

Alkalmazások terjedésének vizsgálata mobil ad hoc hálózatokban

Horváth Ádám, Farkas Károly

Nyugat-magyarországi Egyetem; [horvath, farkas]@inf.nyme.hu

Kivonat: Bár napjainkban az információterjedés vizsgálata telekommunikációs hálózatokban népszerű kutatási terület, az alkalmazások ad hoc hálózatok segítségével való terjedésének vizsgálata eddig nem kapott kellő figyelmet. Jelen munkánk során a zárt sorbanállási hálózatok használatára teszünk javaslatot az alkalmazások ad hoc hálózatok segítségével való terjedésének modellezésére, figyelembe véve a felhasználók viselkedését is.

Kulcsszavak: alkalmazások terjedése, mobil ad hoc hálózatok, modellezés.

1. Bevezetés

Az alkalmazások terjedésének tulajdonságait nemcsak technikai, hanem gazdasági szempontok miatt is fontos ismernünk. Az alkalmazás értékesítőjének tudnia kell, hány darab értékesíthető az alkalmazás szoftveréből egy adott populáción belül, mikor szűnik meg az érdeklődés az alkalmazás felé, milyen tényezők és hogyan befolyásolják annak terjedését.

Az alkalmazások terjesztése hagyományosan egy központi árusító hely, pl. webáruház segítségével történik. A felhasználók az Interneten böngészve válogathatnak a különböző alkalmazások között, és meg is tudják vásárolni azokat. Léteznek azonban új kommunikációs eljárások, melyek elterjedése kihathat az alkalmazások terjedésére is. A mobil eszközök (laptopok, PDA-k, okostelefonok) között közvetlen kommunikáció is kialakulhat ad hoc hálózat létrehozásával, így az alkalmazások közvetlenül is letölthetők egy az ad hoc hálózatba tartozó eszköztől. A hálózatban résztvevőknek lehetőségük nyílik arra, hogy alkalmazásokat próbáljanak ki, ami ösztönözheti őket az alkalmazások megvételére.

Jelen munkánkban a zárt sorbanállási hálózatokat [6] javasoljuk az alkalmazások mobil ad hoc hálózatokkal támogatott terjedésének modellezésére. A zárt sorbanállási hálózat egy sztochasztikus modell, amely alkalmas olyan folyamatok leírására egy adott populáción belül, mint az egyes eszközök/felhasználók gyors megjelenése és eltűnése a spontán kialakult ad hoc hálózati kommunikációban. Ezenkívül az állapotváltásokhoz átmeneti intenzitásokat rendelhetünk, mellyel lehetővé válik a folyamat időbeli tulajdonságainak vizsgálata.

A cikk felépítése a következő. A második fejezetben áttekintjük a kapcsolódó irodalmat, a harmadik fejezetben ismertetjük az általunk kidolgozott kommunikációs modellt, a negyedik fejezetben leírjuk az alkalmazások terjedésének zárt sorbanállási hálózatokkal való modellezését, míg az ötödik fejezetben összefoglaljuk a cikket, és ismertetjük a további elképzeléseinket.

2. Irodalmi áttekintés

Az alkalmazások terjedésének vizsgálata mindeztáig nem sok figyelmet kapott, bár fontossága a modern kommunikációs paradigmák terjedésével növekszik. A járványok vagy a számítógépes vírusok terjedésének vizsgálata viszont népszerű kutatási terület, amely témában számos eredmény született. Ezen cikkek szerzői hasonló kérdéseket vetnek fel, mint amilyenekre mi keressük a válaszokat az alkalmazások terjedésének vizsgálatakor. Például Wang és társai azt vizsgálják, hogyan terjed egy vírus a hálózatban, és létezik-e fertőzési küszöb egy, a hálózati topológiát leíró véges gráfban [8]. Pastor-Satorras és Vespignani az Interneten történő vírusterjedést skálafüggetlen hálózattal modellezik, s ennek segítségével adnak vírusterjedési küszöböt [5]. Az információterjedés modellezésére szintén használnak járványterjedési modelleket, mint a *fogékony-fertőzött-rezisztens* modell (Susceptible-Infected-Resistant vagy SIR modell) [2], vagy más, topológiafüggő modellek [4, 7]. Huang és társai a mobil ad hoc hálózatok kereskedelmi használatával foglalkoznak, és egy mobil ad hoc hálózaton működő rádiós diszpécser rendszert mutatnak be, amelyben szintén a hálózati topológiát tekintik az információterjedés alappillérenek [3].

