

Biológiailag inspirált önszerveződő hálózatok

BACSÁRDI LÁSZLÓ, VARGA ENDRE SÁNDOR, SIMON VILMOS

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék
{bacsardi, vendre, svilmos}@hit.bme.hu

Kulcsszavak: ad-hoc hálózatok, biológiai inspiráció, természetes szelekció, digitális város, információterjesztés, önszerveződő hálózatok

Az elmúlt években a vezetékek nélküli hálózatok kialakításában és működtetésében egyre inkább szerepet kapott az elosztottság és a decentralizáltság. Emiatt rendszeresen keresünk olyan megoldásokat, amelyek képesek alkalmazkodni a környezet változásaihoz, és amelyekben az információ terjedése központi irányítás nélkül történik. Mindezek mögött sok esetben biológiai eredetű elképzelések állnak, amelyek természetben már létező megoldások átültetése folytán kerülnek az informatika területére. Cikkünkben ezen biológiai ihletésű megoldásokról, illetve ezek konkrét alkalmazási területeiről adunk áttekintést.

1. Bevezetés

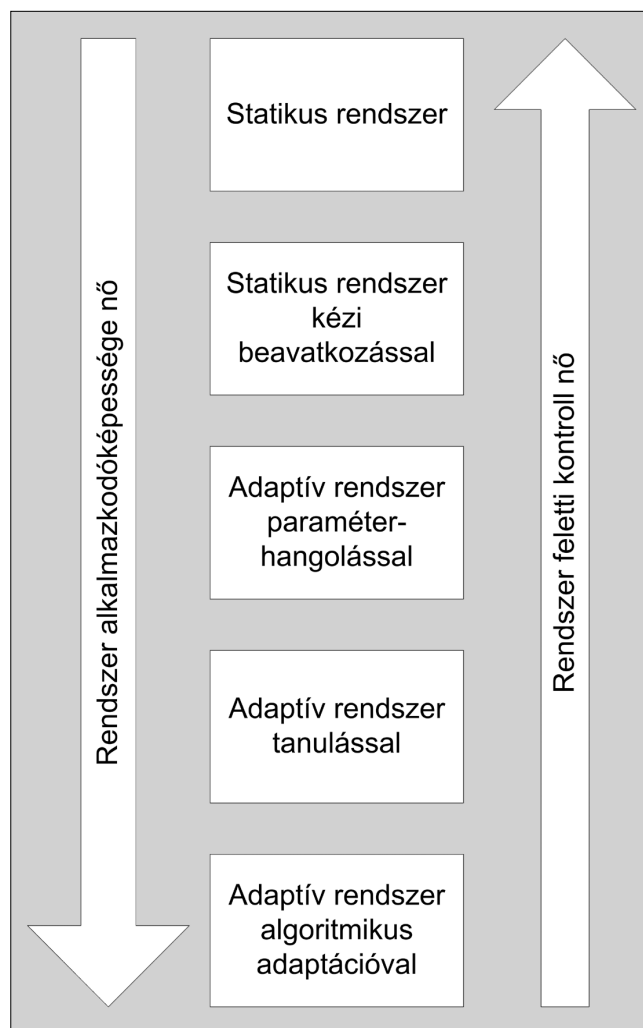
A napjainkban használatos vezetékek nélküli rendszerekben a kommunikáció általában bázisállomásokon, routereken, illetve átjárókon keresztül zajlik. De ahogy ez a környezet egyre komplexebbé válik, a hagyományos végpontok közötti kommunikációs megoldások már nem megfelelőek és felmerülhet azon igény, hogy az eszközök automatikusan végezzenek el bizonyos tevékenységeket, például lépjenek egymással közvetlenül kapcsolatba és osszák meg különböző információkat. Az ilyen, a skálázhatóság szempontjából problémás környezetek bonyolultsága megközelítheti a biológiai organizmusok és ökoszisztémák komplexitását. Az ilyen hálózatokban az információnak közvetlen emberi felügyelet nélkül kell terjednie, alkalmazkodva a környezeti ingerekhez és a felhasználói igényekhez, ráadásul a skálázhatóság szempontjait is figyelembe kell venni. Az információ terjedésére számos más követelmény és elvárás is vonatkozik, például jusson el minden érintett elemhez, ne legyen felesleges forgalmazás (ugyanazon résztvevők ne küldözgessék folyamatosan egymásnak ugyanazt az információt) és mindez elvárható időtartamon belül következzen be.

Amikor autonóm rendszereket említünk, egy olyan víziót látunk magunk előtt, amelyben a rendszerek néhány előre definiált szempont alapján menedzselik saját magukat. A folyamat lényege az *önszerveződés* (self-organization). A biológiai rendszerekhez hasonlóan az önszerveződő rendszerek alkalmazkodnak a változó környezethez, mint például processzorterhelés, csatorna-kapacitás, szolgáltatási igények vagy egyéb külső feltételek. Utóbbiak hardver-, illetve szoftverhibából, vagy akár egy rosszindulatú támadásból is eredhetnek. Egy ilyen rendszer akár arra is képes lehet, hogy folyamatosan ellenőrizze saját magát vagy rendszeresen frissítse különböző komponenseit.

Ez alapvető különbséget jelenet a hagyományos statikus rendszerekhez képest. A hálózat képessé válik ön-

maga menedzselésére, csökkentve az emberi beavatkozás szükségét. Ugyanakkor a rendszer szabadsági foka is megnő, ezáltal nehezítve annak modellezését, viselkedésének előrejelzését (1. ábra).

