

SZAKDOLGOZAT

Kovács Anikó Erika

Debrecen

2008

Debreceni Egyetem
Informatika Kar

Informatika és társadalom

Témavezető: dr. Fazekas Gábor
Egyetemi docens

Készítette: Kovács Anikó Erika
Programtervező
informatikus

Debrecen
2008

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	4. oldal
I. Bevezetés a hálózatok világába	6. oldal
1. A gráfok	7. oldal
II. A véletlen hálózatok, avagy az Erdős - Rényi modell	8. oldal
1. A kis világok	11. oldal
2. A Granovetter modell.....	13. oldal
3. A Watts – Strogatz modell.....	17. oldal
III. A Skálafüggetlen modell.....	18. oldal
1. Bacon-játék	18. oldal
2. 80/20 szabály.....	20. oldal
3. A hatványfüggvény	20. oldal
4. Alkalmassági modell.....	29. oldal
5. A gyenge pont	32. oldal
6. Hibatűrés	34. oldal
7. A támadások.....	35. oldal
IV. Az internet.....	38. oldal
1. Az internet bolygója.....	40. oldal
2. A cél szentesíti az eszközt.....	42. oldal
Befejezés	44. oldal
Irodalomjegyzék.....	46. oldal

Bevezetés

A szakdolgozatom címe „Informatika és társadalom”.

E két szó, —külön-külön— gyakran használt fogalom. A társadalom, illetve annak kutatása már a történelem hajnalán is zajlott.

Az információ – informatika a 20. század közepén kezdte meg pályafutását. A század végre azonban teljes biztonsággal állíthatjuk, hogy létrejött valami teljesen új, az információs társadalom.

Az információs társadalom kutatását, vizsgálatát végző szakemberek figyelik, gondosan és rendszeres felméri, hogy az aktuális társadalom mennyire „informatizált”. Hányan rendelkeznek számítógéppel, mennyi internet-előfizető van, az adott településen, térségben, országban. S ezek a statisztikai adatok valóban fontosak, hiszen sok mindent elárulnak rólunk, emberekről.

A szakdolgozatomban azonban egy kicsit más szemszögből szeretném megvizsgálni a társadalom és az informatika kapcsolatát.

Tudjuk, hogy a hálózatok a mindennapjainkat teljesen körülölelik. Gondoljuk végig egy napunkat. Kezdve onnan, hogy kilépünk lakásunk ajtaján, több hálózat részei leszünk. A forgalom hálózatának részei leszünk. A munkahelyünkre beérve az ottani hálózatba fogunk becsatlakozni. Amikor az irodába érve felkapcsoljuk a lámpát, vagy üzembe helyezzük a számítógépünket, észrevétlenül kapcsolódunk az elektromos hálózatba. Ezt tesszük évek óta. De elgondolkoztunk-e már azon, hogy a minket körülvevő hálózatok vajon hasonlítanak-e egymásra? Van-e valami közös a közlekedési hálózatban és az ismerőseink által kirajzolódó hálózatban?

Ha napjainkban, azt a szót halljuk, hogy hálózat szinte mindenkinek az Internet jut az eszébe. Kérdésként merül fel, létezhet-e az, hogy az internet és társadalom között hasonlóság mutatkozzon. A felvetés megválaszolásához, el kell szakadnunk, a matematikában is jól ismert —„egyszerűsítsük a problémát”— gondolkozásmódtól. Sokkal inkább mintegy felülről kell nézni az egészet. Ha a hálózatot, részeire szedjük, pont a lényegét veszítjük el. A komplexitását vizsgálva hasonló tulajdonságokat fogunk felfedezni.

A gráfokat is lehet kisebb részekre bontani és azt vizsgálni, természetes, hogy eredményeket így is találni fogunk – melyeket korábban élő matematikusok már papírra vettek.

Mindannyian tudjuk, hogy gráfokban éppen az a szép, ha nem szedjük őket ízeikre, hanem komplexen vizsgáljuk.

A hálózatok vizsgálata csodálatos dolog, hiszen ami jelenséget az egyik hálózat viselkedésében már megtaláltunk, az többnyire megjelenik más hálózatokban is. Ha csak arra gondolunk, amikor a böngészőbe beírjuk, hogy www.index.hu több 10 másik oldalra juthatunk el, és milyen érdekes, hogy ugyanez figyelhető meg napjaink egyik legnépszerűbb oldalán az iwiw-en. Ez is az ismerőseink által kiadott gráfot adja meg. Az én ismerőseim ismerőseinek az ismerőseihez 3 kattintással tudunk eljutni anélkül, hogy én az illetőt személyesen is ismerném. Természetesen ugyanez megfigyelhető a valós társadalomban is.

Azért választottam témának ezt, a sokak által új tudománynak mondott **hálózat** vizsgálatát, mert hiszem, hogy sokkal több rejlik a minket körülvevő világ, és az internet vagy hálózatok között, mint ahogyan azt sokan hinnék. Érdekel, mi a magyarázata, hogy a különböző hálózatok hasonló működési elven dolgoznak, és „élnek”. Hogyan lehet az, hogy a hálózatot komplexen szemlélve és a társadalom működését is ugyanígy vizsgálva, ugyanazokat a működési elveket láthatjuk.

Az érdekel, hogy az informatika, a társadalom, a tudomány és a gazdaság között milyen párhuzamok vonhatók. Remélem, hogy a munkám végén ezekre a kérdésekre sikerül magyarázatot, támpontot adnom.

A cél elérése érdekében szakdolgozatom első részében azt fogom megvizsgálni, hogyan lehet elérni egy olyan modellt, ami a bennünket körülvevő hálózatokat, az ún. valós hálózatokat, a legtökéletesebben modellezi. A „felfedezés” közben szeretném megvizsgálni a bennünket körülvevő hálózatokat, bizonyos jellemzőiket felfedni. Ellenőrizni, hogy adott modell megfelel-e a valóságnak. Ha megtaláltuk azt a modellt, amely megfelelőnek bizonyul megvizsgálom, hogyan is működik, milyen tulajdonságai vannak a modellnek. Melyek az erős oldalai, és melyek a gyengéi.

Természetesen az internetet is tanulmányozni szeretném.

Végezetül a megszerzett ismeretek és eredmények segítségével rámutatni arra, hogy milyen területeken és hogyan lehet felhasználni a hálózatok ismeretét.

I. Bevezetés a hálózatok világába

A XX. Században a tudományok területén a meghatározó és irányadó elv az egyszerűsítés volt. Minden létező dolgot megpróbáltak atomjaira bontani. S ezután az atomot és részeit bontották. Óriási világunk piciny részekre esett szét. Úgy gondolták, ahhoz, hogy a bennünket körülvevő komplex világot megértsük, részei kell bontani. Ahhoz, hogy megértsük a testünk viselkedését, meg kell vizsgálni a sejtek működését, a közöttük – sőt bennük - lezajló folyamatokat. Így jutottunk el odáig, hogy megtanultuk, azért barna a szemünk, mert egy génünk ezt eredményezi, azért kemény a vas, mert rácsos az atomok szerkezete. Megismertük, hogy a fényt fotonok alkotják. Eljutottunk a kvantummechanika rejtett világához is. Lassan elérünk a részletekből felépülő világunk ismeretének peremére.

Azonban a természet működésének megértéséhez nem kerültünk közelebb. Hiába tudjuk, hogy a növények és az állatok, hogyan és miért épülnek fel, úgy ahogy felépültek,— a tápláléklánc tökéletes működésének okát e megszerzett információ által nem értjük meg. Hiába ismerjük a fizika törvényeit, és a bolygónkat körülvevő világegyetem tökéletes működését, a részletek megvizsgálásával nem érthetjük meg. Bizonyos idő elteltével, azonban rá kellett ébrednünk, ha világegyetemet komplexen vizsgáljuk meg, akkor olyan törvényeket figyelhetünk meg, ami által közelebb kerülhetünk kérdéseink megválaszolásához.

A tápláléklánc tökéletes működése, arra enged következtetni, hogy semmi nem működik elszigetelten. Minden mindre kihat. A növény felszívja a tápanyagot a földből, ez azt eredményezi, hogy a növény kifejlődik, termést hoz, amit mi elfogyasztunk. Tehát energiát termel, amivel mi emberek élni, alkotni tudunk.

A természet egy tökéletesen működő komplex rendszer. Egy olyan kirakós játék, ahol a kockát millióképpen tehetjük le egymás mellé, vagy egymásra, mindig egy jól működő rendszert kapunk. Természetesen, ezt a rendszert is törvények irányítják. A természet egyik ilyen tökéletesen működő törvénye az önszerveződés. *„Az önszerveződés olyan folyamat, amelyben valamely rendszer —általában a környezetével kapcsolatban álló nyílt rendszer— alkotórészei közötti kapcsolatok külső okok nélkül megerősödnek, és az anyag rendezettsége növekszik.”*¹

Olyan időben élünk, amikor a különböző tudományokban dolgozó kutatók és tudósok arra ébrednek rá, hogy a minket körülvevő világ komplex, és ennek a komplexitásnak nagyon szigorú törvényei vannak.

Ahhoz, hogy ezeket a törvényeket megértsük, vizsgálni tudjuk, —fontos, hogy legyen egy olyan modellünk, amiben ezt megtehetjük. Ennek felállításához elengedhetetlenül fontosak a hálózatok.

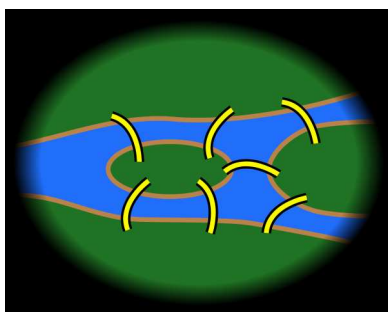
A hálózat fogalma észrevétlenül kapott előkelő helyet a mindennapjainkban. Egyre többször hallunk a multinacionális cégek hálózatától kezdve, minden egyéb kapcsolatról, egészen a terrorista hálózatiig. Természetesen számunkra a legismertebb hálózat a számítógépek által alkotott hálózat az Internet.

Sajnos azt még nem sokan fedezték fel, hogy a hálózatok tanulmányozása során micsoda izgalmas felfedezéseket tehetünk. A hálózatok sokkal többek, érdekesebbek, rejtélyesebbek, mint amennyire először gondolnánk. A gyorsan fejlődő hálózatok egy új tudományágot adnak nekünk. A hálózatok a XXI. század meghatározó része.

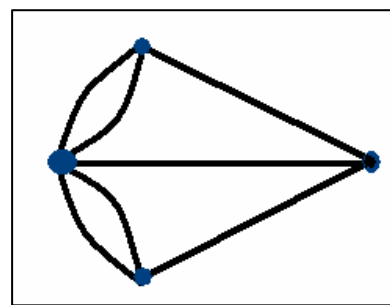
A hálózatok tanulmányozásával rájövünk arra, hogy a társadalom nem más, mint egy jól működő ismeretségen alapuló hálózat. Az üzleti világban szintén rálelhetünk a hálózatokra. Az internet pedig ugyanúgy működik, mint egy élő szervezet. Ezeket, a különböző példákat azonban összeköti valami, valamiben nagyon hasonlóak. Ahhoz, hogy a titokzatos összekötő tulajdonságokat megismerjük, semmi más nem kell tennünk, mint a látszólag nagyon eltérő rendszereket, hálózatokat megvizsgáljuk. Amire az egyik esetben rájöttünk a másikonál már használhatjuk is.

1. A gráf

A hálózatok titkának megértéséhez vissza kell nyúlnunk a matematikához. Pontosabban fogalmazva a gráfokhoz. A hálózatok megértésének alapja a gráfok világa. A gráfokhoz kapcsolódó egyik leghíresebb probléma, amely a gráfelmélet alapköve, ill. a topológia legelső megjelenése Euler königsbergi hidak problémája.



a probléma eredeti ábrája



a probléma gráf alakja

A probléma története, hogy a poroszországi Königsberg városban hét híd ívelt át a várost átszelő folyón úgy, hogy ezek a folyó két szigetét is érintették. A város lakói azzal a kérdéssel fordultak Eulerhez, vajon végig lehet-e menni az összes hídon úgy, hogy mindegyiken csak egyszer haladjanak át, és egyúttal visszaérjenek a kiindulópontba. 1736-ban Euler bebizonyította, hogy ez lehetetlen..²

Euler szerint az útvonal létezése a gráf egy belső tulajdonsága. A hálózatok tulajdonságai a hálózatok felépítéséből erednek. Az előző század közepén jutottak el a matematikusok arra a kérdésre, hogy miként is épülnek fel a gráfok, általánosabban a hálózatok.

Ezzel megérkeztünk a hálózatok megismerésének első kérdéséhez:

Hogyan épülnek fel a valódi hálózatok?

II. A véletlen hálózatok avagy az Erdős – Rényi modell

A kérdésre két magyar matematikus adta meg a választ. Az általuk felépített hálózatmodell a Erdős - Rényi modell. Ezzel a modellel forradalmasították a gráfelméletet. Az általuk publikált modellek adták meg a véletlen hálózatok elméleti alapját. Így a hálózatok megértésének első modellje a véletlen hálózatok. A modell „tökéletességét” mi sem adja vissza jobban, mint az, hogy napjainkban is nagyon nehéz ettől a modelttől elszakadni.

A Erdős – Rényi modellt legegyszerűbben úgy tudjuk megérteni, ha példának vesszünk egy kezdő évfolyamot, ahol senki nem ismer senkit. A hallgatók az első napok után elkezdnek ismerkedni. Pár hét alatt a különböző gyakorlati csoportokba járó hallgatók megismerik egymást. Majd a gráfelmélet előadás professzora az egyik tetszőlegesen kiválasztott diáknak megemlíti, hogy az első előadáson leadott definíciók beugrók lesznek a vizsgán, azonban kiköti, hogy ezt a hírt, csak az ismerőseivel oszthatja meg. Mivel a diákok minden tárgyból másokkal vannak egy csoportba az információ bizonyos idő elteltével mindenki által ismert lesz, és remélhetőleg a vizsgán a beugró rész, senkinek nem fog problémát jelenteni.