Mi a hálózati topológiát nem tekintjük kritikus elemnek, mert egy olyan folyamatot modellezünk, amelyben nem szükséges a valósidejű információterjesztés a felhasználók között. A fenti cikkek a [3]-as kivételével nem foglalkoznak a mobil ad hoc hálózatok közvetlen kereskedelmi használatával, amely viszont az információ terjesztését, mint eszközt, és nem pedig mint célt vizsgálja. Ezenkívül az említett cikkek egyike sem foglalkozik alkalmazások terjedésével, és nem veszi figyelembe a felhasználói szokásokat sem.

3. Kommunikációs modell

Az alkalmazások terjedésének modellezésére a következő kommunikációs modellt használjuk. Az alkalmazások többfelhasználósak, és két verziójuk létezik, egy próba és egy teljes verzió. Modellünkben egy konkrét alkalmazás terjedését vizsgáljuk, illetve azt a populációt, amely érdeklődhet az alkalmazás iránt. Őket hívjuk felhasználóknak. Az alkalmazás iránt közömbös egyedek nem befolyásolják a vizsgálatot, így őket nem vesszük figyelembe.

A felhasználók mobil eszközökön keresztül kommunikálnak egymással, és különböző osztályokba sorolhatók aszerint, hogy rendelkeznek-e az alkalmazással vagy sem. A különböző osztályokat a járványterjedés terminológiájának mintájára neveztük el, mivel az alkalmazások terjedésének vizsgálatára kidolgozott modellünk sok hasonlóságot mutat a járványterjedési modellekkel. Így a felhasználót *fertőzöttnek* hívjuk, ha már rendelkezik a vizsgált alkalmazás teljes verziójával, *fogékonnak*, ha még csak a próba verzióval rendelkezik, és *rezisztensnek*, ha még egyik sem, vagy már elvesztette az érdeklődését az alkalmazás használatára iránt.

A felhasználók időről időre ad hoc hálózatot alakítanak ki, és közvetlen módon kommunikálnak egymással. Ezekben a hálózatokban a felhasználókat reprezentáló csomópontok hirtelen megjelenhetnek, illetve eltűnhetnek. A felhasználók – csatlakozva valamely ad hoc hálózathoz – letölthetik az alkalmazás próba verzióját, és ki is próbálhatják azt, amennyiben legalább egy olyan felhasználó tagja az adott ad hoc hálózatnak, amely rendelkezik az alkalmazás teljes verziójával. Ha a felhasználónak tetszett az alkalmazás,

megvásárolhatja azt később, pl. a már említett hagyományos módon (amíg nem kerül kidolgozásra biztonságos fizetési és nyilvántartási módszer az ad hoc hálózatokon keresztül való, üzleti alapú terjesztés megoldására, ez a lépés megkerülhetetlen). Később, ha a felhasználó megvásárolta az alkalmazást, más felhasználókhöz csatlakozva már korlátlanul használhatja, sőt a próba verziót terjesztheti is.

A próba verzióval rendelkezők csak akkor lesznek motiváltak az alkalmazás megvételére, ha valódi korlátokat támasztunk a próba verzió használatában. Így modellünkben bevezettünk egy korlátot, amely megszabja, hogy legfeljebb hány próba verzióval rendelkező (*pióca*¹) csatlakozhat egy teljes verzióval rendelkezőhöz (*maghoz*¹). Ebben az értelemben a magok tekinthetők szervereknek, melyek korlátozott számú klienst, vagyis piócat tudnak kiszolgálni. Mag csak *fertőzött* felhasználó lehet, míg pióca lehet *fertőzött* és *fogékony* felhasználó egyaránt.

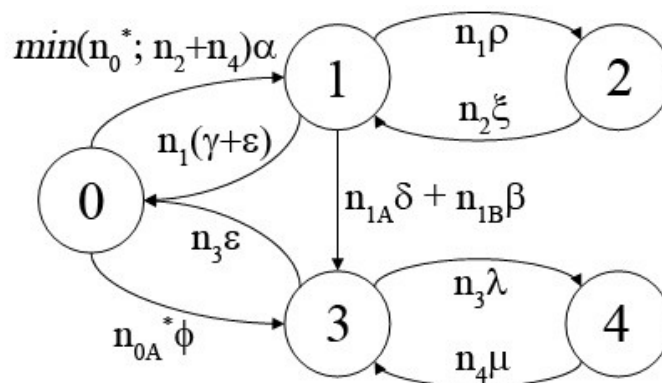
Továbbá a felhasználók viselkedése alapján megkülönböztetünk háromféle felhasználó típust. Az *A típusú* felhasználók szívesen használják az alkalmazást, így ha ki tudják próbálni azt, és tetszik nekik, akkor megveszik. A *B típusú* felhasználó szintén szívesen használja az alkalmazást, viszont ha bármikor talál egy magot egy adott valószínűséggel, amelyhez csatlakozhat, s így ingyen használhatja az alkalmazást, akkor nem fogja megvásárolni azt. A *C típusú* felhasználó soha nem veszi meg az alkalmazást, bár a terjedési folyamatra nyilvánvalóan hatással van.