1. ábra
Adaptív rendszerek tervezése – az adaptivitás fokai



2. Kihívások

Az önszerveződő hálózatok témakörében számos fontos kihívásra kell választ adni. Néhányat emelnénk ki ezekből:

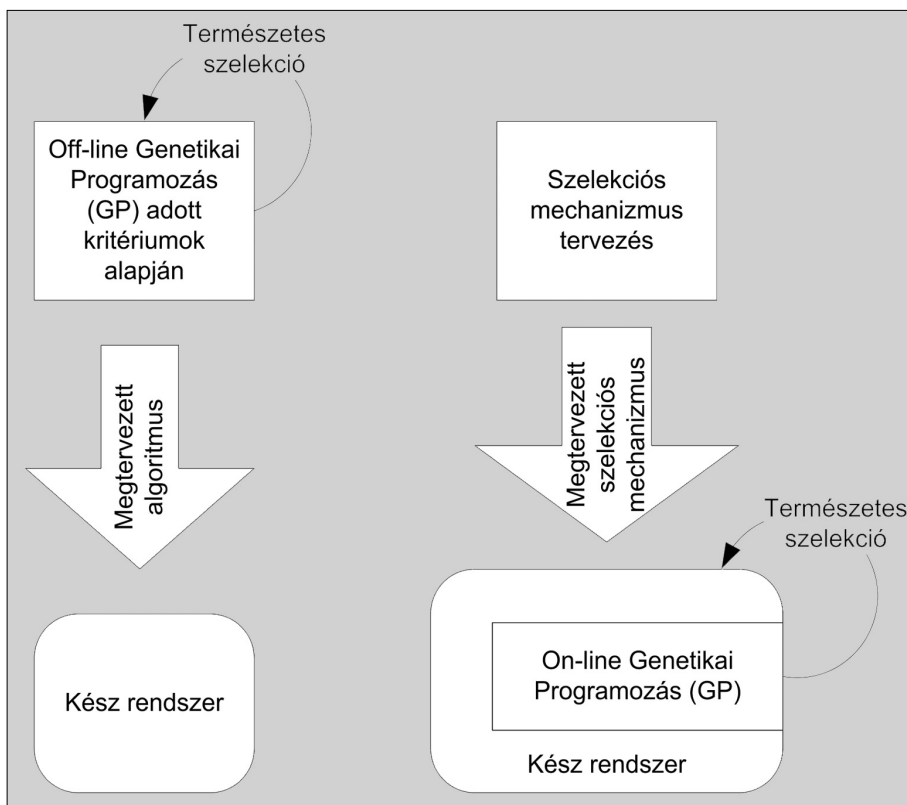
Skálázhatóság: A rendszerben lévő eszközök száma nem feltétlenül ismert, sőt, általában a rendszer egy-egy eleme csak a saját lokális környezetét ismeri. Működni kell a hálózatnak abban az esetben is, ha csak kevés eszköz érhető el, és akkor is, ha egyszerre nagyon sok eszköz helyezkedik el nagyon kicsiny területen. A hálózatnak kezelnie kell az új kommunikációs eszközök megjelenését illetve leválását.

Megbízhatóság: Egyértelmű, hogy ha a hálózatunk nem megbízható, akkor nem feltétlenül fogják igénybe venni. A hálózatban terjedő információknak megbízhatóknak kell lenniük. Ha a hálózatba nem megbízható információ kerül, akkor a csomópontoknak képesnek kell lenniük arra, hogy valamilyen módszer alapján kiszűrjék a téves adatokat. Vagy ha ez nem lehetséges, akkor a hálózatnak magának kell arra törekednie, hogy a meg nem erősített információk ne terjedjenek el. Mindezt ráadásul úgy kell megvalósítani, hogy nincsen központi irányítás.

Gyors információterjesztés: A hálózatban gyorsan és hatékonyan kell lezajlani az információterjesztésnek.

Elévülési idő kezelése: Bizonyos típusú hálózatokban az információ gyorsan elévülhet, ezért biztosítani kell, hogy a fontos információ hamar eljusson a rendszer megfelelő csomópontjaihoz. A már elévült információt pedig nem szabad továbbterjeszteni.

2. ábra Genetikai algoritmusok (online vagy offline)



3. Természet inspirálta alkalmazások

3.1. Genetikus algoritmusok

1975-ben John Holland javasolt a természetes kiválasztódás elvére épülő adaptív lágy számítási módszereket a keresési és optimalizálási feladatok megoldására. Ezek az algoritmusok olyan biológiai folyamatokat modelleznek, mint a kiválasztódás, a mutáció, a rekombináció, a migráció, a lokalizáció vagy a szomszédság. Az algoritmusok egyik lényeges jellemzője a belső párhuzamosság. A futás során egyszerre több (egész populációnyi) megoldási lehetőség kerül kiértékelésre, amíg egy új generáció kialakul. A biológiai élővilágban is egyedek ezrei, milliói léteznek párhuzamosan egy-egy populációban. A genetikus algoritmusokon alapuló megoldások bizonytalan és pontatlan környezetben is jól alkalmazhatóak [1].

Genetikus algoritmusokat tradicionálisan a tervezési szakaszban használnak, adott paraméterek optimalizálására, illetve hatékony algoritmusok előállítására. Az így kapott megoldások ezután a kész rendszerben statikusan kerülnek felhasználásra. Ez a megközelítés azonban nem kielégítő adaptív rendszerek létrehozására. A megoldást az úgynevezett „on-line” genetikai algoritmusok használata jelenti, ami azt jelenti, hogy a természetes szelekció folyamatát nem a tervezési szakaszban, hanem a kész rendszerben alkalmazzuk (2. ábra).