Szemléltetve:

A B C D E F G H I J

A B C D E F G H I J

A B C D E F G H I J

Előadás hallgatói

E

A kiválasztott hallgató

I. csoport: **A C D F F J**

II. csoport: **H J A D B E**

III. csoport: **E A B G H D**

csoportok tagjai

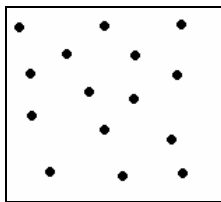
1. I. csoport mivel $\mathcal{C}$ csoport társ
2. III. csoport, mivel $\mathcal{D}$ az I. csoport tagja
3. II. csoport, mivel $\mathcal{C}$ a III. csoport tagja

A hír terjedése ismeretség alapján

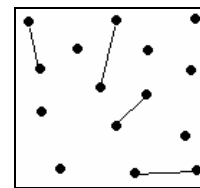
Egy más szakos hallgató természetesen nem tud erről az információterjedésről, hiszen az információ személyes ismeretség alapján terjed. Ezen előadás hallgatói lehetnek egy gráf csúcspontjai, a csoporttársi kapcsolat pedig a gráf élei. Az ismeretségek alapján egy gráfot írhatunk le. Azonban ugyan ilyen gráfokat alkotnak az összekötött számítógépek, — a cégek és a vevők, akiket a kereskedelem köt össze vagy a testünk molekulái, melyeket bonyolult biokémiai reakciók kötnek össze—, vagy hálózatot alkotnak egy városban az utcák és a keresztezések.

A matematikusok számára lényegtelen, hogy mit nevezünk csúcsoknak, és mit nevezünk éleknek, a lényeg, hogy az összekötés alapján gráfok, másként nevezve hálózatok jönnek létre. Azt viszont első látásra nehéz megmondani, hogy mi lehet a közös a sejtek hálózatában és a társadalmunk hálózatában. Hiszen míg az elsőben konkrét fizikai törvények alapján jönnek létre reakciók, addig a társadalomban véletlenül vagy tudatosan ismerkednek az emberek. Olyan modellt találni meglehetősen nehéz, amely minden egyes hálózatot tökéletesen modellez, hiszen minden hálózat különbözik a többitől. Ezt a különbséget kellett valóhowan legyőzni.

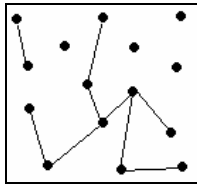
Az Erdős – Rényi modell a megoldotta a problémát, figyelmen kívül hagyta a különbségeket. Ebben a modellben a csúcspontokat véletlenszerűen kapcsoljuk össze, így egy véletlen gráfot kapunk. Erre a véletlen gráfra épült fel egy külön elmélet. A hálózat felépítését a véletlenre bízták. Kiválasztottak két pontot, és csak akkor kötötték őket össze, ha egy dobókockával hatost dobtak. Ha nem lett hatos, akkor másik párt kellett választani, és az egészet előről kezdeni.



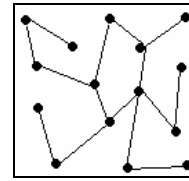
1. elszigetelt pontok



2. kevés élt hozzáadva párok jönnek létre



3. összekapcsolódik néhány pár

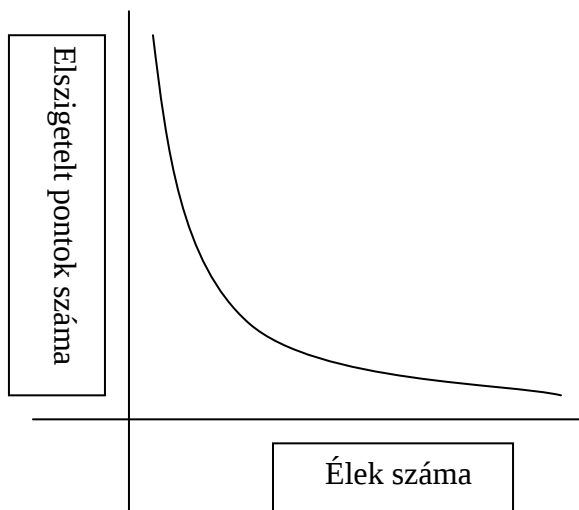


4. minden pontra átlagosan 1 él jut,
hálózat jön létre

Megjegyezzem, hogy azt a pillanatot, amikor létrejön a hálózat, a matematikusok óriáskomponens megjelenésének nevezik, a fizikusok perkolációnak, a szociológusok számára ekkor jön létre a közösség.

A hálózat egy bizonyos számú él elhelyezése után látványosan megváltozik. Az addig független, elszigetelt, pontos összeáll.

Az emberiséget tekinthetjük egy hatalmas hálózatnak. Bár igaz, hogy nem ismer mindenki mindenkit, de az garantált, hogy az ismeretségi hálózaton keresztül bárki elérhető. Ennek az a magyarázata, hogy ha két pont között van 1 darab él, ez elegendő ahhoz, hogy kapcsolatba legyenek. Természetesen a valódi hálózatokban 1-nél sokkal több kapcsolat van pontok között.



Egy ponthalmazban minél több élt adunk hozzá, annál kevesebb lesz az elszigetelt pontok száma. Matematikai nyelven fogalmazva az élek hozzáadásával az elszigetelt pontok száma exponenciálisan csökken. Ha a kritikus küszöböt elérjük, akkor hirtelen nagyon lecsökken a számuk. Az Erdős – Rényi modell szinte csak a szabályos gráfokkal foglalkoztak.

A bennünket körülvevő hálózatok azonban közel sem szabályosak. A bonyolultságuk miatt ezeket a gráfokat véletlennek hitték. A szabályos gráfokban minden élhez pontosan ugyanannyi él tartozik. Ezt a fajta szabályosságot nem is lehetne feltételezni a véletlen hálózatokra. A véletlen hálózatok egyik alapvető tulajdonsága a teljes egyenlőség. Minden pontnak ugyanannyi az esélye arra, hogy egy új élt szerezzen. Természetesen ez a megvalósításkor nem így szokott lenni. Mindig van néhány olyan csúcs, amihez valamilyen

okból több él tartozik, és mindig van néhány olyan csúcs, amihez egy él sem tartozik. Azonban átlagra ugyanannyi él tartozik a csúcsokhoz. A csúcsok eloszlása Poisson – eloszlást követ. Ez azt jelenti, hogy a legtöbb csúcs ugyanannyi éllel rendelkezik, van egy néhány olyan él, ami kevesebbel, és van egy néhány olyan él, amelyik többel rendelkezik. A nagytöbbség azonban megközelítőleg ugyanannyival.

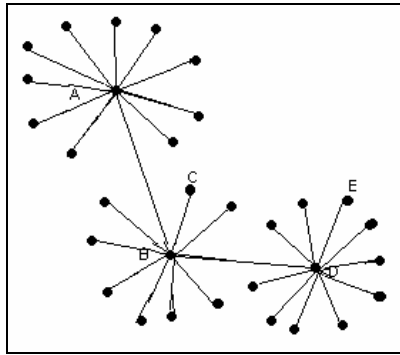
Ha a fenti állítás igaz, akkor az emberiségben megközelítőleg mindenki ugyanannyi embert ismer. Itt kapcsolódik be az Erdős - Rényi modellbe az átlagok dominanciája. Minden embernek átlagosan ugyanannyi ismerőse van, minden cégnek átlagosan ugyanannyi vevője van stb. Ez azonban távol áll a valóságtól. Az a másik érdekes kérdés, ami a véletlen hálózatok modellként való használatánál felmerül, hogy a természet valóban a véletlen folytán működne ilyen tökéletesen. Az ember az ismerőseit mindig csak a véletlen folytán választja ki, vagy van esetleg valami, ami irányítja a világot, és a benne működő hálózatokat. Gondoljuk meg, mi lenne a szervezetünkkel, ha a fehérjék véletlenszerűen kapcsolódnának egymáshoz. A világunkban van valami törvényszerűség, ami nem a véletlenen alapul, van benne valamilyen rend. Ha véletlen hálózatok nem modellezik jól a világunkat, akkor milyenek lehetnek a valódi hálózatok?

1. A kis világok

A második lépcsőfok, ami közelebb visz minket a valós hálózatok megismeréséhez Karinthy segítségét kell kérnünk. Karinthy a „Láncszemek” című sajnos nem túl ismert- művében a következő írta le: „Annak bizonyítására, hogy a Földbolygó lakossága sokkal közelebb van egymáshoz, mindenféle tekintetben, mint ahogy valaha is volt, próbát ajánlott fel a társaság egyik tagjának. Tessék egy akármilyen meghatározó egyént kijelölni a Föld másfél milliárd lakója közül, bármelyik pontján a Földnek – ő fogadást ajánl, hogy legfeljebb öt más egyénen keresztül, akik közül az egyik neki személyes ismerőse, kapcsolatot tud létesíteni az illetővel, csupa közvetlen ismeretég alapon.” Ezt a „játék” később hat-lépés fogalomként lett ismert.

A fenti példa szerint a társadalmunk, akár milyen hatalmas is, akkor is könnyedén bejárható. Nagyon jó példa erre a www.iwiw.hu. Legyen egy embernek van 100 ismerőse. A 100-ból 10-nek legyen szintén 100 ismerőse és így már eléggé sok emberhez lehetne elérnünk 2 lépés távolságon belül, attól függetlenül, hogy ezek az emberek hol is élnek.

Az alábbi ábra az ismeretségen alapuló távolságokat szemlélteti.



Egyszerűsített ismeretségi hálózat rajza

A ismeri B-t	B ismeri C-t.	Így A két lépésre van C-től.	
C ismeri B-t	B ismeri D-t	D ismeri E-t	Így C 3 lépésre van E-től.

Természetesen arról nem tudunk semmit, hogy A vagy E a világ mely szegletében is él valójában. Így az emberiség összezsugorodott. Ennek az oka az, hogy a társadalmunk nagyon sűrű hálózatot alkot.

Felmerülhet a kérdés, hogy vajon csak az ismeretségi hálózat működhet kicsi világgént, vagy más hálózatokra is jellemző. A megoldást egy programozónak köszönhetjük, névszerint Tim Berners-Lee-nek. Az ő álma az, hogy az összes számítógépen tárolt információt összekapcsoljuk. A megvalósításhoz írt egy programot, mellyel a számítógépek megoszthatták egymással az információikat. Ezzel megoldotta a számítógépek egymáshoz való kapcsolódását. A kapcsolatot a linkek jelentették. A linkeken alapuló összeköttetés lett a világháló. A létrejött World Wide Web az ember alkotta leghatalmasabb hálózat. Ereje a linkekben rejlik. Linkek segítségével könnyedén eljuthatunk egyik weblapról egy másikra. Minden link egy webcím (URL). A világhálót a linkek tartják egybe. Ha megszüntetnénk őket, akkor az egész hálózat szétesne.

Fontos kérdés, hogy a web is „kis világ-e”? Ha nem, akkor a társadalom és a web mögötti hálózat teljesen eltérő kell legyen. Azonban úgy tűnik a web-en átlagosan, 19 kattintásra vannak egymástól az oldalak. Íme egy példa arra, hogy a 19 lépés valóban csak átlag és lehet ennél jóval kevesebb lépés is.

<http://www.inf.unideb.hu>.

<http://www.inf.unideb.hu/informaciok/ecdl.php>

<http://www.ecdl.hu>

<http://www.njszt.hu/neumann/neumann.main.page>

<http://www.e-magyarország.hu/>

<http://www.chipmagazin.hu/>

Ez a példa azt bizonyítja, hogy bár a kari honlapnak semmi köze nincs a Chip magazinhoz, mégis pár kattintás segítségével eljuthatunk egyik oldalról a másikra.

Természetesen a 6 lépésnyi távolsághoz képest – amely a társadalmi hálózatba jellemző – az átlag 19 elég nagy számnak tűnik. De ha figyelembe vesszük, hogy több mint 100 millió weboldalt tartalmaz az internet, akkor ez egy igen csak kicsi számnak tekinthető. A linkek segítségével pillanatok alatt bárhonnan, bárhova eljuthatunk. Tehát elmondhatjuk, hogy a web is hasonlóan a társadalomhoz rendelkezik a „kis világ” tulajdonsággal. Ez azonban azt a sejtést támasztja alá, hogy lennie kell valamilyen alapvető törvénynek, valamilyen elvnek.

A kutatók azt is megtalálták, hogy nemcsak az internetre és a társadalomra jellemző a kisvilág tulajdonság, hanem megtalálható a természetben, a sejtekben.

Az is érdekes kérdés lehet, hogy világháló térképe milyen lehet. Barabási Albert-László és csapata megépített egy olyan robotot, amellyel az internet egy kicsiny részét bejárhatták. Természetesen nem az egészet, hanem csak egy részét. A robot segítségével bepillantást nyerhettünk abba, hogy mi is húzódik a weboldalak mögötti hálózat világában.

A világháló óriási mérete ellenére azért sikerül rövid utakat találnunk, mert a web egy nagyon sűrű hálózat. Ha a véletlen hálózatban olvasottaknak megfelelően elkezdünk minden ponthoz kapcsolatot rendelni, ha a pontokhoz pontosan egy él tartozik a pontok közötti távolság viszonylag nagy marad. Azonban ha több élt húzunk be a gráfunkba, a csúcsok hirtelen sokkal közelebb kerülnek egymáshoz. Ez az oka annak, hogy a sűrűn behálózott világok kicsi világgént működnek.

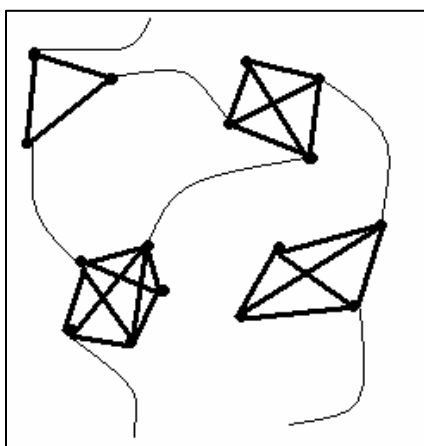
A kis világ egyik nagyon szép példája maga a kommunikáció. Hiszen ha arra gondolunk, hogy a több ezer kilométerre élő amerikai nagybácsival ugyanúgy lehet beszélni telefonon, interneten keresztül, akkor könnyen beláthatjuk, hogy globális falu nem is olyan nagy.

Azonban a nagyság mindig egy viszonylagos fogalom. Már bizonyítást nyert, hogy a Milgram szerinti 6 lépésnél szinte minden esetben van rövidebb út is.

2. A Granovetter – modell

A következő modell, ami segít megérteni a bennünket körülvevő hálózatok működését Mark Granovetter nevéhez fűződik. A kutató még egyetemista korában egy megfigyelést, felmérést végzett arra vonatkozóan, hogy az emberek hogyan keresnek állást. Meglepő lett az eredmény. Aki munkát keresett nem a barátain keresztül kapott állást, hanem az ismerősein keresztül. Az ember általános tulajdonsága, hogy van néhány nagyon közeli jó barátja, és sok-sok ismerőse. Ezekkel az ismerősökkel nem jár minden hétfőgén moziba, vagy nem látogatja meg őket rendszeresen, de az utcán találkozva egy „hogy vagy, mi újság veled”-re mindig megáll. Az ismerősökhöz gyenge kapcsolat fűz, míg a barátokhoz erős. Az is megfigyelhető az ismerőseink nem nagyon ismerik egymást. Elvértve természetesen lehetséges, hogy Peti és Mari valahol már találkoztak, de az viszont szinte teljességgel bizonyos, hogy a barátaim ismerik egymást.

