabb indukció.

A hálózat központú hadviselés kutatása során nem újszerű gondolat fraktálokat keresni a hadviselést felépítő komplex hálózatokban. Egy 2000-ben megjelent angolszász tanulmány a frontvonalak fraktál tulajdonságait tanulmányozza. A hadtörténeti adatokat feldolgozó kutatás megállapította, hogy a frontvonalak átlagos fraktáldimenziója $D=1,685$ [13] [14].

LÖVÉS ZÁSZLÓALJ FÜGGELMI KAPCSOLATRENDSZERÉNEK ELEMZÉSE

A katonai szervezet erősen hierarchikus szervezeti keretek között működik. A kis csoportok (rajok, részlegek) élén egy szervezetszerű parancsnok áll. A csoportban van továbbá még egy kitüntetett csúcs ez a parancsnokhelyettes, akinek a csoport tagjai ugyanúgy engedelmisséggel tartoznak. Ezt a felépítést a következő gráf mutatja (2. ábra).

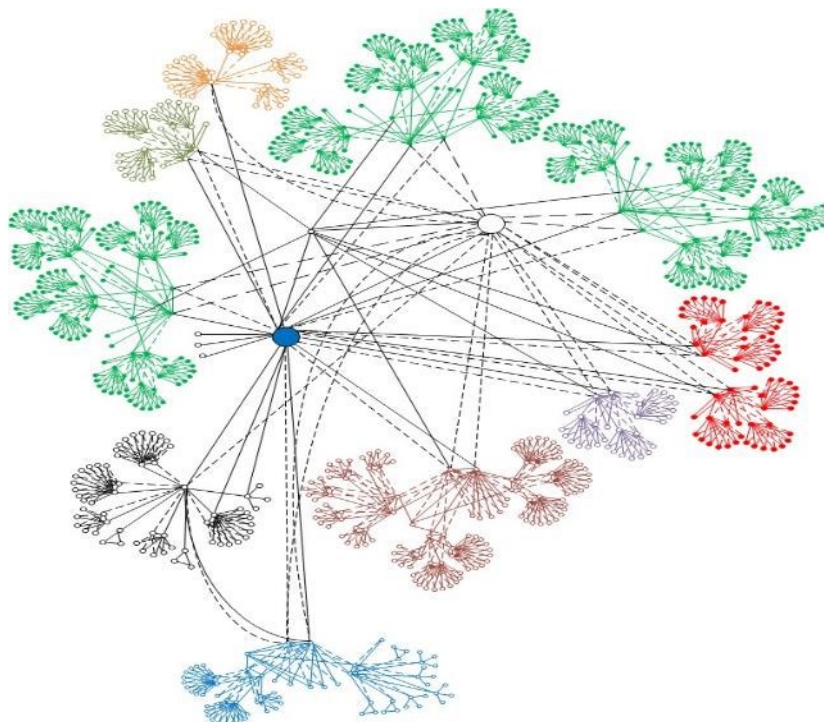
⁴ BARABÁSI Albert-László: Behálózva - A hálózatok új tudománya, Helikon Kiadó, 2013. Harmadik kiadás, ISBN 978 963 227 293 1 p. 79.



2. ábra. Függelmi kapcsolatok kialakulásának önhasonló dinamizmusa (szerző)

Gyakorlatilag egy két csomópontú csillag topológia látható, ahol a parancsnok helyettes kapcsolatait szaggatott vonallal jelöltem a megkülönböztetőség miatt. Ez az elrendeződés a hálózat (zászlóalj) építőkövei, melyek absztrakt felírása egy későbbi kutatómunka része lesz.