3.2. Kémiai programozás

A természetből vett példán alapul a kémiai programozás is. Az informatikai adatokat egy kémiai metaforán keresztül összekapcsolhatjuk a kémiai világgal: az adatokat, illetve feldolgozásuk programját molekulákkal modellezzük, az azokkal elvégzett műveleteket pedig kémiai reakciókként definiáljuk. A program végrehajtása során kicseréljük a reakció feltételeit kielégítő elemeket olyanokkal, amelyeket az akció definiál. A program akkor futott le, ha elért egy stabil állapotot, vagyis amikor már nem történik több reakció.

A kémiai programozás jól alkalmazható az önszerveződő hálózatok megközelítésében, hiszen ebben az esetben olyan kooperatív komponensekről beszélhetünk, amelyek szabadon fejlődnek néhány előre definiált megkötés szerint (reakciósabályok). Ha több reakció is végrehajtható egy adott állapotban, akkor a megfelelő molekulák koncentrációja alapján véletlen sorsolással döntünk, melyik akció fog végrehajtódni. A kémiai programokban szabadon keverednek adat- és programelemek, így kivételesen alkal-

masak a genetikai programozás megvalósítására [2]. A 3. ábrán látható egy példa a lehetséges reakciós szabályokra.

Megfelelő időzítési szabályokat alkalmazva a kémiai reakciók differenciálegyenletekkel elemezhetővé válnak. Ez azt jelenti, hogy a biokémia eredményeinek jelentős része a kémiai programnyelvre is alkalmazhatóvá válik.

Megemlítjük még, hogy a végrehajtás sztochasztikus jellege, illetve a „puha”, koncentrációkon alapuló végrehajtási szabályok robusztus vezérlési algoritmusok létrehozását teszik lehetővé [3].

3.3. Társadalmi hálózatok

Amikor arról beszélünk, milyen hatással van a biológia az önszerveződő hálózatokra, emberi társadalmunk hálózatát is érdemes figyelembe venni. Egyrészt azt, hogy ismeretlen emberek nincsenek annyira távol egymástól, amekkora távolságot először feltételeznének. Egy véletlenszerűen átadott információ is hamar eljuthat az ismeretlen, ám az információ iránt érdeklődő címzetthez. Stanley Milgram amerikai szociálpszichológus 1967-ben 300 véletlenszerű amerikai állampolgárt kért meg arra, hogy ismerőseiken keresztül juttassanak el egy küldeményt egy általuk ismeretlen emberhez [4]. A 292 levélből 242 ugyan nem érkezett meg a célhoz, mert a résztvevők egyszerűen nem továbbították a küldeményt. De 64 célba ért, és Milgramék arra jutottak, hogy két találmányra kiválasztott amerikai állampolgárt átlagosan 5,5 lépés választ el egymástól. Érdekesség, hogy Karinty Frigyes már egy 1929-es novellájában hasonló kísérletről (és hasonló eredményről) ír [5]. (A napjainkban igen népszerű iWiW eredetileg hasonló kérdés modellezésére jött létre.)

De a társadalmi kapcsolatok ennél konkrétan is befolyásolják a vezetékek nélküli eszközeink működését. Gondoljunk csak a mindennapjainkra! Egy átlagos munkanapon (és egy átlagos munkahelyen) a nap egy kis részében (ez a munkába menetel) rövid idő alatt nagyon sokat mozogva sok emberrel kerülünk kapcsolatba. Utána a munkahelyünkön hosszabb időt töltünk ugyanazon a helyen, majd a munkaidő végén ismét sok

ember mellett haladunk el. Társadalmi kapcsolataink, társadalmi eseményeink befolyásolják az általunk használt eszközök sűrűségét, lefedettségét.

4. Biológiai inspirálású megoldások

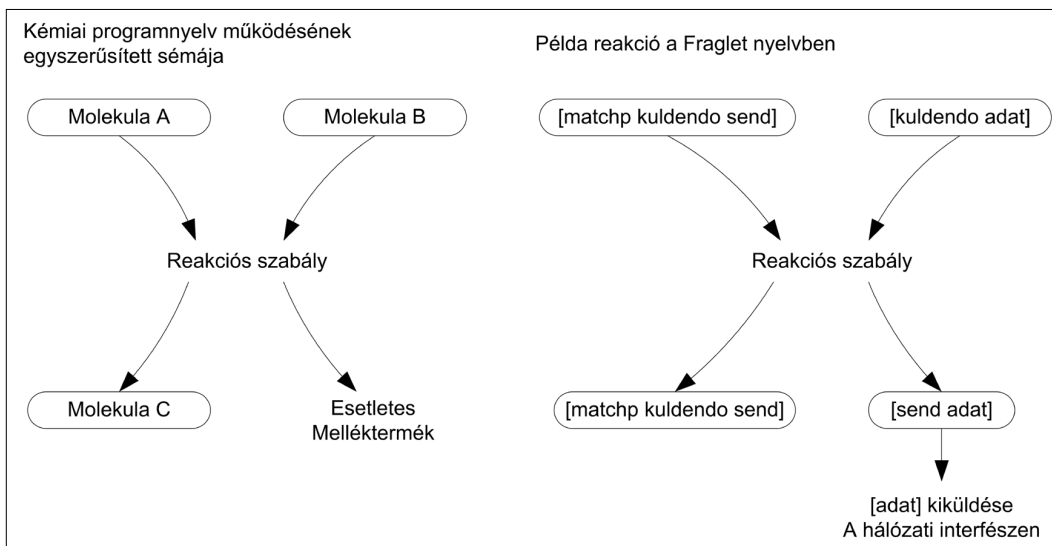
Milyen megoldásokat tudunk elképzelni a fenn vázolt problémákra? A paletta széles, mi csak néhányat szeretnénk kiemelni.