Granovetter megfigyelése mögött az Erdős – Rényi modelltől teljesen eltérő társadalom húzódik. A társadalom elszigetelt kis csoportokból tevődik össze, ahol a kis csoportok tagjai ismerik egymást. Van azonban egy pár külső kapcsolat, amely ezeket a kicsi csoportokat összeköti, s így a társadalmat egybetartják. Ezek a külső kapcsolatok a gyenge kapcsolatok. Ha ez az elgondolás igaz, akkor a társadalmunknak nagyon sajátos szerkezete kell legyen. Az alábbi ábra jól szemlélteti a Granovetter-i társadalom felépítését:



A vastag vonalak az erős kötést jelentik, a vékony vonalak a gyenge kötést.

Jól látszik az ábrán az egészet a gyenge kötések tartják egybe. A gyenge kapcsolatok segítségével kommunikálnak a kicsi zárt csoportok a külvilággal. Ezek az emberek jól lefedik a társadalom különböző rétegeit. Ezért tudnak például az álláskeresésben nagyobb segítséget nyújtani.

Az első pont, amiben az a —nevezzük— Granovetter-i modell eltér az Erdős – Rényi modelltől az, hogy a véletlen modellben egyszerre nem létezhetnek baráti körök. Hiszen az véletlen modell, mint ahogy a neve is tükrözi – a véletlenül alapul. Társadalmunk azonban nem a véletlenül alapszik.

Persze nem zárható ki teljesen a véletlen szerepe, hiszen ismerőseinket sokszor a véletlennek köszönhetjük. Azt is elmondhatjuk, hogy a véletlen modellben ugyanannyi az esélye, hogy az én két barátom ismerje egymást ugyanannyi az esélye, mint az, hogy Marika néni a piacról ismeri az USA elnökét. Ez úgy magyarázható, hogy két pont ugyanannyi eséllyel kerül egymással kapcsolatba. A társadalom azonban ebben sem így működik. Gondoljuk csak a Szilveszter estére. Feltehetőleg az ember ilyenkor a legjobb barátaival van együtt. Azzal a társasággal, akkikkel egész évben együtt volt. Itt pedig már mindenki mindenkinek a barátja. A gyenge kapcsolatokon alapuló társadalom sokkal közelebb áll a valósághoz, mint az Erdős – Rényi modell. A valódi társadalom megértéséhez az említett két modellt kellett valahogy összeegyeztetni.

3. A Watts-Strogatz modell

Azt mindenki tudja, hogy az emberek hatással vannak egymásra. Bizonyos kérdésekben egymáshoz fordulunk tanácsért, vagy azért, hogy segítsünk dönteni valamiben. Hatással, befolyással vagyunk egymásra.

Duncan Watts egy amerikai szociológus azzal a kérdéssel foglalkozott, hogy milyen annak a hálózatnak a szerkezete, amelyből megtudhatjuk, hogyan befolyásolják egymást az emberek. Segítségért Strogatzhoz – a Cronell alkalmazottjához fordult, aki a matematika professzora volt. A kettőjük vizsgálata hamarosan túllépte az Erdős – Rényi modell határait.

A kiinduló kérdés az volt, hogy mi annak a valószínűsége, hogy két barátom ismeri egymást. A granovetter-i modellben - mivel a baráti társaságba mindenki ismeri egymást – a fenti kérdésre a válasz egyértelmű: a valószínűség 1. Arra, hogy ez bebizonyításra kerüljön, a csoportok jelenlétét mérnünk kell. Erre szolgál a Watts és Strogatz általal bevezetett csoporterősségi együttható. Ezt úgy kapjuk meg, hogy a barátaink közötti valódi kapcsolatok számát elosztjuk a azzal a számmal, ha mindenki mindenkinek a barátja lenne. A csoporterősségi együttható mutatja, hogy a barátok milyen szorosan kapcsolódnak össze. Legerősebb barátságok az egyhez közeli értékeket adó barátságok. Ha az együttható 0, akkor a baráti kör nem is létezik, hiszen csak egy ember tartja az egészet egybe. A Granovetter- i modellben a csoporterősségi együttható nagy.

Ugyanekkor Mark Newman fizikus arra jött rá, hogy a számítógépesített világunk segítségével megismerhetjük és megérthetjük a hálózatokat. Bebizonyította, hogy a társadalmi

rendszerekben valóban megtalálható a csoportképződés. Ez a tulajdonság nem tűnik el, még akkor sem, ha nem az ismerettségi hálózatban vagyunk. Ez ugyanúgy megfigyelhető a természet és a világ egyéb hálózataiban. Az USA elektromos hálózatában szintén megfigyelhető az a hálózati szerkezet, amely megtalálható egy egyszeű többsejtű féreg idegrendszeri hálózatában. Ez a tulajdonság a nagyfokú csoportképződés. Ugyanez jellemzi a hollywoodi társadalmat is. Ami a legmeglepőbb, hogy ugyanez a csoportképződés figyelhető meg a weben is. Ugyanúgy megjelenik a táplálék láncban, a vállaltok összekapcsolódásában, a sejtekben lévő molekulák működésében. Végezetül a komplex hálózatok egyik általános tulajdonságává lett, így az első komoly ellentmondást hozta létre a valós és a véletlen hálózatok között.



*Watts- Strogatz modell*³

A Watts – Strogatz modell ötvözi a csoportképződést és a véletlent. A modellben minden pontnak 4 darab szomszédja van. A négy csópont között 3 él van. Tehát megfigyelhető a csoportképződés. Így azonban a kis világunk eltűnt. Csak a közvetlen és másodsomszédokkal vagyunk kapcsolatba. Ha valakivel a kör túl oldalán kell beszélnem, csak úgy tudom neki elmondani, ha minden valamelyik irányba körbe megyek. Ez eléggé megnöveli az utak hosszát. Azonban, ha véletlenre bízva kiválasztunk egy pár pontot és azokat összekötöm, akkor a távolság sokkal kisebb lehet.

Ez a felvetés meg is felel a valóságnak, hiszen majdnem mindenkinek vannak távoli helyeken élő rokonai, barátai, ismerősei. Ezzel a lépéssel a „kis világot” ismét behoztuk a modellünkbe. A modell rávilágít arra, hogy a hatlépésnyi távolsága oka egyszerűen ezeken a távoli helyeken lévő ismerősök miatt igaz. De ebben a modellben is olyan társadalomra lenne igaz, amelyben mindenki egyenlő, tehát tökéletesen demokratikus, és a kapcsolatok kialakulását a véletlenre bízuk.

Amikor a fenti felfedezések megrázták az addig uralkodó Erdős – Rényi modell gyökereit, a kutatóknak szembesülniük kellett azzal a megdöbbentő ténnyel, hogy a web-es háló

elkészített résztérképe teljesen más hálózati szerkezetet mutat. Megjelentek a középpontok, amely az általánál jóval több kapcsolattal rendelkezik. Megtudtuk, hogy ilyen csomópontokból elég kevés van, viszont az átlagos kapcsolattal rendelkező pontokból nagyon sok van. Mivel a csomópontok létezésére egyik eddigi modell sem tudott megfelelő magyarázatot adni, a tökéletes modell utáni kutatás tovább folytatódott.

III. A skálafüggetlen modell.

Malcolm Gladwell megfigyelése szerint a társadalomban vannak olyan emberek akik az általánál jóval könnyebben szereznek barátokat, ismerősöket. Ők a társadalmunk összekötői. Ők tartják össze társadalmunkat. Amikor Gladwell felfedezte az összekötők létezését, azt hitte, hogy ez csak az emberekre lehet jellemző. Hamarosan rá kellett jönnie, hogy jelen van a sejtektől a gazdaságon át a társadalmi hálózatiig mindenütt. Sőt minden hálózatban meglehetősen fontos szerepet töltenek be.

Míg a csoportképződés okozta az Erdős – Rényi modell „bukását”, addig az összekötők és a csomópontok felfedezése okozta a Watts- Strogatz modell „bukását”. E tényező megjelenésének hatására az egész véletlenre alapuló hálózatmodellt el kellett vetni. Hiszen a biztosan létező hálózatokra a továbbiakban már nem lehet alkalmazni.

A világhálóra sokan úgy tekintenek, mint az emberi jogok gyakorlásának egyik legalkalmasabb fórumára. Itt mindenki egyenlő lehet, mindenki szabadon elmondhatja a véleményét. Azonban ez csak a látszat. Az interneten így nincs jelen a demokrácia. Ennek ellenére bárki bármit kitehet az internetre, az az inkább érdekes felvetés, hogy egyáltalán látja –e bárki is azt, hogy mi éppen most tettünk fel egy Erdélyről szóló leírást. Ahhoz a feltett írásunkat minél több ember lássa, semmi más nem kell tennünk, mint népszerű oldalakra kitenni a leírásunkra mutató linket.

Az interneten a láthatóság mindig attól függ, hogy az adott oldalra hány link mutatja. Minél több, annál jobb. Ez a linkmennyiség átlagosan 5-7 körül mozog. Az Erdős – Rényi modell alapján az internet minden pontja nagyon hasonló kell legyen. Azonba ezt elég nehéz lehet elképzelni, ha figyelembe vesszük, hogy például egy rokk zenekarnak merőben más a honlapja, mint egy kismama magazinnak. És természetesen mindenki azokat a weboldalakat nézi, amelyek az ő stílusához, ízléséhez közelebb állnak .

Még ebben a színes kavalkádban is meglepő szerepet töltenek be a csomópontok. Hiszen az említett középpontokat együtt hoztuk létre és mindenki láthatja őket. Ha vesszük ezeket a csomópontokat és a web többi részét, azt mondhatjuk el, hogy az apró pontokból álló rész teljesen elhanyagolható.

1. A Bacon – játék

Hollywood egyik népszerű játéka a Bacon szám. A játék lényege, hogy egy baráti körben valaki mond egy színész nevet és a többieknek meg kell mondaniuk, hogy Bacon szerepelt-e a filmbe, ill, hogy a megnevezz színész milyen távolságban áll Baconhoz viszonyítva. Ha játszott vele egy filmben, akkor az adott színész Bacon száma: 1. Hogy a játéknak mi ad alapot? Az, hogy Hollywood eléggé sűrű hálózattal rendelkező társadalmi réteg. Itt a csúcspontok az emberek, a kapcsolatok, –az élek, pedig az emberek közötti viszony. A színészek nagy része 3 lépés távolságra van egymástól. A színészek közel fele még 10 rámutató linkkel sem rendelkezik (a gráfban az őt szimbolizáló csúcsba kevesebb mint tíz él fut be). Azonban megfigyelték, hogy itt is vannak középpontok. Vannak olyan színészek, akikre 10-nél sokkal több link mutat. Az ilyen középpontok miatt lehet az, hogy a Bacon számok nem olyan nagyon magasak. Ha azonban a középpontokat eltávolítanánk a kép drasztikusan megváltozna, és a hollywoodi világ szét esne, a Bacon számok egy része megsemmisülne. Nagyon soknak az értéke az egekbe szökne. Természetesen kit ne érdekelne, hogy ki az első 10 legnépszerűbb, legtöbb kapcsolattal rendelkező színész Hollywoodba.

1. Mel Blanc (759) -
2. Tom Byron (679)
3. Marc Wallace (535)
4. Ron Jeremy (500)
5. Peter North (491)
6. T. T. Boy (449)
7. Tom London (436)
8. Randy West (425)
9. Mike Horner (418)
10. Joey Silvera (410).

Hollywood legtöbb filmjében szereplő színésze ⁴

Az első személy a legtöbb rajzfilmben a hangját adta. A második régi cowboy filmekben szerepelt. A többi színész viszont felnőtt filmek szereplői. Attól függetlenül, hogy ezek a színészek szerepeltek a legtöbb filmben, mégsem ők a valódi középpontok. Még csak a középpontok közelében sem szerepelnek. A középpontokat azok a színészek alkotják, akik egyszerre több műfajban is jól tudnak játszani. Ilyen színész lehet például Bruce Willis

Ugyanezek a tények figyelhetők meg az interneten. Nem azok a legnépszerűbb oldalak, amelyek a Java legújabb fejlődési lépését taglalják, hanem azok az oldalak, melyeket tartalmuk miatt emberek sok – sok milliói használnak naponta. Ilyen például a www.google.co.

A megvizsgált valódi hálózatok felépítése kizárja a véletlenszerűséget. Véletlen hálózatokban nem lehetséges, hogy létezzenek olyan csomópontok, amelyeknek több száz linkje legyen. Ez a véletlenszerűségből fakad. Az eddigi modellek szerint összekötőknek nem lett volna szabad létezniük. Mivel az élet több területén is találkozhatunk ilyen középpontokkal rendelkező hálózatokkal – például internet, Hollywood, maga a társadalom – felmerülhet a kérdés, hogy esetleg ez lenne az olyan nagyon keresett hálózatmodell, amellyel leginkább tudnánk modellezni a bennünket körülvevő hálózatokat.

A kutatók rájöttek arra, hogy az említett hálózatokon kívül ugyanez a modell alkalmazható a sejtekben lezajló fehér-fehérje reakciók hálózatára is. A sejtek működésében is vannak középpontok. A víz például egy hatalmas csomópont, hiszen a víz molekulái nagyon sok reakcióban vesznek részt. Az interneten, magában a kézzel fogható hálózaton is vannak csomópontok. A tudományban is vannak olyan kutatók, aki csomópontnak számítanak, hiszen nem csak egy területtel foglalkoztak, s nem feltétlenül polihistorokra gondolok itt. A matematikában példának okáért középpontként tekinthetünk Euler-re is, vagy például középpont lehet a kedvenc fizikus- matematikusom Newton is. A középpontok valóban szinte minden területen jelen vannak. Világegyetemünk meghatározó részei. A hálózatok általuk tűnnek kis világnak.

Karinthy állítási is a középpontok miatt igaz. Azonban a célszemély, és egy középpont közötti távolság még 6-nál is kisebb. Természetesen ugyanez igaz az internetre is. Lehet, hogy két tetszőlegesen kiválasztott weboldal között az átlagos távolság 19 kattintás, de a középpont és a kiindulási lap, vagy a középpont és a céloldal között ennél jóval kisebb a távolság. A középpontok létezése miatt, az internet nem is olyan óriási.

A középpontok felfedezése újabb kérdéseket indukált, amelyekre a kutatók megpróbáltak kielégítő válaszokat adni.