Van egy kiinduló csomópont a gráfban, nevezzük M-nek. M-ből kiindul T számú csomóponthoz ugyanannyi számú él, ahol T az alárendeltek számossága, a hozzájuk tartozó élek pedig a parancsnok-beosztott közötti függelmi viszonyt ábrázolják. Egy i csomópont (parancsnokhelyettes) kitüntetett szerepet kap, és egy-egy éllel kapcsolódik a csoport többi tagjához. Harmadik lépésben egy tetszőleges j csomópont azonosan hasonlóan M-hez további hasonló kapcsolatokat épít ki más csomópontokkal (pl.: zászlóaljparancsnok – századparancsnokok – szakaszparancsnokok). Ez a folyamat egy lövészzászlóalj függelmi rendszerében a zászlóaljparancsnoktól kezdve a lövész katonáig négy lépésben zajlik le. A fent leírtak alapján belátható, hogy egy önhasonló hálózatról beszélünk, melyet a következő ábra szemléltet. Azonban ez az önhasonló hálózat önmagában még nem fraktál [11], hisz nem áll fenn, hogy végtelen lépésben önhasonló, de kimondható, hogy fraktálszerű képződményről beszélünk. A fent említett leírás lehetőséget nyújt, hogy magasabb rendű (Magyar Honvédség, államigazgatás), illetve alacsonyabb rendű (emberi szervezet) hálózatokban hasonló önhasonló tulajdonságot keressünk. A fenti leírás alapján belátható, hogy a Magyar Honvédség, és az azt felölelő halmaz a magyar államigazgatás is hasonlóan működik, azaz a zászlóalj önhasonló alakzata egy nagyobb diszkrét elemekből álló önhasonló hálózat (fraktál szerű képződmény) részeleme. Most nézzük meg, hogy teljesül-e a skálafüggetlen felépülés?



3. ábra. Lövész zászlóalj függelmi kapcsolatai (szerző)

A függelmi kapcsolati rendszer megrajolásával párhuzamosan felírtam a gráf kapcsolati mátrixát, amely egy közel 700X700-as mátrix. A mátrixban két csomópont közötti élek számát beírom a megfelelő helyre (jelenleg maximum 1), ahol pedig nincs kapcsolat oda 0 kerül. A vizsgált gráf több mint 700 csomóponttal, és megközelítőleg 1400 éllel rendelkezik. Azonban, mivel ez egy ritka gráf, amelyben az élek száma sokkal kisebb, mint a csúcsok számának négyzete ($[k] \ll [N]^2$), azaz a sűrűsége $\ll 0,5$ (számításokat követően ez az érték 0,02), így logikusabb a szomszédsági lista használata, így a mátrix minden egyes csomópontja mellett feltüntetésre kerül a hozzájuk befutó élek száma. Az adatok feldolgozásához Microsoft excel-t használtam.

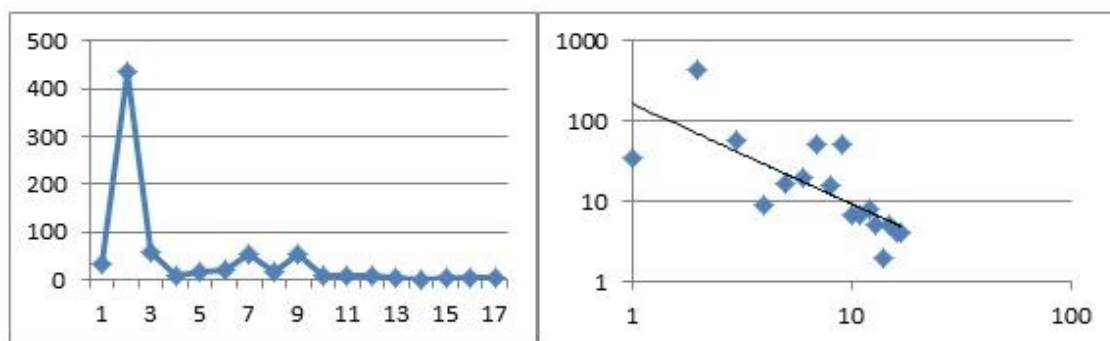
Következő lépésben vizsgáltam a felírt hálózat skálafüggetlenségét. Barabási Albert-László hálózatkutató munkássága alapján, a skálafüggetlen hálózatoknak a következő alapfeltételeknek kell megfelelnie:

1. Növekedés: A hálózatok állandó változására utaló tétel. Az Erdős-Rényi modellel [4; p. 20.] ellentétben, amely statikus, a valóságos hálózatok állandóan változnak. Ennek az állandó változásnak egy pillanata a fenti ábra is. Beosztások jönnek létre, szűnnek meg, esetleg átalakulnak. Az új beosztások mindig egy parancsnokhoz köthetők. Tehát a növekedésként definiált tétel megállja a helyét.
2. Népszerűségi kapcsolódás. Az átalakulás során a csomópontok a függelmi rendszerben egy erősebb csomóponthoz kapcsolódnak (parancsnok).

A skálafüggetlen hálózatok kialakulásához szükséges alapfeltételek teljesültek, azonban a kialakult önhasználó hálózat képét vizsgálva nem látunk sok kapcsolattal rendelkező középpontokat. A skálafüggetlenség kizárásához további méréseket szükséges végrehajtani a hálózaton.

A skálafüggetlen természeti hálózatokban kivétel nélkül megtalálható a Pareto- szabály, más néven a „gazdagabb egyre gazdagabb lesz” [4; pp. 74-90.]. A szabály lényege, hogy az élek 80%-át a gráf csomópontjainak 20%-a birtokolja. Az elvégzett számítások alapján a hálózat 29,5%-a sok kapcsolattal rendelkező vezetők, ezek a pontok azonban csak az élek 62,9%-át birtokolják. Tehát kimondható, hogy a vizsgált gráf a 80-20-as Pareto- szabálynak nem tesz eleget, azonban a 70-30-as Pareto-szabálynak már eleget tesz. Itt érdemes megjegyezni, hogy a skálafüggetlen hálózatoknál definiált alapkövetelmények a 80-20-as szabályt alkalmazzák. A jelentkezett eltérésre az alábbiak adhatnak választ.

Következő lépésben két grafikonon vizsgáltam a fokszám eloszlását. A skálafüggetlen hálózatokra jellemző, hogy hatványfüggvény eloszlást mutatnak (lásd 1. ábra) [4]. Amennyiben a koordináta rendszer hatványokat megjelenítő koordináta tengelyét dekádus osztással veszem fel, és itt jelenítem meg a függvényt, akkor egy egyenes menti szórást kell mutatnia, melyet az alábbi jobb oldali ábrán egy fekete segédegyenes jelez.



4. ábra. Zászlóalj függelmi kapcsolati rendszerének fokszám eloszlása (szerző)

Az ábrákat tanulmányozva a bal és jobb oldali függvények hatványfüggvény jellegű eloszlást mutatnak, így azok nem feltétlenül elégítik ki a támasztott követelményeket.

Összegezve a fent felsorolt pontokat, megállapítható, hogy a lövész zászlóalj kapcsolati rendszere önhasználó hálózat, azonban a skálafüggetlenség bizonyításával gond van. Hasonló problémával küzdöttek a világ vezető hálózatkutatói 1999 és 2001 között. A megoldás a moduláris hálózat elvében van [4, p.205.]. Térjünk vissza a 2. és a 3. ábrához, ahol a lövész zászlóalj függelmi kapcsolati rendszerét és annak kialakulási dinamikáját ábrázoltam. Ha ezt a hálózatot úgy tekintem, mint modulokból felépülő hálózatot, akkor könnyen belátható, hogy az egyes modulok skálafüggetlenek. Lehetséges, hogy az egész hálózatra közvetlenül nem alkalmazható a 80-20-as törvény, azonban az egyes modulok eleget tesznek a feltételeknek, azaz kimondható, hogy a lövész zászlóalj egy moduláris skálafüggetlen hálózat, továbbá a Csermely-féle megfogalmazás szerint egy skálafüggetlen önhasználó hálózat (fraktál szerű képződmény). Mint korábban utaltam rá a természeti hálózatok ilyen skálafüggetlen önhasználó fraktálok, melynek jelentősége abban rejlik, hogy azok a szervezetek amelyek, ezen természeti tulajdonságot másolják sokkal ellenállóbbak, vallják a modern kutatások ezrei. Ez kedvező eredmények hozhat az entrópia alapú hadviselési térben.