4.1. Hangyaboly optimalizálás (Ant colony optimization)

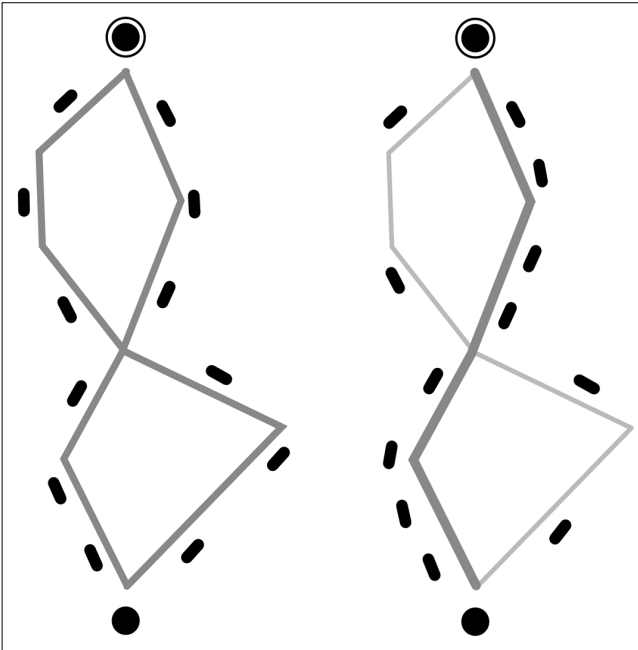
Gyakran merül fel mérnöki alkalmazásokban megoldandó problémaként egy gráf csomópontjai között a legrövidebb út megkeresése. Míg az alaproblémára jól ismert eljárások léteznek, a gyakorlatban ezek nem alkalmazhatók direkt módon, vagy csak megfelelő módosításokkal. Az egyik legfontosabb korlátozó tényező általában az, hogy maga a gráf nem ismert, ami nehézséget jelent elosztott hálózatokban az útvonalválasztási algoritmusok tervezésénél. A kézenfekvő mérnöki megoldás az, hogy a hálózati csomópontok egymással üzeneteket váltanak és igyekeznek meghatározni – lokálisan, vagy globálisan – a hálózat struktúráját.

A természetben ugyanakkor ennél sokkal izgalmasabb megoldásokat is találhatunk. A legrövidebb út megkeresése elemi fontosságú egy hangyaboly működése során, hiszen nem mindegy, hogy a talált táplálékforráshoz mennyi idő alatt jutnak el a dolgozók. Egy rövidebb út csökkenti a hangyák táplálékfelhasználását (kevesebb munka), ugyanakkor felgyorsítja a táplálék „betakarítását”, így csökken az esélye, hogy azt közben más élőlények – akár más hangyák – felhasználják. Az érdekesség az, hogy a boly tagjai ezt elosztottan oldják meg, központi beavatkozás (például királynő) nélkül. Nincsen „tábla” amire „felírnák” az eddigi tapasztalataikat, valójában nincs is erre alkalmas komplex idegrendszerük.

Hogyan képesek mégis megoldani az útvonaloptimalizálás feladatát? Nyilvánvaló, hogy valamilyen rendkívül egyszerű, lokális kommunikáción alapuló szabályrendszer szükséges hozzá, hiszen a dolgozók mind kommu-



3. ábra
Reakciók a kémiai programozásban – a példában a [matchp kuldendo send] molekula minden olyan molekulával reakcióba lép, amelynek „kuldendo” az első eleme (atomja). A létrejövő molekula az „elkuldendo” előtag helyett a „send” előtagot kapja meg, mely molekula azután »lebomlik«, kiküldve a molekula maradék részét a hálózaton.



4. ábra Ant routing

nikációs képességeikben, mint feldolgozó képességeikben korlátozottak. Az útválasztás szabálya leegyszerűsítve a következő: Minden dolgozó, a táplálékforrástól hazatérve feromonnyomot hagy, ezzel jelezve a táplálék irányát, amit a többi hangya valamilyen valószínűséggel követ. A dolgozók általában több útvonalon is megtalálják a táplálékot, illetve a nyomok által jelölt útról is néha letérnek egyes egyedek. A feromon ugyanakkor idővel elpárolog, lebomlik.

A rövidebb utakon ugyanannyi hangya rövidebb idő alatt halad át, így időegységre vetítve többször tehetik meg a távot, mintha a hosszabb utat választanák. Ez nem jelent mást a gyakorlatban, mint hogy a rövidebb út feromonnyoma idővel erősebb lesz, mint a hosszabbé, hiszen az út egy szakaszán jóval gyakrabban hagy-

nak feromonnyomot a hangyák, mint a hosszabbon. Amikor egy dolgozó két feromonnyom közül választ, figyelembe veszi azok erősségét is, a koncentráltabbat választva nagyobb valószínűséggel.

Ez a három tulajdonság, miszerint egy úthosszegységre a rövidebb utak esetében nagyobb feromonbevitel jut, hogy a feromonok valamilyen sebességgel lebomlanak, végül, hogy a dolgozók az erősebb feromonnyomot előnyben részesítik, azt eredményezi, hogy a boly idővel a legrövidebb úton fogja a táplálékforrást megközelíteni. Ezt a folyamatot szemlélteti a 4. ábra.

Nem nehéz a hangyák és a táplálékforrás, illetve a hálózati csomagok és hálózati végpontok közötti hasonlóságot felismerni. Ezt az elvet használja fel az „ant routing” ami egy útvonalválasztó protokoll [6].