1. Az egyik kérdés az volt, hogyan is alakulnak ki a középpontok.
2. Várhatóan hány darab középpont van egy hálózatban, vagy hány fog kialakulni.
3. Miért nem tudják az eddigi modellek megmagyarázni a középpontok létezését.

A középpontok felbukkanása nem véletlenszerű. Az okot olyan matematikai törvények adják, amelyek mindenütt jelen vannak, és mindenütt érvényesek.

Miután kiderült, hogy léteznek ilyen a törvények, az volt a feladat, hogy ezek működését megértsék. A törvények megértése utáni kutatások, megfigyelések közbe azonban megismerhetjük a valós hálózatok általános tulajdonságait.

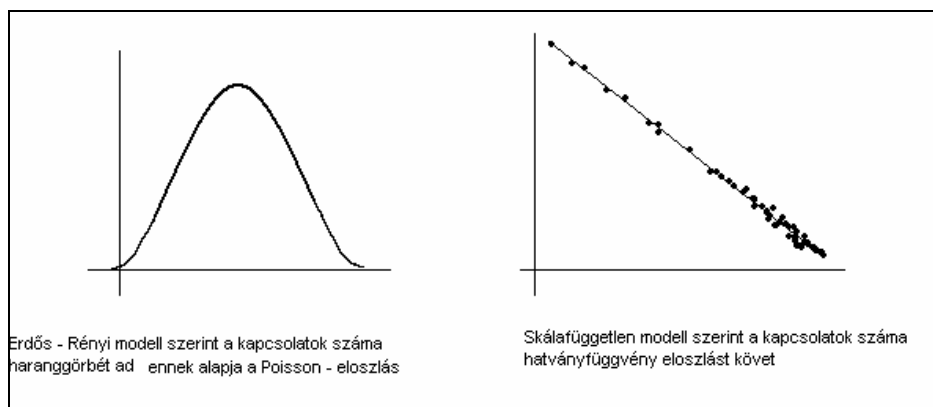
Most lássuk ezeket a tulajdonságokat.

2. 80/20 szabály

A szabály felfedezését az olasz származású Vilfredo Pareto-nak köszönhetjük. Az olasz közgazdász egy érdekes megfigyelése alapján vált világhírűvé. Mivel szeretett kertészkedni, megfigyelte, hogy a borsó betakarításakor a borsó szemek 80%-át, a hüvelyek 20%-a adja. Napjainkban azt is kimutatták már, hogy a fenti megfigyelésből törvénné vált állítás igaz a vállalatokra is. Egy tetszőleges vállaltban a profit 80%-át a dolgozók 20%-a adja. Megfigyelések alapján kiderül, hogy ez a szabály az élet számos területén megtalálható. Azon rendszereket, amelyekre igaz a Pareto – törvény ugyanaz a tulajdonság különbözteti meg a többitől, amely a komplex hálózatok egyik nagyon fontos tulajdonsága. Most pedig lássuk, hogy mi is ez a kulcsfontosságú felfedezés.

3. A hatványfüggvény

Mint korábban olvashattuk, az Erdős – Rényi modell szerint a weblapokra mutató linkek száma egy nagyon szép Poisson eloszlást kell adjon, ami grafikonon egy szép haranggörbe. Azonban az internet egy részét bejáró robot segítségével elkészült térkép alapján a kutatók azt kapták, hogy a valóságban ha a weblapokra mutató linkek eloszlásának függvényét szeretnénk elkészíteni, akkor az eredmény, hatványfüggvény. A hatványfüggvénynek a sok kis esemény és néhány nagyon nagy is része.



Kapcsolatok eloszlása a két modell szerint

Ezt a kivetőt hálózatok vizsgálata esetén fokszámkitevőnek nevezzük. Érdekes felfedezés volt, hogy a web is egy hatványfüggvény eloszlást követ, sőt a hollywoodi színész társadalom hálózatában is megfigyelhető ugyanez az eloszlás. Általánosan megfigyelhető törvényt fedeztek fel. „A pontosan k linkkel rendelkező pontok száma egy hatványfüggvényt követ. A fokszámkitevő mindig különböző, de a legtöbb rendszerbe 2 és 3 közé esik.”

A két modell közötti különbség legjobb példája az úthálózat, és a légi közlekedés összehasonlítása.

A véletlen hálózati modellhez leginkább az Európát behálózó autópályák jellemezik. Európa szinte minden jelentős nagyvárosába (Fővárosokba és az országok jelentős városaiba) vezet legalább 1 autópálya, de egyikbe sem vezet 30 darab. Ebből a szempontból a városok átlagosnak mondhatóak. Tehát az Erdős – Rényi féle modellt alkalmazhatjuk rájuk. Ha ez a felvetésünk igaz, akkor Európába az autópályák Poisson eloszlást mutatnak, aminek a képe a már ismert haranggörbe. Azonban az Európában a légi közlekedésre már nem lehetne ráhúznia az Erdős – Rényi modellt. Ugyanis Európában nagyon sok város rendelkezik repterekkel, de ezeknek a forgalma nagyon eltérő. Gondoljunk csak arra, hogy Debrecen város is rendelkezik reptérrel, és van is forgalma a létesítménynek, ez azonban messze nem összehasonlítható Frankfurt vagy London reptérének forgalmával. A légi közlekedésben fontos szerepet töltenek be a csomópontok. El lehet jutni kis reptereken keresztül is Békéscsabáról Manchesterbe, de sokkal egyszerűbb, ha Budapesten felszállok egy repülőre, ami elvisz közvetlenül Londonba, ahonnan van közvetlen járat Manchesterbe. Tehát az európai légi közlekedésben nagyon fontos szerepet töltenek be a nagy csomópontok.

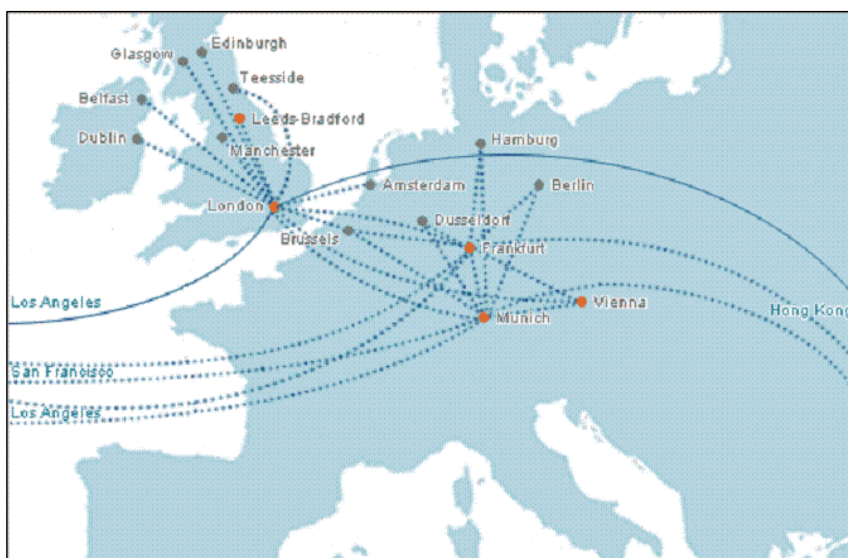
És most lássuk a térképeket!



*Európa autópálya térképe*⁵

Ez Európa autópályáinak a térképe. Jól látszik, hogy különösen jelentős csomópontok nincsenek. Az megfigyelhető, hogy a fővárosokba valamennyivel több autópálya vezet. De az átlagtól ezek nem térnek el.

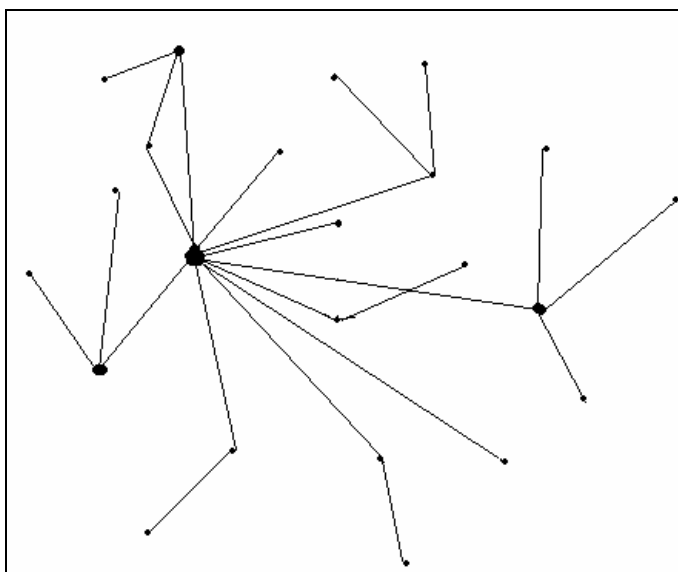
A következő ábrán Európa légi közlekedésének egy részét tartalmazó térképet láthatunk.



*Európa légi közlekedési térképe (nem teljes)*⁶

Ezen a képen – még akkor is ha csak részleges -, nagyon szépen kivehető, hogy bizony a légi közlekedésben megjelennek a csomópontok.

A hatványfüggvények azt mondják el, hogy az adott hálózatban vannak olyan pontok, amelyek csak pár kapcsolattal bírnak. Ezekből viszonylag sok van. Ugyanakkor a hálózatba találunk néhány olyan pontot, amely nagyon sok kapcsolattal bír. A hálózat a középpontok nélkül szétesne. A véletlen hálózatok eloszlásgrafikonjának a legmagasabb pontját – ha úgy tetszik a görbe maximumát – a hálózat skálájának nevezzük. A hálózatra jellemző fogszám nagyságát adja meg. A hatványfüggvénynek azonban nincs ilyen csúcsa. Ez a gyakorlatba azt jelenti, hogy a hálózatban nincsenek átlagos pontok. Ezekben a hálózatokban nincs skála. Ezért, az ilyen hálózatokat skálafüggetlen hálózatoknak hívjuk. A legtöbb komplex hálózat skálafüggetlen hálózat is egyben. A központok létezése segít a hálózat stabilitásában, meghatározza, hogy a hálózat ellenálljon a hibáknak és még sok egyéb tulajdonságért felelős.



A skálafüggetlen hálózat gráfos modellje

A kutatók megfigyelték, hogy azokban az esetekben, amikor a már korábban említett 80/20 szabály alkalmazható, a háttérben mindig hatványfüggvények húzódnak meg.

A hatványfüggvények felfedezése a hálózatok világában azt jelenti, hogy a hálózatok kialakulásában a véletlennek semmilyen szerepe nincsen. Hiszen a hatványfüggvényeket a rendezettség felé vezető út hírnökeiként is tekinthetjük. A hatványfüggvényeket vétek lenne csupán egy tulajdonságnak venni. Ennél jóval többet jelentenek. Megjelenésük a komplex rendszerek önszerveződésének egyértelmű jelei. Hiszen minden alkalommal, amikor a

káoszról rend lesz - egy kritikus pont elérésének pillanatában - megjelennek a hatványfüggvények, majd utánuk az önmagától felépülő rendezettség. Ezek alapján kijelenthetjük, hogy a komplex hálózatok jól meghatározható törvények miatt épülnek fel, és ezek határozzák meg a tulajdonságaikat is.

A kutatók megfigyelték, hogy több egymástól teljesen eltérő hálózat mögött is megtalálható a hatványfüggvény.

Ezek alapján a komplex hálózatokat valamilyen törvény irányítja, és ez mindenféle komplex hálózatra alkalmazható kell legyen. A törvény „felfedezéséhez” újból vissza kell kanyarodnunk az Erdős – Rényi modellhez. A modell két feltételre épül.

1. számoljuk meg a pontokat. Legyen n a pontok száma. n mindvégig konstans.

2. minden pont egyenrangú

A középpontok felfedezése okot adott arra, hogy e két kiindulási feltételt alaposan megvizsgáljuk. Az első észrevétel az volt, hogy a web növekszik, ráadásul a növekedés folyamatos. Hollywoodban évről évre újabb és újabb színészek bukkannak fel és futnak be. Tehát Hollywood folyamatosan növekszik. A filmipar kezdetén a néma filmekben alig szerepelt egypár színész. Ma félmilliónál is többen alkotják Hollywood hálózatát.

Mindegyik hálózat egy pár ponttal kezdődött vagy kezdődik, de az idő múlásával sokszorossá fog nőni. Elég csak arra gondolni, hogy másfél évtizede, elkészült az első weboldal. Mindannyian tudjuk, hogy jelenleg több száz millió oldal létezik. Még sorolhatnánk, hogy az eddig tárgyalt, vagy példának hozott hálózatokra érvényes a folyamatos növekedés. Ez azonban éles ellentétben áll az Erdős – Rényi féle 1. feltétellel.

Az 1. feltétel helyett adjuk meg a növekedést.

Most pedig vizsgáljuk meg a második feltételt.

Minden pont egyenrangú kell legyen.

Lássuk, hogy is épül fel egy hálózat! Tegyük fel, hogy minden új pontnak két éllel kell kapcsolódnia a már meglévőkhöz. Kezdetben van két pontunk, melyek egymással kapcsolatban állnak. Majd jön egy harmadik pont. Ez az előbbi két ponthoz minden gond nélkül tud csatlakozni. Így a hálózatunk már három pontból áll. A negyedik pontnál kezdődnek e problémák. Melyik két pontot válassza. Döntsön a véletlen alapján, úgy ahogy az már az Erdős – Rényi modellben láttuk.

Az így kapott hálózat csak abban tér el a véletlen hálózatok modelljétől, hogy növekszik. Ez azonban igen jelentős változás. Hiszen a hálózat felépítése után lesznek nyertesek és lesznek vesztesek, aszerint, hogy melyik már meglévő pontokhoz csatlakoztak az újak. Mivel minden pontnak ugyanannyi az esélye, hogy új ponttal kapcsolódjon, a régiek „koruknál” fogva előnyt fognak élvezni az „ifjakkal” szemben. A leggazdagabbak az elsőként csatlakozó pontok lesznek. A legszegényebbek pedig az utoljára csatlakozók

A modell arra hívja fel a figyelmet, hogy a középpontok és az összekötők létezésének magyarázatára csak a növekedés bevezetése, a hálózat kialakításába nem elég.