A moduláris skálafüggetlenség bizonyítását követően vizsgáltam, hogy a hálózat rendelkezik-e a kis világ tulajdonságokkal [4; pp. 48-63.]. A katonai híradásszervezésben nagyon fontos mérőfaktor, hogy hány kézen megy át az információ, mert minden egyes lépés az információ torzulását eredményezi. Hálózatelméleti megközelítésben, minél kevesebb kézfogásra vannak egymástól a csomópontok, annál kevésbé torzul az információ. Természeti modelleket tanulmányozva 2-14 lépés közé teszik a kis világok mérőszámát. Barabási és kutatócsapata kimutatta, hogy a nagy hálózatokban az átlagos összekapcsoltság logaritmikus emelkedést mutat. Kritérium érték a pontonkénti összekapcsoltság 1 körüli legyen. Elfogadva a kis világról alkotott tézist, és figyelembe véve a vizsgált hálózat moduláris skálafüggetlen tulajdonságait, az alábbi összefüggésekkel leírható, és számolható a lövész zászlóalj függelmi kapcsolatrendszerének kis világ tulajdonsága:

$$k^d = N$$

$$d = \frac{\lg N}{\lg k} = 5,23$$

Ahol N a csomópontok száma, k egy pont átlagos kapcsolatainak száma, d pedig a szükséges lépések száma. A számításokat elvégezve 5,23-at kaptam eredményül, azaz átlagosan 6 lépéssel elérhető egy tetszőleges csomóponttól egy másik csomópont. Ezzel bizonyítottam, hogy kis világ tulajdonságokkal rendelkezik a hálózat, mely pozitív az információtorzulás kiküszöbölését tekintve, de ez még nem elegendő. Természetesen függelmi szempontból kevésbé érdekes, hogy két lövész katona a szervezetben milyen távol van egymástól, sokkal érdekesebb, hogy a parancsnokok hány lépésre állnak a beosztottaiktól, és ezt lehet-e csökkenteni? Egy megfelelő hírszervezés alkalmazásával kell e több csomópont (ember) közbeiktatása, vagy lehet közvetlenül az egyénnek feladatot szabni? A 3. ábrát elemezve belátható, hogy a zászlóaljparancsnok maximum 4 lépés távolságra van a lövész katonától, amely nem feltétlenül probléma, hisz nem az ő hatásköre egyes harcok szintre lebontani a harcparancsot, de pozitív az információtorzulás kiküszöböléséhez vezető úton.

Vizsgálva a lövész zászlóalj híradó és informatikai rendszerét, szűkebben a rádióhíradást, látszik, hogy a felépített rendszer leköveti a függelmi kapcsolat rendszereket. Előnye, hogy a parancsnok meg tudja valósítani a parancskiadást, akkor is ha fizikálisan távol van beosztottjaitól, azonban az információáramlás, a szervezés nehézkes lehet ezeken a csatornákon, többnyire a koordinációra korlátozódik. Hálózatkutatók bizonyították, hogy a csillagpontos munkaszervezés lényegesen lassabb a teljes gráf jellegűnél (mindenki mindenkivel kommunikálhat), adott esetben dupla időbe is kerülhet. [15] Ez pedig lényegesen lassítja a vezetési fölény kialakításának menetét [16]. Lehetséges-e olyan rendszer, amely gyorsítani tudja a vezetési fölény kialakítását? Ehhez a publikáció sorozat második részében vizsgálom a lövész zászlóalj információs kapcsolati rendszereit.