4.2. Természetes szelekció többugrásos elárasztásos (multi-hop broadcast) algoritmusokra

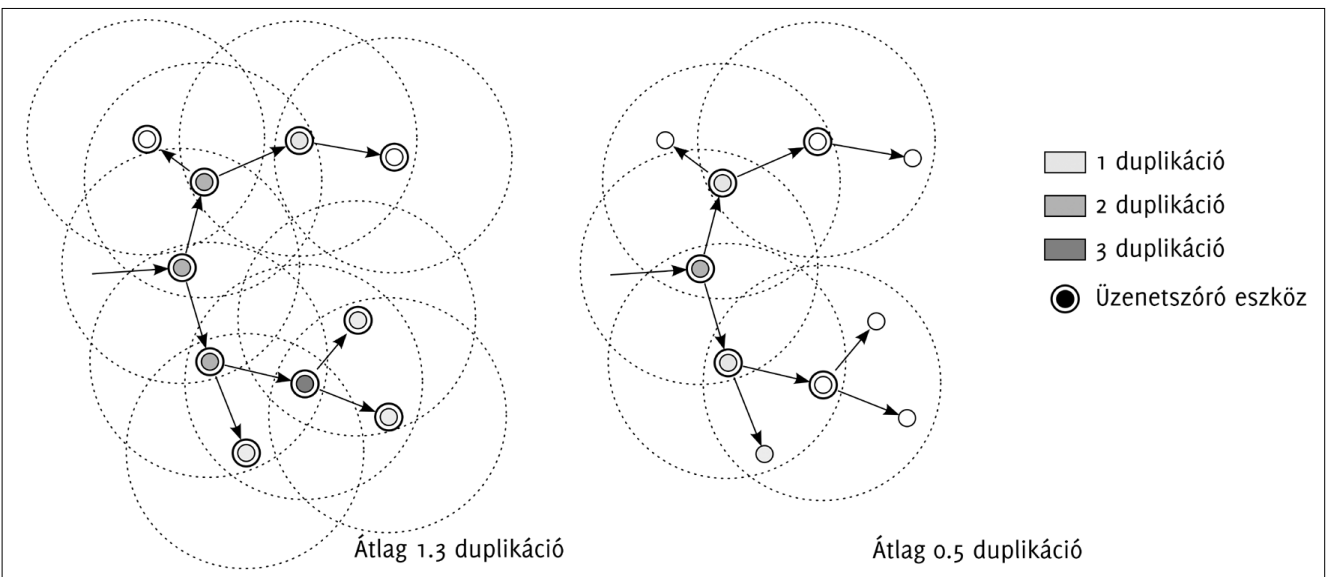
Mobil ad hoc hálózatokban gyakran fordul elő, hogy egy üzenetet az összes, vagy a lehető legtöbb résztvevőnek el kell juttatni; ezt hívják multi-hop broadcastnak, a „multi-hop” előtaggal jelezve, hogy nem csak a közvetlenül elérhető (rádiós távolságban található) eszközöket szeretnék elérni, hanem a több ugrásra – „hop”-ra – levőket is [7]. Naiv megoldásként felvethető, hogy minden eszköz ismétlje meg az üzenetet, amelyet legutoljára hallott. Így nyilván előbb-utóbb egyre több eszköz fogja a megadott csomagot sugározni, majd végül az elér minden eszközt. Sajnos ez a megoldás nemcsak pazarló, de a gyakorlatban nem is működik.

Tegyük fel, hogy egy eszköz elküldi az üzenetét öt szomszédjának, akik azt még nem hallották. Ezután ez az öt szomszéd *mind* megpróbálja továbbítani azt, ráadásul *majdnem egyszerre*, ezzel gyakorlatilag teljesen leterhelve a csatornát. Egy hasonló szituációt mutat be az 5. ábra is.

A szakirodalom ezt a jelenséget „broadcast-storm”-nak, vagyis üzenetszórás-viharnak nevezi. A gyakorlat-

5. ábra

Az üzenetszórás optimalizálásának problémája – nem érdemes minden eszköznek elismételni minden kapott üzenetet.



ban használt megoldások ezt különbözőképpen orvosolják, amely részleteit itt nem tárgyalnánk. Sokkal érdekesebb ezeknek a megoldásoknak a *sokszínűsége*. Több kutatás is igazolta, hogy ezeknek a protokolloknak a teljesítménye erősen függ a hálózat tulajdonságaitól. Nem mindegy, milyen sebességgel haladnak az eszközök, korrelált-e a mozgás, vagyis az eszközök (illetve az őket hordozó felhasználók) gyakran mozognak-e csoportokban, milyen sűrűn vannak, de további szempontokat is figyelembe lehet venni. Sajnos a gyakorlatban a hálózat ráadásul mind térben, mind időben is heterogén.

Egy mindenre kiterjedő optimális megoldás keresése helyett érdemes lehet egy olyan rendszert tervezni, amely „behangozza” magát az éppen adott hálózati körülményekhez. Szeretnénk, ha ez a rendszer nem valamilyen statikus, előre megtervezett szabályok szerint működne, hanem teljesen dinamikusan változtatná az alkalmazott protokollt. Hogyan lehetséges ez? Jó hír az, hogy a gyakorlatban használt protokollok többsége nem túl bonyolult, főként heurisztikákon alapul. Még reménykeltőbb az az eredmény, hogy a legtöbb ember által tervezett algoritmust eddig sikeresen közelítették egyszerű döntési fával. A kísérlet során megfigyelték a protokollok működését és feljegyezték, hogy azok milyen esetekben döntöttek küldés mellett. Ezt az adatsort elemezték döntésifa-tanulással és kiderült, hogy a legnépszerűbb algoritmusok is jól közelíthetőek pár egyszerű utasítással. Könnyen elképzelhető tehát, hogy egy adaptív rendszer pár heurisztika ügyes kombinálásával hatékonyan optimalizálhatja az üzenetküldést [8].