A hiányzó láncszemhez végig kell gondolunk azt, hogy valójában hogyan is szörfölünk az interneten. Ha mondjuk keresek valamit, szinte természetes, hogy valamelyik keresőt hívom segítségül. Én szinte kizárólagosan a google-t szoktam használni. Beírom a kulcsszót, rákeresek, és megnézem, hogy milyen linkeket dob ki válaszként. Először végig futok rajta, hátha van köztük olyan oldal, ahol már jártam, vagy esetleg, - ha netán egy jegyzet kell – a szerzőjét valahonnan ismerem. Valamilyen fajta előismeret, vagy ha úgy tetszik szimpátia alapján választok. Természetesen van olyan is, amikor azt, amit keresek annyira nem ismerem, hogy rögtön az első linkekre rá is kattintok, de ezek általában elhanyagolhatóak. Ahogy ezt a szakdolgozatot írom, már jó néhány „google-záson” vagyok túl, és egyedül a légi közlekedésnél használtam azt, hogy sorba végig mentem a kiadott linkeken. Az összes többi esetben, vagy a szerző miatt választottam az adott oldalt, mert mondjuk a szerző is Erika, vagy azért, mert szeretem használni a wikipédiát. Megállapíthatjuk tehát, hogy az interneten szimpátia alapján választunk.

Nézzük meg, hogy áll a kérdés a társdalomban. Mivel eléggé hosszú ideig jártam fel hétről – hétre Debrecenbe, volt alkalmam ismerkedni. Sokszor előfordult, hogy egyedül utaztam, és nem ismertem senkit sem a buszon. Ha valaki leült mellém, akkor az első benyomás alapján döntöttem el, hogy szeretnék-e az illetővel beszélgetésbe kezdeni, vagy inkább kinézek az ablakon, és tovább hallgatom a rádiót. Azokban az esetekben, amikor valaki szimpatikus volt körülbelül 75%-ba barátok is lettünk. A maradék 25% idő nyugdíjas néni és bácsi volt, akikkel sajnos azóta se találkoztam. Tehát elmondható, hogy az ugyan a véletlen műve, hogy ki jön szembe velünk az utcán, de azt már többnyire mi döntjük el szimpátia alapján, hogy ismerősök, vagy esetleg barátok leszünk-e az illetővel.

Megemlíthetném még a vállalatok kapcsolatát is. Ott is valamilyen érdeke fűződik mindkét félnek ahhoz, hogy egy megállapodást összehozzanak. Megállapíthatjuk tehát, hogy

hálózatainkban a továbbfejlődésnél, a növekedésnél a népszerűség vagy szimpátia alapján választunk, de semmiféleképpen nem a véletlen alapján. Ez az úgynevezett népszerűségi kapcsolódás megtalálható

Ezek alapján elmondhatjuk, hogy el kell hagynunk a véletlen hálózat 2. feltételét is, hiszen a pontok között igen is van különbség. Az interneten a népszerűbb oldal mindig is népszerűbb marad, és egyre többen fognak kapcsolódni. A híres színészek mindig is könnyebben fognak jó szerepekhez jutni. A megnyerő embereknek mindig is több ismerősük lesz. Az összekapcsolódás soha nem a véletlenen múlik. Gondoljunk csak arra, hogy ha ez így lenne, én nem tudnám megírni ezt a szakdolgozatot és nem tudnék értékelni, mert a sejtjeinkben a molekulák tetszőlegesen, a véletlenre bízva lépnek reakcióba egymással.

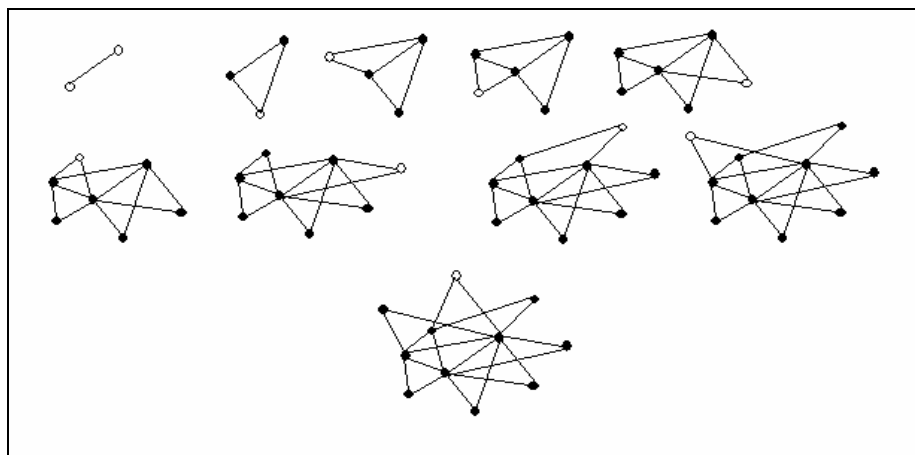
Most hogy már a két „ősi” feltételről bebizonyosodott, hogy a valódi hálózatokra egyszerűen nem lehetnek érvényesek, olyan feltételeket kell megadni, amely igazak lesznek rájuk.

Ezek azonban nem feltételek, hanem törvények. Ezek azok a törvények, amelyek irányítják a komplex hálózatokat.

Az első törvény: a növekedés törvénye. *„Adott időközönként egy új pontot adunk a hálózathoz. Ez a lépés igazolja azt a tényt, hogy a hálózatok pontonként növekednek.”*⁷

A második törvény: A népszerűségi kapcsolódás törvénye: *„Feltételezzük, hogy minden egyes pont két éllel kapcsolódik a már létező pontokhoz. Annak a valószínűsége, hogy az új pont a már meglévők közül egy adott pontot válasszon, arányos azzal, ahány kapcsolat tartozik az adott ponthoz. Azaz, ha választani kell két pont közül, amelyek közül egyiknek kétszer annyi kapcsolata van, mint a másiknak, akkor kétszer valószínűbb, hogy az új pont a több linkkel rendelkezőhöz fog kötődni.”*⁸

Azon modellt, amely a fenti két törvényt magába foglalja, és működését ezeknek aláveti skálafüggetlen modelleknek nevezzük.



A skálafüggetlen hálózat születése⁹

Ennek a modellnek a segítségével meg lehet magyarázni a középpontok és az összekötők szerepét a komplex hálózatokban. A modell által hatványfüggvényeket kaphatunk, azokat megmagyarázza. Annak, hogy ez lehetséges több oka is van. Természetesen az egyik legfontosabb, hogy a modell tartalmazza a növekedést. Ebből kifolyólag a korábbi pontoknak több idejük van kapcsolatszerzésre. A növekedés miatt az első pontoknak sokkal több esélyük van arra, hogy kapcsolatokat szerezzenek. Így nekik nagyobb a lehetőségük arra, hogy gazdagok legyenek. Ettől azonban még nem jönnek létre a középpontok. Ehhez kell a népszerűségi kapcsolódás. Kell, hogy azok a pontok, amelyek már több kapcsolattal rendelkezzenek, népszerűbbek legyenek az új pontok számára. Amikor egy közösség kialakul és egy bizonyos idő elteltével új ember érkezik a közösségbe az többnyire megpróbál azzal vagy azokkal az emberekkel kapcsolatot teremteni, aki vagy akik a közösség középpontjában állnak. Ez egy teljesen érthető folyamat.

A korai pontok ezért nőnek gyorsabban és az idő multával ezért emelkednek ki a többi csomópont közül. Ez azt eredményezi, hogy „akinek van, annak adatik” vagy a gazdag egyre gazdagabb lesz. Ez az elv pedig magába foglalja a hatványfüggvények megjelenését.

A megszületett hálózati modell nagyon jó, hiszen egy hatalmas lépéssel kerültünk közelebb vele ahhoz, hogy megértsük a bennünket körülvevő valódi hálózatokat. Azonban felmerülnek még így is kérdések és problémák, amelyekre az új modellünk nem ad választ. Vizsgáljunk meg ezek közül egy párat.

A skálafüggetlen modellben új él csak úgy keletkezhet, ha egy új csúcsot adok hozzá a hálózathoz. Azt mondtuk, hogy az internet nagyon jó példa a skálafüggetlen modell

megértéséhez, csak hogy az interneten a linkek nem csak akkor jönnek létre, ha egy új oldalt akarunk feltenni a hálóra, hanem akkor is, amikor az én saját honlapomra kiteszem a google-re mutató linket. Tehát linkek két már korábban meglévő pont között is keletkezhetnek.

Tegyük fel, hogy a nyugdíjas klub tagjai jó barátok és egy ismeretségi hálózatot alkotnak, ami skálafüggetlen modellnek felel meg. Mi történik akkor, ha az egyik tag elhalálozik? Mi történik az interneten akkor, ha egy weblapot leszedünk róla?

Láthatjuk, hogy a valódi hálózatok élete, fejlődése nem olyan nagyon egyszerű, mint amilyennek első ránézésre tűnik.

Azonban a hálózatok vizsgálásában pont az a csodálatos, hogy minden felfedezés közelebb visz a megértésükhöz, és amit az egyik fajta hálózatba megtaláltunk, az a másikba is működni fog. Miután a fenti kérdések a kutatók körében is felmerültek, lázas munkába kezdtek, hogy kidolgozzák az általános skálafüggetlen modellt.

Az egyik kutató csoport azt vizsgálta, hogy milyen hatással van a skálafüggetlen hálózatok csomópontjaira az öregedés. Luis Amaral és csapata megfigyelte, hogy ha a csomópont elér egy adott kort, akkor egyszerűen nem tud már további kapcsolatokat szerezni, ezért a középpontok méretének van egy maximuma. Ez arra enged következtetni, hogy valójában a középpontok nem lesznek annyira gyakoriak, mint amennyire a hatványfüggvények miatt megjósoltak.

José Mendes és kutató társa Sergei Dorogovstes pedig arra jött rá, hogy a pontok az idő múlásával elvesztik azt a tulajdonságukat, hogy a linkeket vonzani tudják. Továbbá bizonyításra került, hogy az öregedés nem teszi tönkre a hatványfüggvényeket, de mindenképpen hatással vannak a középpontokra.

Más kutatóknak be kell látniuk, hogy ha a népszerűségi kapcsolódásnál az arányosságot egy bonyolult függvénnyel helyettesítik, akkor a hatványfüggvényeket rontják el.

Összegezve a kutatók néhány év alatt megértették a belső kapcsolatokat, figyelembe tudták venni az öregedés tényét és megismerték annak hatását. Tudják már, hogy mi történik akkor, ha egy csomópontot kiemelünk a hálózatból. Azonban megnyugtató, hogy a komplex hálózatok esetén a skálafüggetlen szerkezet általánosnak mondható.

4. Alkalmassági modell

Azonban van egy nagy kérdés, ami szintén választ követel. Mi lesz azokkal, akik később érkeznek egy „a gazdag mindig gazdagabb” világba? Ennek a kérdésnek a megválaszolásához Einsteint és Bose-t kell segítségül hívnunk, a kvantummechanikából.

Hogy megértsük, mit is akar ez jelenteni, kezdjük rögtön egy példával. A példa Barabási Albert – László Behálózva című művéből származik.

2000 júniusát írjuk. Az amerikai tőzsdén egy vállalat értéke óriásit, 2,8 milliárd dollárt esett. Ez számunkra nem lenne érdekes, ha. nem tudnánk azt, hogy az addigi legnépszerűbb oldal a Yahoo az Inktomi vállalat adatbázisát használta keresőnek. Ez a cég a World Wide Web egyik legnagyobb raktára. A Yahoo azon a bizonyos júniusi napon egyszerűen lecserélte a pimaszul fiatal Google-ra a keresőjét.

Ez megragadta a kutatók figyelmét. Hiszen ez nem illett bele a skálafüggetlen modellbe. Egy olyan pont, ami fiatalabb, mégis nagyobb középpont lesz, mit a régiek. Érdekes problémát vetett fel. A Google kevesebb, mint 3 év alatt lett a legnagyobb csomópont és legnépszerűbb kereső.

Ugyanez a jelenség figyelhető meg a hordozható CD lejátszók és az MP3 lejátszók között.

Mindketten ugyanahhoz a csoporthoz tartoznak, hiszen funkciójuk az, hogy zenét hallgathasson az ember ott, ahol akar, és akkor, amikor akar. A CD lejátszók 1990-ben születtek meg az USA-ban. Elődjük a walkmann volt, de mivel a CD lejátszók ára eléggé magas volt nem sikerült teljes mértékben kiszorítani azt a piacról. Majd 1998-ban megjelent az első MP3 lejátszó, amely napjainkban szinte teljes mértékben kiszorította a hordozható CD lejátszókat. Népszerűsége a mobiltelefonokéval vetekszik.

Megfigyelések szerint ez a tulajdonság a legtöbb valós hálózatban jelen van. Viszont a skálafüggetlen modellben nincs meg ez a tulajdonság, ebben a modellben minden pont egyforma. Azonban ha közelebbről vesszük szemügyre a bennünket körülvevő világot, megállapíthatjuk, hogy a valós hálózatokba minden pontnak van egyedi tulajdonsága. Egy buliban, ha később is ugyan, de egy olyan személy érkezik, akit a társasági tagjai rég nem láttak, ő fog a középpontba kerülni, akár ki is volt előtte. A valós hálózatok világának megértése rákényszerít bennünket arra, hogy elismerjük a csúcsok különbözőségét. Vannak olyan autómárkák, amelyek egy életre rabul ejtik a tulajdonosokat, vannak olyan emberek,

akik minden véletlen találkozásból barátságot tudnak szőni. Vannak olyan színészek, akik bármilyen szerepet el tudnak játszani. Mindegyik példában a csomópont rendelkezik egy olyan belső tulajdonsággal, ami miatt nagyon népszerű lesz. A kapcsolatszerzés miatt kialakult versenyben minden pontnak van egy úgynevezett alkalmassága. Ez határozza meg, hogy adott csomópont hogyan képes megmaradni az élmezőnyben. Általános esetben tegyük fel, hogy minden ponthoz rendelünk egy alkalmasság értéket, annak megfelelően, ahogy adott pont megszerzi a linkjeit. Az érték bevezetése lehetővé teszi azt, hogy meg tudjuk állapítani, mi a vonzó. A skálafüggetlen modellben a vonzást a kapcsolatszerzésnek feleltethetjük meg. Ha két csomópont közül kell választania egy új csomópontnak, ahhoz fog kapcsolódni, amelyiknek nagyobb az alkalmassága. Ha az alkalmasságuk egyforma, akkor a korábbiaknak megfelelően fog majd választani, azaz a régebbi fog győztesen kikerülni.

Az alkalmasság bevezetésével kicsit változott a modell, és létrejött az alkalmassági modell. A pontok között különbséget lehet tenni. Ami azonban a lényeges, hogy a Google sikertörténetére ez a modell már magyarázattal szolgál.

Az új modellt természetesen vizsgálatok sorának vetették alá a kutatók. Bianconi számításai azt bizonyították be, hogy az alkalmasság dönti el igazából a középpontok sorsát.

Adott 3 állat egy csiga, egy teknősbéka és egy egér. A három állat versenyez

Skálafüggetlen modell esetében a 3 állat egy szűk folyosóban kell menjenek egymás mögött.