4. Alkalmazások ad hoc hálózatok segítségével való terjedésének modellezése

Ebben a fejezetben bemutatjuk az alkalmazások terjedését leíró modellünket, valamint leírjuk a modell használatát.

4.1. Terjedési modell

Alkalmazások mobil ad hoc hálózatok használatával való terjedésének modellezésére a zárt sorbanállási hálózatok kézenfekvő lehetőséget nyújtanak, mert segítségükkel jól megragadhatók egy adott populációra vonatkozóan a kommunikáló hálózati eszközök gyors megjelenését és eltűnését leíró sztochasztikus folyamatok, valamint az állapotváltásokhoz rendelt átmenet intenzitások segítségével a terjedés időbeli tulajdonságai is vizsgálhatók.



1. ábra - Az alkalmazások terjedésének modellezésére javasolt zárt sorbanállási hálózat

¹ Ezen elnevezések a BitTorrent [1] terminológiáját tükrözik

Az 1. ábrán a zárt sorbanállási hálózatunk modellje látható. A modellben a populáció egészét a különböző állapotok reprezentálják. Minden felhasználó egy adott állapotban van, attól függően, hogy melyik osztályba soroljuk. A *rezisztens* felhasználók a 0-s állapotban vannak. Kezdetben a legtöbb felhasználó ebben az állapotban található. Azok a *fogékony* felhasználók, amelyek pillanatnyilag nem használják az alkalmazást (passzívak), az 1-es állapotban vannak. Azok a *fogékony* felhasználók, amelyek pillanatnyilag használják az alkalmazást (aktívak), a 2-es állapotban találhatók. Hasonlóan, a passzív *fertőzöttek* a 3-as, míg az aktív *fertőzöttek* a 4-es állapotban találhatók. n_i jelöli a felhasználók számát az i . állapotban, míg a görög betűk az egy felhasználóra vonatkoztatott átmeneti intenzitásokat reprezentálják.

A felhasználók időről időre ad hoc hálózatokat alkotnak, és attól függően válhatnak állapotot, hogy megszerezték-e a vizsgált alkalmazás valamely verzióját vagy pillanatnyilag használják-e az alkalmazást. A modellben az állapotváltásokat az átmeneti intenzitások segítségével írjuk le. Az átmeneti intenzitás egy, az átmenethez rendelt valós szám, mely megmutatja, hogy egységnyi idő alatt átlagosan hányszor megy végbe az adott átmenet. Az állapotátmenetek leírását az 1. táblázat tartalmazza.

1. Táblázat - A definiált zárt sorbanállási hálózat állapotátmeneteinek leírása

Átmenet	Leírás
1 → 2	Egy <i>fogékony</i> felhasználó elindítja az alkalmazást. Ezután megpróbál egy, a hálózaton lévő szabad maghoz csatlakozni. Ha ez nem sikerül, várakozni kezd, amíg talál egy szabad magot, amelyhez csatlakozhat, vagy elhagyja a hálózatot, vagyis visszalép az 1-es állapotba.
2 → 1	Egy <i>fogékony</i> felhasználó leállítja az alkalmazás futtatását.
3 → 4	Egy <i>fertőzött</i> felhasználó elindítja az alkalmazást. Ezután vagy hozzá csatlakoznak <i>fogékony</i> vagy <i>fertőzött</i> felhasználók, vagy ő csatlakozik valamelyik <i>fertőzött</i> felhasználóhoz.
4 → 3	Egy <i>fertőzött</i> felhasználó leállítja az alkalmazás futását.
0 → 1	Egy felhasználó letölti az alkalmazás próba verzióját. n_0^* azon 0-s állapotban lévő felhasználók száma, melyek még nem váltottak állapotot, míg $n_2 + n_4$ az alkalmazást éppen futtatók száma. Így a próba verzió terjedése legfeljebb a mindenkor hálózat méretével arányos. Azok a felhasználók, amelyek korábban elhagyták ugyan a 0-s állapotot, de visszatértek oda, mert elvesztették érdeklődésüket az alkalmazás iránt, már nem váltanak többet állapotot.
3 → 0	Egy <i>fertőzött</i> felhasználó elvesztette érdeklődését az alkalmazás iránt.
1 → 0	Egy <i>fogékony</i> felhasználó elvesztette érdeklődését az alkalmazás iránt. Hasonló az előző átmenethez, viszont a γ többletintenzitás abból adódik, hogy a <i>fogékony</i> felhasználó a várható várakozási idő miatt átlagosan gyorsabban veszíti el az érdeklődését.
0 → 3	Egy <i>rezisztens</i> felhasználó megvásárolta az alkalmazást. Előfordulhat, hogy valaki úgy is megvásárolja az alkalmazást, hogy előtte nem használta a próba verziót. n_{0A}^* azon 0-s állapotban lévő A típusú felhasználók számát jelöli, amelyek még nem váltottak állapotot. C típusú felhasználó nem vásárolja meg az alkalmazást, míg B típusú csak akkor, ha nem elégedett a várható várakozási idővel, ezért ennél az átmenetnél nem szabad őket figyelembe venni.
1 → 3	Egy <i>fogékony</i> felhasználó megvásárolta az alkalmazást. n_{1A} és n_{1B} az 1-es állapotban lévő A és B típusú felhasználók számát jelöli. C típusú felhasználót ennél az átmenetnél sem szabad figyelembe vennünk.