Egy ilyen rendszerben a fő kihívás, hogy honnan szerezzünk jó heurisztikákat és hogyan válasszunk közülük adaptívan. Az evolúció egy természetes megoldás: új megoldások létrejöhetnek mutációk és keresztezések során, a természetes szelekció pedig gondoskodik arról, hogy csak a megfelelőek szaporodjanak és maradjanak életben. Míg mutációk és keresztezett egyedek létrehozása egy elosztott környezetben is könnyen meg-

tehető, addig a természetes szelekció megvalósítása kihívást jelent. Honnan tudjuk, melyik algoritmus volt jó?

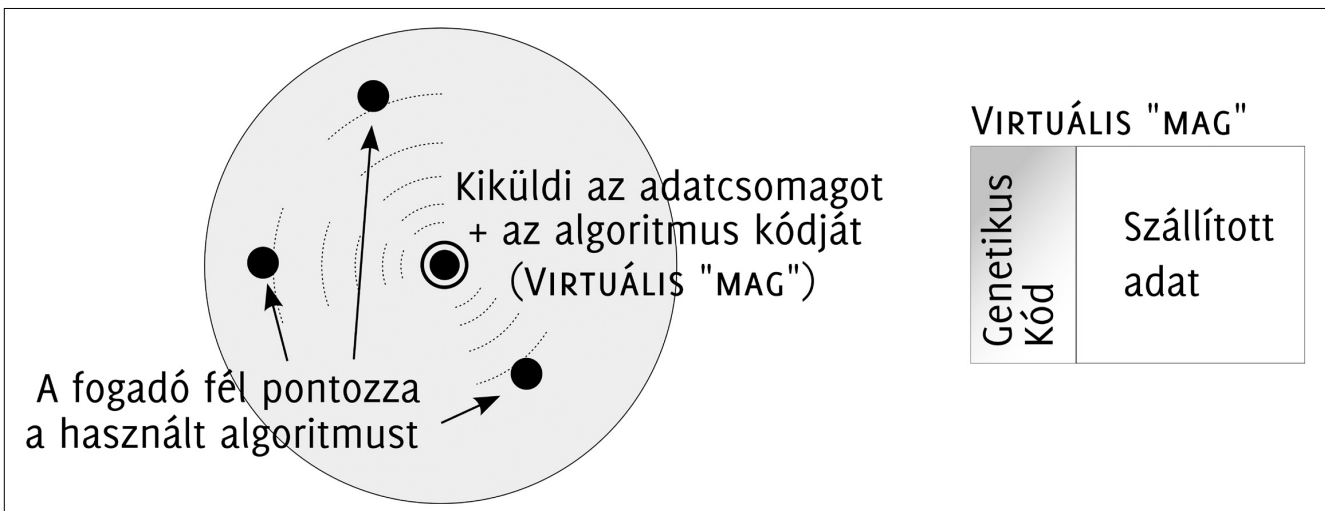
A probléma természeténél fogva aszimmetrikus: a küldő algoritmus teljesítményére vagyunk kíváncsiak, ugyanakkor a fogadó felek azok, amelyek együttműködve ezt meg tudják ítélni. A hagyományos megoldás az lehetne, hogy a fogadó felek visszaküldik tapasztalataikat a küldőnek, így az megbecsülheti az algoritmus hatékonyságát. Ezek után a küldő kiküldené a mért teljesítményadatokat szomszédjainak, hogy azok is figyelembe vehessék új algoritmus választása során. Sajnos ez elég sok fölösleges üzenetváltást jelent, ami ráadásul nem is megbízható nyugtázás nélkül, ami csak még tovább növelné a hálózati terhelést.

Vegyük észre a hasonlóságot a hangyák útkeresési eljárásával, amelyről az előzőekben írtunk. Ott nem volt szükség semmilyen teljesítménymérték átadására a kommunikáló hangyák között, maga a probléma természete lehetővé tett egyszerűbb megoldást is. Gondoljuk végig, mit jelent a természetes szelekció. A hatékony egyedek nagyobb esélyt kapnak a szaporodásra, míg a gyengébbek kevesebbet. Mitől hatékony egy üzenet-szórás algoritmus? Ha időegység alatt minél több hasznos üzenetet juttat el a lehető legtöbb eszköznek (amit már másodszor hallunk, az már nem számít hasznos üzenetnek: csak az újdonságok érdekelnek minket). Innen már nem jelent nagy gondolati ugrást, hogy magát az üzenetküldést tegyük szaporodási lehetőséggé.

Képzeljük el, hogy minden eszközben futó algoritmus genetikai kódját hozzáillesztjük az összes tőle származó üzenethez. A kapott konstrukció egyfajta „mag”, amiből egy új algoritmusgyed születhet (6. ábra). A fogadó eszközök begyűjtik a hasznos üzenetekhez tartozó „magokat” és azok közül választanak algoritmust a saját készülékükre. Nincsen közvetlen visszacsatolás a küldő és fogadó között. Amelyik protokoll hatékonyabban terjeszti saját magjait (amik hasznos üzenetként érkeznek meg!), az hatékonyabban szaporodik és az adott területen hamar domináns faj lesz.

6. ábra

A kiküldött üzenetek egyben a küldő algoritmus kódját is tartalmazzák, ezáltal a fogadó eszközök felismerhetik a jól teljesítő algoritmusokat és abból kiválaszthatják a jövőben használni kívánt egyedeket.