Az előzésre nincs lehetőség. Hiába van a céltábla alatt egy darab sajt, az egér mégis csak akkor fog odaérni, amikor a csiga is befutott

Az alkalmassági modellben a 3 állat egy több folyosós rendszerben mozoghatnak. Mindegyik állat külön- külön folyosón. Ekkor az egér mindenkit megelőzve fog beérni, s feltehetőleg mire mindkét versenytársa beérkezik, ő már régen megette a sajtot.

Az alkalmassági modell bevezette a versenyt. Érdekes kérdés, hogyan verseny befolyásolja a hálózat topológiáját, illetve milyen hatással lehet a hatványfüggvényekre.

Vegyünk egy olyan gázt, amelynek atomjai egymástól nem különböztethetőek meg. Ha lehűtjük, akkor a részecskék a legalacsonyabb energiaszintre állnak be. Amikor ez megtörténik, akkor az anyag egy új állapota jön létre.

(1924-ben Einstein egy rövid dolgozatot kapott Satyendra Nath Bose fiatal indiai fizikustól, amely tartalmazta a Planck –törvényének bizonyítását. Ezt felhasználva Einstein egy

hihetetlen felfedezésre jutott. Ha a gáz atomjait kellő mértékben lehűtik, akkor azok mozgása lelassul. (Bose bizonyításának feltétele a fotonok egyformasága)

Bianconi meglepő eredményt kapott számításai során. A kutató bizonyos megfeleltetéseket végzett. A modell pontjai legyenek energiaszintek. Mint korábban már beláttuk, a pontokhoz alkalmasságok tartoznak. Minél nagyobb egy pont alkalmassága, annál kisebb energia szintet rendelhetünk hozzá. A linkeknek a gázokban lévő részecskék felelnek meg, melyekhez mindig egy adott energiaszintet rendelünk hozzá. A hálózathoz hozzáadott új pontok, a Bose-gáz új energiaszintjének felel meg. Magát a komplex hálózatot egy óriás kvantumgáznak feleltette meg. A hálózatba lévő kapcsolatok viselkedése megegyezik az atomoknál kisebb részecskék viselkedésével. Bianconinak sikerült bebizonyítania, hogy a hálózatokat irányító törvények szempontjából maga a hálózat egy Bose- gázzal azonosak. Azon a ponton, amikor a részecskék a legalacsonyabb energia szintre állnak be, a többi energiaszint teljesen kiürül. Hálózatok nyelvén ez azt jelenti, hogy lehetséges olyan esemény bekövetkezése, mikor a győztes, a legalkalmasabb pont egyszerűen mindent visz.

Topológiai szempontból a hálózatokat két csoportra lehet osztani. A verseny a hálózat szerkezetére vagy van vagy nincs hatással.

1. kategória: a verseny nincs hatással a hálózat topológiájára. Ezek a hálózatok a verseny ellenére skálafüggetlen hálózatok maradnak. Ezekben a hálózatokban a gazdag egyre gazdagabb lesz.

2. kategória: a verseny hatással van a hálózat topológiájára. Ebben az esetben a verseny során a legnagyobb alkalmassággal rendelkező csomópont egy adott időpillanatban minden linket, kapcsolatot magához vonz. Ezekben a hálózatokban, a győztes mindent visz. Az ilyen hálózatok csillag topológiai alakzattal rendelkeznek. Ezek nem skálafüggetlen hálózatok, hanem egyetlenegy középpont van, amely körül sok kis pont található.

Kérdés, hogy egyáltalán létezik-e ilyen hálózat? A választ keressük a Microsoft-nál.

Röviden megpróbálom összefoglalni a Cég sikerét.

Tekintsünk az operációsrendszerekre úgy, mint felhasználókért versenyző pontokra. Ha egy felhasználó a gépén feltelepíti az adott operációsrendszert, akkor egy kapcsolatot ad az kiadó cégnek. Mivel a világ jelentős kb. 86%-án Windows fut, ez eléggé tetemes kapcsolatot jelent a Microsoftnak. Ha ez a rendszer skálafüggetlen lenne, akkor a jó öreg DOS kellene legyen a leggazdagabb csomópont. Van ugyan még Linux, meg UNIX, és egypár operációsrendszer, de

a Microsoft-tal való versenyt egyik sem veheti fel. Tehát ez a rendszer inkább az alkalmassági modellre alapuló hálózatok közé sorolható.

Az eddigiek alapján megtudtuk, hogy a hálózatok vizsgálata során az első modell az Erdős – Rényi modell volt. Véletlenül alapult, és statikus volt. Ezt követte a Skálafüggetlen modell: megjelent a valóságnak megfelelő dinamizmus. A hálózatot pontonként lehet bővíteni, és a kapcsolatok változhatnak. Majd fel kellett ismernünk, hogy szükségünk van az alkalmassági modellre, melyben már megfigyelhetjük a hálózatokban végbemenő versenyhelyzeteket is.

Kérdés az, hogy ahogyan az Erdős – Rényi modellt valótlannak kellett ítélnünk a skálafüggetlen modell felfedezésekor, úgy az alkalmassági modell megjelenése miatt fel kell-e adni a skálafüggetlen modellt.

A válasz természetesen nem. Hiszen az eddig megvizsgált modelljeink mindegyike skálafüggetlen volt.

5. A gyenge pont

Az eddig megismert modellek megfelelő környezetben nagyon szépen és egyenletesen működnek. Sajnos azonban a világunk nem inkubátor. Ahogy az emberi testnek is lehetnek meghibásodásai, és megtámadhatják vírusok, ugyanúgy hálózatok is ki vannak téve a veszélynek.

Jó hír azonban, hogy ezekre a krízisekre a hálózatok felépüléséből ered a megoldás.

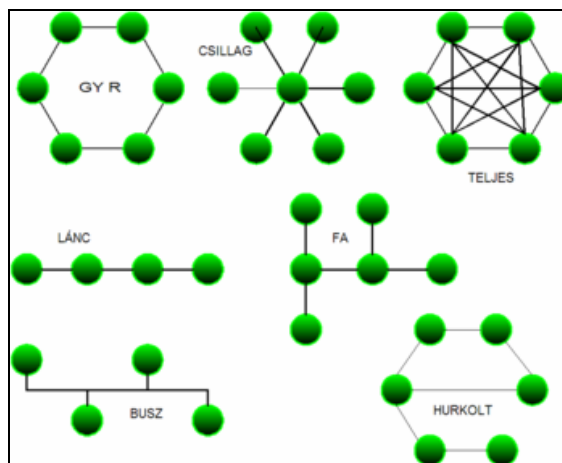
Hosszú évmilliárdok bizonyítják azt, hogy a természet nagyon ellenálló a hibákkal szemben. Az élővilág képes volt még a jégkorszaknak is ellenállni, illetve megtalálni azt az életformát, amivel túl lehetett élni.

Sajnos azonban azok a rendszerek, amelyeket mi, emberek készítünk, már nem ilyen masszívak. Gondoljunk csak arra, hogy ha a kocsiban nem megfelelő tisztaságú benzint öntünk, az egész kocsi le is állhat akár. Másik példa a már említett úthálózat. Micsoda fennakadások, dugók keletkeznek, ha valami elállja a forgalmat. (legyen az akár egy baleset, akár egy karbantartás). De sajnos léteznek ettől sokkal súlyosabb következményekkel járó meghibásodások. Nem kell nagyon sokat keresnem, hogy erre példát találjak. Napjaink egyik legtöbbet hallott híre a jelenlegi gazdasági világválság. Hosszú évtizedeken keresztül nagyon

stabil volt a pénzügyi világ. Most azonban – számomra még nem teljesen érhető okok miatt – az egész felborult, és a következményekről még senki nem mer biztosat mondani.

A meglévő rendszerekhez –legyen az természetalkotta, vagy ember által készített – fontos tulajdonsága a hibákkal szembeni ellenálló képesség. A legtöbb olyan rendszerben, ahol a hibatűrő képesség magas, rendelkezik egy közös tulajdonsággal. Ilyen rendszerek mögött egy bonyolult, szorosan összekapcsolt hálózat áll. Az élővilágban a fajok közötti rendkívül gazdag kölcsönhatások a felelősek. A sejtekben a nagyon bonyolult anyagcsere-hálózat, a társadalomban az ismeretségi háló.

Azonban most egy pillanat erejéig térjünk vissza ahhoz a hálózathoz, amely valódi számítógépekből és ezeket összekapcsoló kábelekből áll.



Hálózati topológiák ¹⁰.

Minden hálózatokhoz értő ember tudja, hogy a leginstabilabb topológia a lánc, vagy sín topológia. Hiszen, tegyük fel, hogy a második gépen hiba áll be, az őt követő gépek már nem fognak megfelelően működni. Csillag topológia esetén, ha a periférián lévő gépek közül egy meghibásodik, attól a hálózat még működőképes lesz. Ha azonban a központi gépben keletkezik valamilyen hiba, akkor az egész hálózat működés leáll. Teljes topológiára épülő hálózat esetén azonban bármelyik gép meghibásodhat, a rendszer tökéletesen fog működni. Ha az említett modelleket gráfokként tekintjük, akkor valóban bebizonyosodik a fenti állítás. Hiszen a láncba egy pont csak a két szomszédosával van összekötve (a szélsők csak az egyetlen szomszédjukkal) a csillagba egymással nincsenek kapcsolatba, csak a középen lévő

Az is megfigyelhető, hogy bizonyos hálózatonál a meghibásodás következtében a hálózat darabokra esik szét. Ezek a darabok elszigeteltek lesznek és egymással nem tudnak kommunikálni.

```

graph LR
    A([A férjem baráti köre]) --- B[ÉN]
    B --- C[Az én baráti köröm]
  
```

Tegyük fel, hogy adott a két baráti kör. A két körből senki nincs közvetlen kapcsolatba másik körből. Abban az esetben, ha én elköltöznék Amerikába a két baráti kör minden további nélkül működni fog, de egymástól teljesen elszigetelten.

Ha az internetet elkezdjük tesztelni, akkor arra a következtetésre jutunk, hogy az internet nem hullik szét. Hasonló megfigyeléseket végezhetünk el meg skálafüggetlen esetekben. Tehát a skálafüggetlen hálózatok topológiájukból kifolyólag nagyon jó a hibatűrő képességük. A topológián belül is a csomópontok a meghatározóak. Azonban ha elvágják az áramot a hálózatban, akkor akár hány pontot is emelnénk ki, mindenképpen leáll az egész rendszer. Tehát a skálafüggetlen hálózatok a fizikai meghibásodásokkal szemben nem állnak ellen.

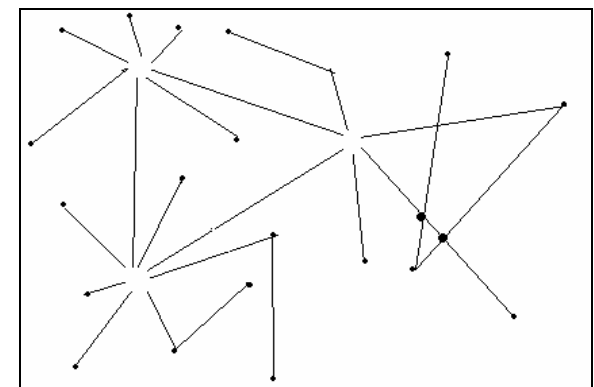
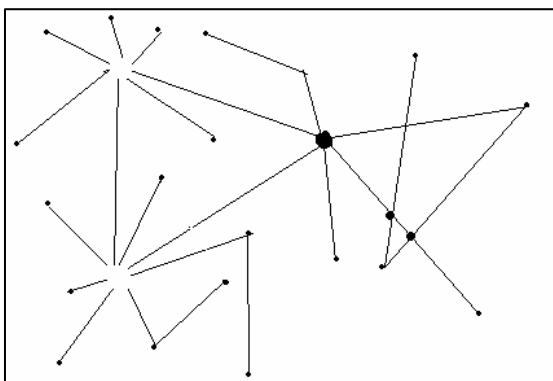
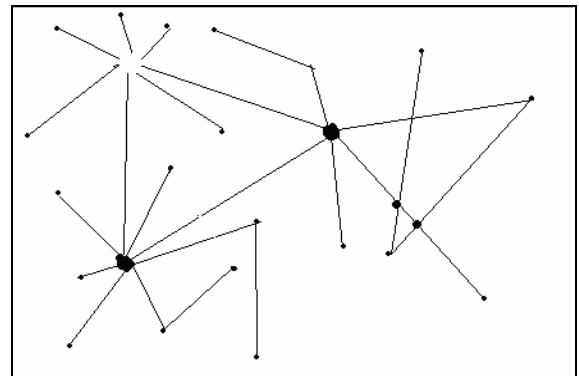
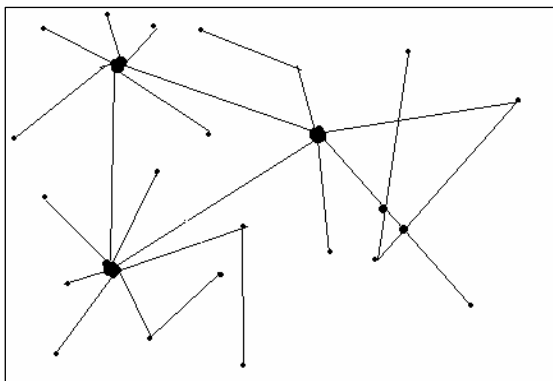
Példának vegyük Magyarország vasúti hálózatát. Ha bezárnánk az legkisebb vasútállomások, attól még a vasúti közlekedés egésze nem állna le. Amiatt, mert Sárándon megszűnt egy

állomás, attól még Budapesten a Keletiben rendesen fognak közlekedni a vonatok. Ha valami oknál fogva bezárnák a Keletit, akkor egy kis trükközéssel ugyan továbbra is megoldható lenne az ország vasúti forgalmának fenntartása. Azonban ha egyszerre több központot is bezárnának, lebénulna az egész vasúti közlekedés. A hálózat hibatűrő képességének a kulcsa a topológiában van. A kulcs az, hogy a szerkezet egyenlőtlen. A meghibásodások a kis pontokra aránytalanul erősen hatnak. Az összes eddig vizsgált skálafüggetlen hálózat ezzel a tulajdonsággal rendelkezik. Ezekben a közös pont az, hogy a fokszámuk minden esetben kisebb, mint 3.