SKÁLAFÜGGETLEN FELÉPÜLÉS KÖVETKEZMÉNYEI

Az entrópia alapú hadviselési térben rendkívül fontos adat, hogy a vizsgált hálózat, esetünkben a zászlóalj függelmi kapcsolatrendszere, amely a parancsadási kötelékeket mutatja, milyen hibatűrő képességgel rendelkezik. Fontos momentum, hogy hány csomópontot kell eltávolítani a hálózatból, ahhoz hogy az darabjaira essen?

Egy hálózat csomópontjainak a meghibásodása a hálózatot könnyen széttördelheti elszigetelt egymással nem kommunikáló részekre. Nyilvánvaló, hogy minél több csomópontot távolítunk el a hálózatból, annál nagyobb valószínűsége annak, hogy a hálózat darabjaira essen szét. Régóta ismert tény, hogy néhány véletlenszerűen kiválasztott csomópont eltávolítása alig befolyásolja az összekapcsoltságot. Azonban, ha az eltávolítást folytatjuk, egy bizonyos szám után a gráf apró, egymással nem kommunikáló részekre esik szét, melyet kritikus küszöbértéknek nevezünk. A skálafüggetlen hálózatok meghibásodásai során a kritikus küszöbérték alatt a rendszer alig szenved kárt, ezen érték felett azonban a hálózat egyszerűen szétesik. [17]

Tetszőleges skálafüggetlen hálózatokon végrehajtott kísérletek azt mutatták, hogy a hálózatból véletlenszerűen eltávolítható a csomópontok jelentős része anélkül, hogy a hálózat széttöredezne. Azonban, ha tudatosan támadjuk a hálózatot, és a nagy fokszámmal rendelkező csomópontokat, illetve a modulokat összekötő csomópontokat távolítjuk el a rendszerből a hálózat könnyen fürtökre (cluster) hullik szét. [4, p. 125] Ez egy régóta ismert tény volt katonai tekintetben, a parancsnokok likvidálásával megnövekszik az alegység entrópiája. A skálafüggetlen hálózatok bevezetésével, azonban megjelent ennek egy matematikai modellezési lehetősége. Ugyanakkor kimutatták azt is, hogy ezen csomópontok javítása (pótlása) során egy bizonyos mértékig fenntartható a hálózat robusztussága, azonban egy másik küszöbérték elérésekor lavinaszerűen omlik össze a hálózat apró darabokra. Gyakorlatban a likvidált parancsnokok helyére a szervezetszerű parancsnokhelyettesek lépnek be. Amikor elfogynak ezek a lehetőségek, és az utódlás rendszerében zavar áll be, a hálózat entrópiája drasztikusan megnő, és nem fürtökre, hanem apró darabokra hullik szét (rajok, kezelőszemélyzetek gyakran vezetés nélkül).

ÖSSZEGZÉS

A XX. század végén a hadviselés klasszikus dimenziói (szárazföld, tengerek, levegő, űr) egy újabb szegmessel, az információs dimenzióval bővült. Toffler szavaival élve korunk „harmadik hullámú háborúit” alapjában határozza meg az információ feldolgozásának gyorsasága, jutatva ezzel a hadviselő feleket az információs fölény, az információs uralom, végső soron a vezetési fölény kialakításához [18]. Ezen új kihívásokra adott válaszul új vezetési koncepciók alakultak ki, mint például a hálózat központú hadviselés modellje.

Kutatásomban vizsgáltam egy lövész zászlóalj függelmi kapcsolat rendszerét matematikai módszerekkel. Az elvégzett mérések összegzéseként megállapítottam, hogy a hálózat skálafüggetlen tulajdonságokkal rendelkezik. Az irodalomkutatást követően összegeztem a skálafüggetlen hálózatok tulajdonságait rámutatva ezáltal a vizsgált hálózat sebezhetőségi tulajdonságaira. Kutatásaim során a függelmi rendszerben olyan önhasonló elemeket találtam, amelyek fraktálszerű képződmények.