Mi akadályozza meg, hogy az egyedek bajt csináljanak? Gondoljunk egy olyan algoritmusra, ami folyamatosan, megszakítás nélkül küldi ki saját üzeneteit, ezzel nem hagyva más egyedeknek esélyt az üzenetküldésre. Hogyan lehet ezt megakadályozni?

A mérnöki intuíciónk azt mondatja velünk, hogy adjunk valamilyen negatív pontot a fölösleges csatorna-használatért. Sajnos ezzel visszatérnénk a kiindulópont-ra, hiszen ekkor a küldőnek értesítenie kellene a szomszédjait a mérésekről, ami problematikus. Ennél elegánsabb megoldás, ha egyszerűen korlátos erőforrássá tesszük a csatornát az algoritmus számára. Minden egyed csak véges számú üzenetet küldhet – ha ezt a keretet kimeríti, elpusztul. Ha egy egyed elpazarolja ezeket az üzeneteket, anélkül, hogy végiggondolná, mikor van valaki, akinek hasznos üzenetet lehet küldeni, az nem szaporodik hatékonyan. Jobb kívárni, mikor érdemes üzenetet küldeni, mint értelmetlenül elszórni őket. Hasonlóan szabadulhatunk meg a „lusta” algoritmusoktól, amelyek nem küldenek egy üzenetet sem. Mivel ezek nem küldenek ki semmit, keretüket sem merítik ki, tehát nem pusztulnak el. Tegyük hát az időt is korlátos erőforrássá! Egy adott idő lejártá után minden algoritmus elpusztul, függetlenül a kiküldött üzenetek számától, így az egyedek igyekeznek ezt az időt hatékonyan kihasználni.

Látható, hogy mindenféle bonyolult mérés és pontozás nélkül tervezhető olyan rendszer, amely képes a hatékony algoritmusok kiválasztására, bármilyen központi felügyelet nélkül.

5. Alkalmazási területek

5.1. Digitális város (Digital city)

A társadalmi hálózatokat továbbgondolva eljuthatunk egy konkrét alkalmazási területig is, a digitális város elképzelésig. Egy városban az emberek mozgása és cselekedete olyan információkon alapul, amelyek a legtöbb esetben nincsenek szinkronizálva azzal az idővel és hellyel, ahol ténylegesen meghozzák a döntéseket. Erre egy példa az alábbi: megérkezve a repülőtérre megtudjuk, hogy a repülő késik. Mennyivel másabb lenne, ha ezzel az információval már akkor rendelkezniük, miközben kétségbeesetten várakozunk a közlekedési dugóban a repülőtér felé tartva [9].

A városokban egyre több szenzor és különböző kicsi digitális eszköz van, amelyek figyelik a környezetet és különböző szolgáltatásokat állítanak elő. Adatokat gyűjtenek és információkat szolgáltatnak különböző területeken (például helymeghatározás, forgalominformáció, légszennyezés, kulturális intézmények, események stb.). Mindezek számos mobil eszközzel (mobiltelefon, PDA, laptop, digitális fényképezőgépek, zenelejátszók stb.) egészülnek ki.

Különböző típusú információkat oszthatunk meg egy ilyen hálózaton, például turistáknak szólókat (étterem-értékelésektől kezdve közlekedési információkig), vagy akár katasztrófavédelmi utasításokat, például földrendés esetén.

A digitális városban nagyon sok olyan személy közlekedik – többé-kevésbé meghatározatlan módon –, amelyek különböző forrású típusú és típusú dinamikus információval rendelkeznek. Az embereknél lévő különböző, erre alkalmas készülékek egymás között terjesztik ezeket az információkat. Ennek segítségével egyes csomópontokban valós idejű adatok állnak rendelkezésre. Ezek az információk lehetővé teszik a város lakói számára, hogy jobb és a valós helyzetekkel jobban összefüggő döntéseket hozhassanak.

Az önszerveződő hálózat menedzselheti saját magát és döntéseket hozhat abból a sok-sok különböző adatból, amely rendelkezésre áll.

5.2. További alkalmazási lehetőségek

A fentiekén túl számos konkrét alkalmazási területet említhetünk még. Az egyik az út jegesedésének a mérése. Helyezzünk el az utakra sok, nagyon olcsó szenzort, amelyek aktív vagy passzív módon működve mérési adatokat továbbítanak az út jegesedési állapotáról az adott pontban. Ezek az olcsó szenzorok nagyon egyszerű felépítésűek és nem rendelkeznek teljes hálózati stack-vel, viszont éppen emiatt egyszerűbbek, olcsóbbak, sokat el lehet helyezni belőlük, nagy számuk miatt pedig pontosabb mérési eredményekkel szolgálnak. A mozgó járműben lévő mobil eszközünkkel hozzájutunk ezekhez az információkhoz és automatikusan meg tudjuk osztani a szembejövő gépjárművekkel, amennyiben kíváncsiak rá. Miután ők is tovább tudják terjeszteni ezt az információt, így a mérési adat nagyon gyorsan elterjedhet.

Hasonló módon helyezhetünk el olyan szenzorokat egy város parkolóhelyein, amelyek azt mérik, hogy szabad-e az adott hely vagy sem. A mozgó gépjárművekből ezeket az információkat kiolvastva azt el tudjuk terjeszteni a hálózatot alkotó többi gépjármű között. Mennyivel egyszerűbb előre megtudnunk, hova tudunk parkolni. Ugyanakkor az az információ, hogy például Budapesten a Műegyetem központi épülete előtt van egy szabad parkolóhely, nem sokáig releváns, kiváltképpen a reggeli munkakezdés idején. Ezért olyan információterjesztési módszerekre van szükség, amelyek az információt gyorsan terjesztik el az adott környéken, azonban messzebb terjedni már nem engedik, így bizonyos idő után aktualitását veszítetté teszik.