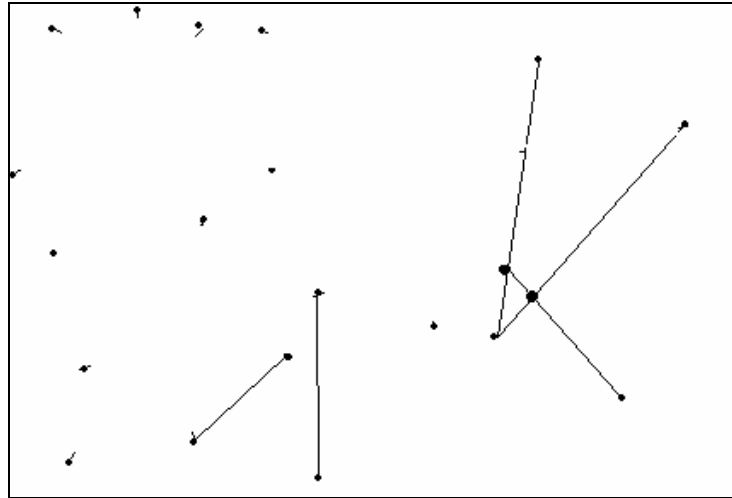
7. A támadások

A skálafüggetlen hálózatok tehát rendkívül ellenállóak a meghibásodásokkal szemben. Csak akkor esnek szét, ha az összes középpontot eltávolítják.

Tehát a középpontok fokozatos eltávolításával a hálózat darabokra esik szét.



A fenti négy ábra azt mutatja meg, hogyan esik szét a hálózat.



Végül az eredeti hálózatunkból ennyi maradt

Az első középpont eltávolítása a rendszert még nem bénította meg. A második középpont eltávolításának hatása már szembeötlő. Az utolsó középpont eltávolítása pedig teljesen szétzúzta a hálózatunkat.

A meghibásodásokkal szemben a hálózat nagyon jól szerepelt. Ám ha támadásokról van szó, akkor a skálafüggetlen modell nagyon sérülékeny. Ha célirányosan a középpontok ellen irányulnak a támadások, akkor a hálózat nagyon látványosan szétesik. Ez a skálafüggetlen modell belső tulajdonsága. A kutatók megfigyelték, hogyha egy skálafüggetlen modellt ért támadások során – amennyiben a támadások először a legnagyobb csomópontok ellen irányultak, – elérhető egy olyan kritikus pont, amikor a hálózat magától szétesik. Ahhoz hogy ez megvalósuljon a csomópontok 5-15%-át egyszerre egy időben kell megtámadni.

A kutatások szerint a skálafüggetlen hálózatok a hibákkal szemben igen ellenállóak, azonban a támadásokkal szemben nagyon érzékenyek. A skálafüggetlen hálózatok eme két tulajdonsága igen fontos és minden esetben kéz a kézben együtt járnak. Erre legjobb példa, ha az élővilágot figyeljük meg. Az, ha a természetben az idők folyamán bizonyos fajok kipusztulnak, az élet nem áll meg. Azonban, ha azok a fajok pusztulnának ki, amelyek kulcsfontosságú szerepet töltenek be, akkor az egész ökológiai rendszer összeomlana.

Ha a hálózatokat közelebbről is szemügyre vesszük, sajnos azt kell megállapítanunk, hogy a támadásokkal szembeni hibátűrő képesség csupán látszat.

A meghibásodások azonban néhány esetben lavinaként hatnak a hálózatra. Amerikába 1996-ban egy eléggé nagy áramkimaradás történt. Azon a nyáron rekord meleg volt. A vezetékek

egy része a meleg miatt kitágult és megnyúlt. Ennek még nem kellett volna előidézzene egy fél országot érintő áramkimaradást. Hozzáért egy fához, majd egy nagy villanás után tönkrement. A rajta futó áram automatikusan a szomszédos vezetékekre terelődött, de azokat nem ekkora áramerősség tartós szállítására tervezték. Ezek a vezetékek szintén a nagy hő miatt valamint a túlzott leterheltségük miatt szintén tönkrementek. Így a meghibásodások végiggyűrűztek 11 államon. Ha egy hálózat szállítórendszerként működik, akkor egy meghibásodás miatt a terhelés más pontokra terhelődik. Ha ez a plusz leterhelés nem jelentős, illetve nem haladja meg az adott pont teherbírását, akkor nem fog történni semmi. Azonban, ha a plusz terhelés túl sok a pont számára, akkor az új pont is felmondja a szolgálatot.

Természetesen nem mindegy, hogy az első meghibásodott pont milyen szerepet tölt be a hálózatban, középpont, vagy egy a sok kicsi pont között. Ahogy a vezetékek szállítják az áramot, úgy vezetik az információt a routerek. Ha valamelyiket támadás éri, vagy meghibásodik, a rábízott információkat más routerek fogják szállítani. Tehát ugyanúgy működnek, mint ahogyan a vezetékek.

A támadások vagy meghibásodások pedig lavina effektust indítanak be. Ezért, ha a routereket információval árasztják el, azt vehetjük támadásnak. Ezek a lavinaszerű meghibásodások ismertek a gazdaságban, ennek vagyunk – és remélem, hogy amikor ezt a dolgozatot elbírálják már csak voltunk – tanúi. Hiszen elindult Amerikából, és végigsöpör az egész világon. Megfigyelhető az élővilágban is. Bizonyos fajok kipusztulása lavinaszerű hatással bír az egész ökológiai rendszerre.

Azonban helytelen lenne azt hinnünk, hogy a lavinákat minden esetben egy darab markáns hiba okozná. Van, hogy úgy működnek, mint az igazán jó katasztrófa filmek. Szárazság van. Valaki kint a természetben eldob egy csikket, amitől fellobban a száraz fű. A szellő hirtelen megerősödik, felkapja a tüzet, ezért meggyullad a bozótos. sajnos a „vétkes” nem tudja eloltani a tüzet, és már készen is van katasztrófa.

Ezek egymástól független események, amelyek külön-külön semmilyen kárt nem okoznánk, de együttesen egy hatalmas lavinát indítanak el, aminek ki tudja, mi lesz a vége.

IV. Az internet

Amikor Paul Baran 1959-ben a US Army-től azt a feladatot kapta, hogy hozzon létre egy olyan kommunikációs csatornát, amely alkalmas lenne egy esetleges atom támadás túlélőinek a kommunikálására, biztos, nem gondolta, hogy a 20. század egyik csodájának az alapjait fekteti le. Természetes, mint ahogy ezt már előre sejteni lehetett, az ő nagyszerű tervét is csak egy jó néhány év múlva valósították meg. Baran egy olyan kommunikációs hálózat topológiai alapját fektette le, amelyben nincsenek különösen nagy csomópontok. Az általa tökéletesnek hitt rendszer elosztott rendszer. A hálózat rácsszerkezetűnek volt megtervezve. A csomópontok mellőzésével a fenyegetettséget akarta csökkenteni. (Ne feledjük el, hogy ekkor még javában dúlt a hideg-háború). A terv elkészült, de mégse foglalkoztak vele. Emiatt az internet teljesen másként néz ki. Ennek egyszerű volt az oka, az akkori analóg kommunikációs rendszerrel nem lehetett elérni, hogy az üzenetek kisebb taszkok formájában kerüljenek egyik helyről a másikra. A terv meghaladta a kor hardveres fejlettségét, tehát bekerült egy fiókba. Amikor újra szükségét látták egy hasonló rendszer megálmodásának, ismét elkészült egy terv – ami ugyanazokon az elveken működött, mint Baran-é, de ekkor már az internet a fejlődése útján járt.

Attól függetlenül, hogy az internetet emberek hozták létre, nem központilag tervezett. A szerkezete pedig inkább hasonlít egy élő rendszerhez, mintsem más emberek által létrehozott rendszerhez. Ahhoz, hogy ezt a szerkezetet megismerjük, eszközökre volt és van szükség.

A '60-as évek Amerikájában több helyen voltak már hatalmas monstrum számítógépek, melyek egymástól függetlenül működtek. A probléma az volt, hogy a kutatásokhoz a számítógépek valamifajta egyesítésére lett volna szükség, úgy, hogy még az egy helyen lévő gépek sem tudtak kommunikálni egymással.

Bob Taylor ötlete nagyon egyszerű volt: „Valahogy kössük össze a gépeket”. Amikor Taylor megkapta az engedélyt és a pénzt a megvalósításhoz, egy angol számítástechnikai szakember feltalálta a csomagokat, és a csomagkapcsolást. 1967-ben végre felismerték, hogy a csomagkapcsolt technológia a leggyorsabb kommunikáció elengedhetetlen kelléke. Ekkor született meg a hálózat, amit mi ma internetnek hívunk.

Azóta persze az internet egyenlő lett a WWW-vel. 1967-ben azonban még csak számítógépek fizikai összekapcsolására használták, és arra, amire Baran megálmodta. Az elvek is nagyjából ugyanazok.

Egyben azonban eltér, az internet saját életet kezdett élni. Az internet születése óta folyamatosan bővül pontról pontra. Jelenleg a világ egyik legkiterjedtebb hálózata, azonban még mind a mai napig nincs róla térképünk. Sőt, 1995 óta teljesen önálló életet él, semmilyen hatóság vagy szervezet nem irányítja.

Napjainkban emberek sokasága bővíti, mindenki azzal, amivel tudja, vagy akarja. Ezek csomópontokként, vagy kapcsolatokként kerülnek be, anélkül, hogy bárki ellenőrizné. Kutatók szerint az internet mögött, pont azért, mert túlságosan szabad, egymástól független hálózatok vannak, amelyek együttműködnek. Éppen ennek köszönhető az, hogy maga az internet védett. Az internetet ezért senki nem tudná megállítani.

Manapság az internetet legtöbbször böngészésre és e-mail-re használják. Megállapíthatjuk, attól függetlenül, hogy emberi kéz alkotta, nagyon is élő. Sőt sokak szerint lehet, hogy túl élő is. De ezzel majd később szeretnék foglalkozni.

A dolgozatba néhány helyen már említést tettem arról, hogy az internet skálafüggetlen rendszer. Ha az internetre, mint fizikailag összekötött routerek összességére gondolunk, megállapíthatjuk, hogy skálafüggetlen. Ez azért bír óriási jelentőséggel, mert még azelőtt, hogy napfény derült volna a skálafüggetlen rendszerek létezésére, már vizsgálták az internetet, de úgy, mintha az, az Erdős – Rényi modellnek felelt volna meg. Ezeket az eredményeket, nem vehetjük figyelembe. Mivel a később megszületett World Wide Web is hatványfüggvényt mutat, a két tény együttesen végérvényesen kitörölte az internetet a véletlen hálózatok halmazából.

Azt már pár sorral feljebb rögzítettem, hogy az internet pontonként bővül. Ezzel a ténnyel a skálafüggetlen modell első feltétele teljesítve van. Marad a népszerűségi kapcsolódás. Mitől lehet egy csomópont népszerű az interneten. Ezt pedig a kommunikáció költsége dönti el. Megfigyelték, hogy azok a routerek a legnépszerűbbek, melyek a legnagyobb sávszélességet kínálják. Ezzel a második tulajdonságot is bizonyítottuk. Megkérdőjelezhetetlen, hogy az interneten is megtalálható a népszerűségi kapcsolódás. Észre kell venni a távolságot is, mint plusz paramétert. Mivel ezek a csomópontok rég óta léteznek, ezért őket tartják az internet közép pontjainak. Valamint azt kell még megjegyeznünk, hogy a csomópontok nem véletlenszerűen kapcsolódnak. Ha az összes fontos tulajdonságot teljes mértékbe használnánk, akkor az biztos, hogy megszüntetné a hálózat skálafüggetlen topológiáját.

Jelenleg elmondható, hogy a bolygónk szinte minden pontját az internet uralja. Nincs olyan területe a mai világnak, ami ne kapcsolódna az internethez. Azonban kérdésként merülhet fel,

hogy mikor fog –ez a bennünket körülvevő - bitvilág öntudatra ébredni, és mikor fog eljönni, az a pillanat, amikor az internet függetlenedni fog az emberi irányítástól. Ezen kérdésekre adott válaszok nagyban befolyásolhatják majd az internet topológiáját.

1. Az internet bolygója

A világháló másszemszögből való megközelítése vizsgálata egészen érdekes tulajdonságokat tárt fel.

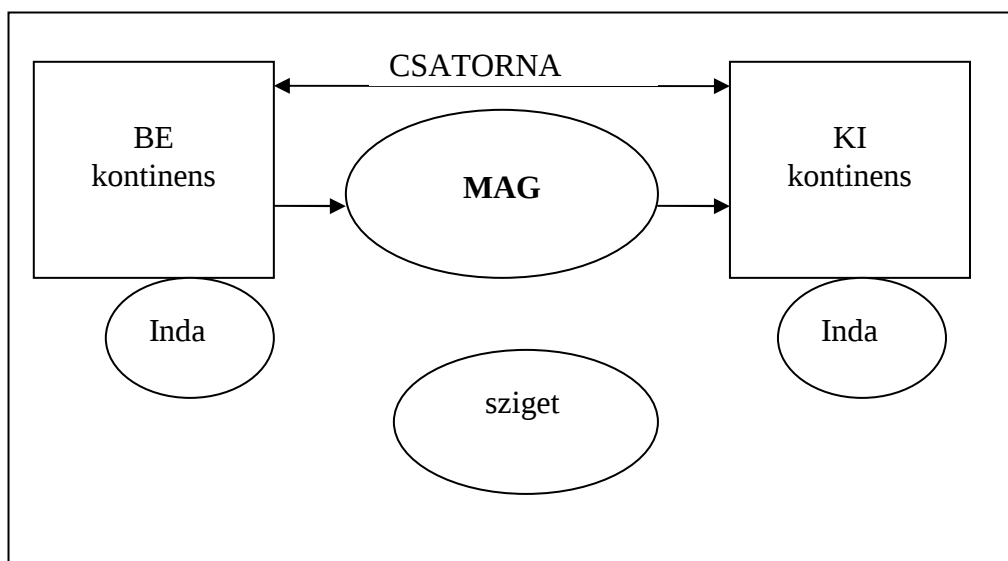
A tanulmányozás egyik legunalmasabb momentuma az, hogy a már létező websideokat beszámazzák, erre robotokat használnak. Azonban a számozás során megfigyelték, hogy vannak olyan weboldalak, amelyeket ezek a robotok nem tudnak elérni. Ebből a szempontból is érdekes kérdéseket vet fel az internet szerkezete.

Amikor a kedvenc keresőnkbe beírjuk azt a fogalmat, amire kíváncsiak vagyunk, melyre többnyire több száz vagy több ezer megoldást kapunk. Kérdés az, hogy ebből valójában melyikre van szükségünk.

Azt már tudjuk, hogy az interneten megközelítőleg 19 kattintásra vannak egymásról a weboldalak. Azonban ez nem jelenti azt, hogy tényleges a 19 lépés lenne a lakberendező oldal és Java fejlesztéséről szóló oldalak között.