Ezen kutatási eredmények megkönnyítik a számítógépes modellezés lehetőségét, és a hálózat robusztusságának illetve sérülékenységének megértését a hálózat központú és a entrópia alapú hadviselési térben.

Felhasznált irodalom

- [1] Kun István, Fáy Gyula, Bukovics István: Logikai hadviselés – pontok harca, Hadmérnök, VI. évfolyam 4. szám – 2011. december
- [2] United States Army (2003). Mission Command: Command and Control of Army Forces. Washington, D.C.: Headquarters, United States Department of the Army, Field Manual No. 6-0.
- [3] United States Marine Corps (1996). Command and Control. Washington, D.C.: Department of the Navy, Headquarters, United States Marine Corps, Doctrine Publication MCDP 6.
- [4] Barabási Albert-László: Behálózva - A hálózatok új tudománya, Helikon Kiadó, 2013. Harmadik kiadás, ISBN 978 963 227 293 1
- [5] Arquilla, J. – Ronfeldt, D.F. (1995): Information, Power, and Grand Strategy (unpublished) Santa Monica: The RAND Corporation, July 1995, p. 19.
- [6] Herman, Mark (1997): Entropy-based warfare: A unified theory for modeling the Revolution in Military Affairs, Booz, Allen and Hamilton Inc, 1997.
- [7] Munk Sándor: Hálózatok fogalma, alapjai, Hadmérnök, V. évfolyam, 3. szám – 2010. szeptember, ISSN 1788-1919
- [8] Csermely Péter: Hálózatok sejtjeinkben és körülöttünk, Mindentudás Egyeteme 2.0, 2005. 09.12
<http://mindentudas.hu/elodasok-cikkek/item/113-h%C3%A1l%C3%B3zatok-sejtjeinkben-%C3%A9s-k%C3%B6r%C3%BC1%C3%B6tt%C3%BCnk.html>, 2014. április 15.
- [9] MUNK Sándor: Operációkutatás 1-2. ppt előadás, ZMNE
- [10] Vicsek Tamás: Munkahelyi hálózatok, Mindentudás Egyeteme 2.0, 2008.02.02.
<http://mindentudas.hu/elodasok-cikkek/item/168-munkahelyi-h%C3%A1l%C3%B3zatok.html>, 2014. április 15.
- [11] Molnár Katalin: Lindenmayer-rendszerek a középiskolában, ELTE TTK Budapest 2010.
- [12] 35/2013. (V.16.) OGY határozat a Magyar Honvédség részletes bontású létszámáról valamint
https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qli010.html, 2014. április 27.
- [13] Lauren M. K.: Modelling Combat Using Fractals and the Statistics of Scaling Systems. Military Operation Research. (2000.) 5 No. 3. pp. 47-58.
- [14] James Moffat: Complexity Theory and Network Centric Warfare. CCRP publication Series. 2010. ISBN 1-893723-11-9
www.dodccrp.org, 2014. április 27.
- [15] Behálózva (televízió sorozat) Spektrum, 2013.
- [16] HAIG Zsolt: Információs műveletek, SIGINT és EW kapcsolatrendszere. Felderítő Szemle, Budapest, Magyar Köztársaság Felderítő Hivatala. VI. évf. Különszám, 2007. február. ISSN 1588-242X pp. 27-48.

- [17] BARABÁSI Albert-László: A hálózatok csodálatos világa a sejtektől a világhálóig, 2005. 10.10. Mindentudás Egyeteme v.2.0
<http://mindentudas.hu/elodasok-cikkek/item/117-beh%C3%A1ll%C3%B3zatok-csod%C3%A1latos-vil%C3%A1ga-a-sejtekt%C5%91l-a-vil%C3%A1gh%C3%A1ll%C3%B3ig.html>; 2014. május 6.
- [18] Alvin TOFFLER: A harmadik hullám. Typotex Kiadó, ISBN 978-963-9326-21-7, 1980.