Hasonló megoldások használata a jelenleg centralizáltan működő úrtávközlésben is megfontolandó.

5.3. Európai projektek

Több nagy európai uniós projekt is kutat olyan hálózati megoldások után, amelyeket valamilyen szinten biológiai inspiráció hatott át. Habár ezek különböző, a 6-os és 7-es keretprogramba tartozó projektek, mindegyikükben közös, hogy decentralizált hálózatban keresnek olyan önszerveződő megoldásokat, amelyek skálázhatóak és alkalmazkodnak a környezet változásaihoz. 2006-ban indult a négy éves BIONETS projekt (BIologically inspired NETwork and Services), 2006-2008 között tartott a CASCADAS (Component-ware for Autonomic, Situ-

ation-aware Communications, And Dynamically Adaptable Services), de ilyen tématerülettel foglalkozik a 2011-ig tartó hároméves európai BISON (Bisociation Networks for Creative Information Discovery), a DELIS (Dynamically Evolving Large-scale Information Systems) vagy a RESERVOIR (Resources and Services Virtualization without Barriers).

6. Összefoglalás

A technikai civilizáció rövid időszaka alatt számos alkalommal tanultunk a természettől és alkalmaztuk a természet „hagyományos” megoldásait a technika számos területén. A fentiekben bemutatott, biológia által inspirált megoldások hasznos eszközök lehetnek mindennapjainak és a közeljövő infokommunikációs hálózataiban. Meglátásunk szerint az ilyen jellegű megoldásokra érdemes lesz odafigyelni. Különösen jelentős alkalmazásaik lehetnek a jövő Internetjében, a vezeték nélküli grid hálózatokban, illetve a számítási felhőkben.

Köszönetnyilvánítás

A cikk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem HSN Laboratóriuma részleges támogatásával készült (<http://www.hsnlab.hu>).

Irodalom

- [1] Álmos Attila, Győri Sándor, Horváth Gábor, Várkonyiné Kóczy Annamária, Genetikus algoritmusok, Typotex Kiadó, 2002.
- [2] J.-P. Banâtre, P. Fradet, Y. Radenac, Chemical Programming of Self-Organizing Systems, ERCIM News 64, January, 2006.
- [3] J.-P. Banâtre, P. Fradet, Y. Radenac, Higher-Order Chemical Programming Style. In Proceedings of the Workshop on Unconventional Programming Paradigms (UPP'04), LNCS 3566. Springer-Verlag.
- [4] S. Milgram, J. Stanley, An Experimental Study of the Small World Problem. Sociometry, Vol. 32, No.4, 1969, pp.425–443.
- [5] Karinthy Frigyes, Minden másképpen van (Ötvenkét vasárnap). Athenaeum Irodalmi és Nyomdai Rt., Budapest, 1929.
- [6] S.S. Dhillon, X. Arbona, P. Van Mieghem, „Ant Routing in Mobile Ad Hoc Networks,” International Conference on Networking and Services (ICNS '07), June 19-25, 2007, pp.67.
- [7] A. El Fawal, J. Le Boudec, K. Salamatian, Multi-hop Broadcast from Theory to Reality: Practical Design for Ad Hoc Networks, 1st International Conference on Autonomic Computing and Communication Systems, Rome, Italy, October 28-30, 2007.

- [8] V. Simon, L. Bacsardi, M. Bérces, E. Varga, T. Csvarics, S. Szabó, S. Imre, Overhead Reducing Information Dissemination Strategies for Opportunistic Communications, IFIP/IEEE MWCN 2007, ISBN 978-1-4244-1719-3, Cork, Ireland, September 19-21, 2007, pp.171–175.
- [9] Silvia Elaluf-Calderwood (Ed.), Economics for BIONETS Business Models, Deliverable D3.3.2, January 10, 2009.

Néhány, a témával foglalkozó európai projekt honlapja:

<http://www.bionets.eu/>
<http://www.bisonet.eu/>
<http://www.cascadas-project.org/>
<http://delis.upb.de/>
<http://www.reservoir-fp7.eu/>

A szerzőkről



BACSÁRDI LÁSZLÓ 1982-ben született Sopronban. 2006-ban okleveles mérnök-informatikus diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Híradástechnikai Tanszékén. Jelenleg doktoranduszként vesz részt a tanszéken folyó oktatási és kutatási feladatokban. Kutatási területei közé a kvantumkommunikáción alapuló távközlés és az ad-hoc hálózatokban zajló információterjesztés tartoznak.



VARGA ENDRE SÁNDOR 1983-ban született Pécsen. 2007-ben okleveles mérnök-informatikus diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán, jelenleg a Híradástechnikai Tanszék doktorandusza. Fő kutatási területei a mobil ad-hoc hálózatok (MANET) valamint a biológiailag inspirált algoritmusok a távközlésben.



SIMON VILMOS 1979-ben született Újvidéken. 2003-ban okleveles villamosmérnök diplomát szerzett a BME Híradástechnikai Tanszékén, ahol a következő három év során doktoranduszi tanulmányokat folytatott. Jelenleg doktorjelölt, disszertációját mobilis kezelési eljárások optimalizációjából, valamint biológiailag inspirált információterjesztési algoritmusok vizsgálatából írta. A Híradástechnikai Tanszék oktatási és kutatási tevékenységét egyetemi tanársegédként segíti.