A világháló óriási, de az e mögött lévő kisvilág, ami a 19 lépésnek köszönhetően – valószínűleg megtévesztő. Azt már tudjuk, hogy ha két oldal között van kapcsolat, akkor az tipikusan rövid úton belül elérhető A oldalról B oldal. Azonban vannak olyan weboldalak is, amelyek között nincs kapcsolat. Nem biztos, hogy létezik út a makramé a IBM legújabb fejlesztéséről szóló side-ok között.

Ennek azonban nem csak a különböző tartalom az oka. Ha a web-en lévő oldalakat összekapcsoló linkeket élekek tekintjük, akkor megfigyelhető, hogy ezeknek van egy fajta iránya. Ez az jelenti, hogy az URL-ek mentén csak egy irányba járható. Az irányított linkek nagyban meghatározzák az interneten való „közlekedésünket”. Természetesen felvetődhet bárkiben a kérdés, hogy az irányítottság minden hálózatba megjelenik, vagy csak bizonyos hálózatokra jellemző. Azt már tudjuk, hogy az irányítottság szempontjából teljesen mindegy, hogy véletlen vagy skálafüggetlen hálózatról van szó. Az irányítottság vagy megtalálható az adott hálózatban vagy sem. Minden hálózat az alábbi ábrára tagolódik:



Egy irányított hálózat „kontinensei”

A MAG-ban lévő pontok mindegyike közvetlenül elérhető, bármelyik pontról. A BE kontinensben a linkek mentén mindig elérhetünk a MAG-ba, de a MAG-ból nem mehetünk vissza. A KI kontinens pontjai csak és kizárólag a MAG-ból érhető el. Az Indák csak az adott kontinenshez kapcsolódnak. A szigetek pedig olyan pontokat tartalmaznak, amelyek csak egymással állnak kapcsolatba a MAG-tól és a másik két kontinenstől teljesen elszigetelten. A szigethez tartozó pontok máshonnan nem elérhetőek.

Az irányítottság – mint a hálózatok egy jellemző tulajdonsága – hatással van a hálózatra. Az egyik legjelentősebb következménye az, hogy az internet nem homogén. Mivel a linkeknek vannak irányai, szintén a fenti kontinensekre esik szét. Egy kicsit részletezve ez azt jelenti, hogy azon oldalak, melyek a MAG részben találhatóak meg, közvetlenül elérhetők egy bármelyik MAG-ban lévő oldalról. Ez még akkor is igaz, ha a két website nincs egymással konkrét kapcsolatban, hiszen a MAG-ban mindig található egy olyan ösvény, amely két tetszőleges pont között útként szolgálhat. A BE ill. a KI kontinens városai között már bonyolultabb közlekedni. Mint a fenti ábra is mutatja, a BE pontjaiból átjuthatunk a MAG pontjaihoz, de visszafelé ez az út már nem lehetséges. Természetesen a KI oldalon is pontosan ugyanez a helyzet csak fordítva. A MAG elemeiből eljuthatunk KI elemeihez, de fordítva semmiképpen nem lehet közlekedni.

Természetesen léteznek szigetek is. Azok az oldalak vannak a legrosszabb helyzetben, amelyek csak ilyen elszigetelt részen találhatóak meg, mert innen nem lehet elérni a MAG-ot, és a MAG-ból sem lehet elérni a szigeten megtalálható oldalakat. Ha a kontinenseket közelebbről vizsgáljuk, akkor megláthatjuk, hogy valójában ezek a kontinensek is, mint a mi

valós világunk városokból és falvakból áll. A városokat, falvakat egymást átfedő közösségek hozzák létre, a közösségeket pedig azonos érdeklődésű, azonos hobbiival bíró emberek alkotják, kihasználva az ember egyik legalapvetőbb tulajdonságát, a közösség utáni vágyát.

2. A cél szentesíti az eszközt

Bárkiben felmerülhet a kérdés, hogy mindennek mi lehet a valódi haszna?

Két olyan területet szeretnék felhozni, ahol a szakdolgozatomban leírt modelleket, eredményeket felhasználják a kutatás eredményeit.

Mindig is célja volt az embernek, hogy a betegségeket leküzdje, legyen az megfázás, influenza, vagy esetleg rák. A gyógyításhoz elengedhetetlen magának a betegségeknek a megismerése. Hosszú ideig a veleszületett betegségeket egy gén meghibásodásnak tudták be. Napjainkban azonban arra jöttek rá, hogy a legtöbb betegség kialakulásáért nem egy darab gént okolhatunk, sokkal inkább a sejtek közötti bonyolult hálózatban együttműködő gének lehetnek a felelősek. A kutatók felismerték a hálózatok jelentőségét és ezt követően a betegségeket is, hálózatokban kezdték el vizsgálni. Erre had hozzak egy konkrét példát, amit Barabási Albert László Behálózva című könyvében olvastam.

Az egyik legtöbb halálos áldozatot követelő betegség a rák. Hosszú kutatások eredményeként arra jöttek rá a kutatók, hogy az ún. p53-as gén fehérjéje daganat-visszafejtő hatású. Ez a felfedezés mérföldkönek tekinthető. Az eredmények azonban azt mutatják, hogy nem volt elég ez a felfedezés. Annak az okát, hogy mi is valójában a rák titka, most kezdik megsejteni a tudósok. A válasz számunkra nem lehet meglepő. A sejtet skálafüggetlen hálózatnak tekintik, még hozzá olyannak, ahol a fehérjék egy kis része nagyon sok kapcsolattal bír, nagy része pedig csak néhányal. Mint minden skálafüggetlen hálózatnak, ennek is van gyenge pontja. Ez pedig jelen helyzetben szintén a középpontok sebezhetősége. Attól, ha kevés kapcsolattal rendelkező fehérjék közül egypár megsérül, nem fog maga a sejt kárt szenvedni. A p53 azonban egy központ. Így, ha azt éri támadás nem sok jóra lehet számítani. Megdöbbenő, hogy jelenleg a rákot kutató neves professzorok azt vizsgálják, hogyan védekezik az internet a hacker támadásokkal szemben. Tehát a rákkutatás és az internet vizsgálata között nagyon sok hasonlóság van. Jelenleg a p53 hálózatát tanulmányozzák, és reményeink szerint a folyamat végén sokkal közelebb kerülünk a rák gyógyításához.

A másik nagyon fontos terület a gazdaság.

A gazdaságot tekinthetjük hálózatként is. Ebben az esetben a hálózat csomópontjai a vállaltok, a közöttük lévő élek, pedig üzleti kapcsolatok. A gazdaság növekedésével párhuzamosan a hálózatunknak is növekednie kell. Mivel annyi új csomópont nem keletkezik amennyi a folyamatos növekedéshez szükséges lenne, a csomópontok „megtanulták megenni” a nálunknál kisebb csomópontokat.

A gazdaság másik nagyon fontos résztvevője a piac, ami egy igazi irányított hálózat.

Ebben a vásárlók és az eladók partnerek, nem pedig versenytársak.

A vállalatok között kapcsolatok tartják fent a hálózatot. Ha két kisebb cég között a kapcsolat valami miatt megsérül, vagy megszűnik, legtöbbször nem történik semmi, de az is lehet, hogy gazdasági válságot okozhat. Tudjuk, hogy ha a hálózat egy jól kiválasztott pontját mozdítjuk el, akkor a hálózat nagy kockázatnak lenne kitéve. Az elmúlt évtized gazdasági válságai arra hívják fel a figyelmet, hogy érdemes lehet a világszintű gazdálkodás hálózatként is vizsgáljuk. Nézzük meg, hogy mi milyen hatással lehet rá. A terjedő hibákat követni lehet. Figyelhetjük – és ez által - a szükséges pontokat megerősíthetjük, hogy ne következzen be a világra hatással lévő gazdasági válság. Úgy gondolom, hogy ha ez valóban így működött volna, akkor nem biztos, hogy a mai nap egyik legfontosabb kérdése az éppen kialakult gazdasági válság lenne. Véleményem szerint ezzel a két teljesen eltérő példával kellően hívom fel a figyelmet a hálózatok jelentőségére. Mivel az eddig elért eredmények nagy részét —sajnos vagy nem sajnós— javarészt fizikusok és matematikusok fedezték fel, lehetséges, hogy az informatika szakemberei által még jobban, és alaposabban megismerhetjük a bennünket körülvevő hálózatok csodálatosan izgalmas világát.

Befejezés

A XX. században minden az egyszerűsítésről szólt azért, hogy jobban megértsük a világunk működését. Az egyszerűsítés azonban nem vitt közelebb a megértéshez. A komplex rendszereket azonban olyan törvények irányítják amelyek nagyon hasonlóak. Az alapvető működési elvek megegyeznek. Ezen törvények megértéséhez szükséges a hálózatok megismerése. Ebben segítenek a gráfok, melynek részletes és alapos megértését Eulernek köszönhetjük. Euler után igen hosszú ideig csak a gráfelméletbe használták. Egészen addig kellett várni és Erdős Pál és Rényi Alfréd el nem kezdte a véletlen hálózatok eleméleteinek kidolgozását. A különböző hálózatokra alkalmazható modellt úgy valósították meg, hogy az eltéréseket figyelmen kívül hagyták. A csúcspontokat véletlenszerűen kapcsoljuk össze, így egy véletlen gráfot kapunk. Kiválasztottak két pontot és csak akkor kötötték őket össze, ha egy dobókockával hatost dobtak. Ha nem lett hatos, akkor másik párt kellett választani és az egészet előről kezdeni. A modell jellemzői, hogy minden pontnak ugyanannyi az esélye arra, hogy egy új élt szerezzen, valamint az, hogy minden pont átlagosan ugyanannyi másik ponttal áll kapcsolatba. Ez a két tulajdonság erőteljesen eltér a valódi hálózatoktól.

Ez a modell nagyon nagy előrelépés volt, azonban az idő elteltével rá kellett jönni, hogy nem modellezi megfelelően a bennünket körülvevő hálózatokat.

A felismert csoportképződés okozta az Erdős – Rényi modell vesztét, illetve egy újabb modell felfedezése hiszen lassan megindult az út egy sokkal jobb modell megismeréséhez. Rájöttek arra, hogy valójában a világunk nem is olyan hatalmas, hiszen nagyjából 6 lépés szükséges ahhoz, hogy bárkit elérjünk a világból. Az interneten átlagosan 19 kattintással eljuthatunk A oldalról Z oldalra. Megismertük Granovetter gyenge kapcsolatain alapuló elméletét. Ez a modell már közelebb állt a valósághoz, de azért mégsem volt tökéletes. Ezt követte a Watts – Strogatz modell, melyben minden pontnak 4 darab szomszédja van. A négy csópont között 3 él van. Tehát megfigyelhető a csoportképződés. Emellé a véletlenre bízva kiválasztunk egy pár pontot és azokat összekötöm, akkor a távolság sokkal kisebb lehet. Ezzel a lépéssel a kis világot ismét behoztuk a modellünkbe. A kutatások során azonban teljesen más topológiát fedeztek fel. Ez volt az összekötők és a csomópontok felfedezése, és ez okozta a Watts-Strogatz modell elvetését. Azonban e két tulajdonság felfedezése nyitott utat a skálafüggetlen modell megjelenésének. A skálafüggetlen hálózatokat két törvény határozza meg:

I. növekedés

II. népszerűségi kapcsolódás

A skálafüggetlen hálózatokra jellemzőek az alábbi tulajdonságok:

Azon hálózatokra, melyekre alkalmazható a skálafüggetlen modell érvényes a 80/20 szabály.

A kapcsolatok 80%-t a csomópontok 20%-a birtokolja.

Megfigyelték, hogyan hat az öregedés a csomópontokra. Egy bizonyos idő elteltével a csomópontok elveszítik a népszerűségüket, de hát egy bizonyos ponton túl már nem fognak növekedni.

Azonban a tulajdonságok vizsgálata során fel kellett ismerni, hogy minden csomópont rendelkezik egy speciális tulajdonsággal az alkalmassággal, aminek a figyelembe vételét nem lehet lehanyagolni. Eredményül létre jött az alkalmassági modell. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a skálafüggetlen hálózat modellt el kellene vetnünk. A bennünket körülvevő hálózatok egy részére az jellemző, hogy a gazdag egyre gazdagabb lesz egy másik részére az jellemző, hogy a győztes mindent visz. Az első a skálafüggetlen modell, a másik az alkalmassági modell hálózatai. Elmondhatjuk tehát, hogy minden alkalmassági modell skálafüggetlen is egyben, de nem minden skálafüggetlen modell alkalmassági modell is.

A vizsgálatok során megfigyelték, hogy ha a kevés kapcsolattal rendelkező pontokat távolítják el a hálózatból, attól az még működés képes lesz. Tehát az vírusokkal szemben ellenálló. Azonban ha a hálózatban konkrétan a középpontokat éri támadás – egy adott küszöbszám felett – a rendszer összeomlik. Ez azt jelenti, hogy a támadásokkal szemben azonban sebezhetőnek bizonyul a modell.

A szakdolgozatom során megvizsgáltuk az internetet is. Beláttuk, hogy valóban skálafüggetlen hálózat és mint ilyen a fenti tulajdonságok érvényes rá. Megtudtuk azt is, hogy az internetet összetartó linkek irányítottak. Az irányítottság miatt magyarázható az, hogy bizonyos weboldalak miért elszigeteltek, és miért lehet az, hogy A oldalról eljuthatunk B-re, de vissza már nem tudunk jutni.

Irodalomjegyzék

1. <http://www.mindentudas.hu/kalman/20041115kalman1.html?pIdx=9>
2. http://hu.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6nigsbergi_hidak
3. Barabási Albert – László: Behálózva 73. oldal
4. www.origo.hu/attached/20051010barabasi_ea.rtf (12. oldal)
5. <http://www.map-of-europe.us/images/map-europe.gif>
6. <http://www.airnewzealand.co.nz/before-you-fly/route-maps/international-routes/international-routes-europe.htm>
7. Barabási Albert – László: Behálózva 123. oldal
8. Barabási Albert – László: Behálózva 123. oldal
9. 8. Barabási Albert – László: Behálózva 123. oldal
10. http://hu.wikipedia.org/wiki/H%C3%A1ll%C3%B3zati_topol%C3%B3gia

<http://cograf.hu/lexikon/technika/mp3-lejatszok.html>

<http://www.piacprofit.hu/?s=32&n=23&mr=813>

http://hu.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein#Bose.E2.80.93Einstein-eloszl.C3.A1s

<http://www.mindentudas.hu/barabasialbertlaszlo/20051010barabasi.html>

<http://www.mindentudas.hu/magazin2/20051005barabasi.html>

<http://www.mindentudas.hu/csermelypeter/20050911csermely.html>

<http://www.epa.oszk.hu/00400/00458/00102/2005honap6cikk1001.htm>

<http://www.matud.iif.hu/06maj/10.html>