4.2. A terjedési modell használata

A rendszer állapotát egyértelműen meghatározza az $(n_0^*, n_1, n_2, n_3, n_4)$ eloszlás. A modell paramétereinek ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \phi, \rho, \xi, \lambda$ és μ) meghatározásával a rendszer bármely állapotában meghatározható a tartásidő, amely az összes kimenő átmeneti intenzitás összegének mínusz egyedik hatványa, és azt mutatja meg, várhatóan mennyi ideig van a rendszer az adott állapotban. Az átmeneti intenzitások arányában generálhatjuk a rendszer következő állapotát, vagyis kiválaszthatjuk, hogy melyik átmenet megy végbe. Ezután egy felhasználót átmozgatunk az átmenetnek megfelelően az új állapotba, majd kiszámoljuk az új állapot tartásidejét, és így tovább. Az átmeneti intenzitások minden átmenet után változnak, mivel változik a felhasználók eloszlása.

Ha egy felhasználó visszatér a 0-s állapotba, a folyamat véget ér számára. Így egy felhasználó csak addig befolyásolja a folyamatot, amíg érdekelt az alkalmazás beszerzésében vagy futtatásában. Az egész folyamat akkor ér véget, ha minden felhasználó elvesztette az érdeklődését az alkalmazás iránt.

A tartásidők összegzésével megtudhatjuk, hogy mennyi ideig tartott az érdeklődés a vizsgált alkalmazás iránt. Az $1 \rightarrow 3$ és a $0 \rightarrow 3$ átmenetek száma azt határozza meg, hogy az alkalmazásból hány példányt sikerült eladni. A különböző részeredményeket kiértékelve megtudhatjuk, átlagosan hányan használták egy időben az alkalmazást, milyen volt a terjedés dinamikája, vagy hogy a különböző típusú felhasználók hogyan viselkedtek a folyamat során.

5. Összefoglalás

Jelen munkánkban megvizsgáltuk az alkalmazások mobil ad hoc hálózatok segítségével történő terjedését, melynek modellezésére a zárt sorbanállási hálózatokat javasoltuk. Feltételeztük, hogy a felhasználók a próba verzió mobil ad hoc hálózaton való terjesztésével hozzájárulnak az alkalmazás terjedéséhez. Az alkalmazáspéldányok eladásának vizsgálatakor modellünk figyelembe veszi a különböző felhasználói viselkedéseket is. A modell paramétereinek beállítása egy összetett és komplex feladat, és további vizsgálatokat igényel, melyet a jövőben szeretnénk megtenni.

Köszönetnyilvánítás

A cikk az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) részleges támogatásával készült (PD 72984).

Irodalomjegyzék

- [1] *Cohen, B.*: Incentives build robustness in BitTorrent. In Proceedings of the 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, 2003.
- [2] *Fu, F., Liu, L., Wang, L.*: Information propagation in a novel hierarchical network. 46th IEEE Conference on Decision and Control, New Orleans, USA, 2007.

- [3] *Huang, E., Hu, W., Crowcroft, J., Wassell, I.*: Towards Commercial Mobile Ad Hoc Network Applications: A Radio Dispatch System. Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking, San Diego, CA, USA, 2003.
- [4] *Khelil, A., Becker, C., Tian, J., Rothermel, K.*: An epidemic model for information diffusion in MANETs. In Proceedings of the 5th ACM international workshop on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems, Atlanta, Georgia, USA, September, 2002.
- [5] *Pastor-Satorras, R., Vespignani, A.*: Epidemic spreading in scale-free networks. Phys. Rev. Lett., 86:3200, 2001.
- [6] *Robertazzi, T. G.*: Computer Networks and Systems: Queuing Theory and Performance Evaluation. 1990 Springer-Verlag New York, Inc., New York, USA, 1994.
- [7] *Sekkas, O., Piguet, D., Anagnostopoulos, C., Kotsakos, D., Alyfantis, G., Kassapoglou-Faist, C., Hadjiethymiades, S.*: Probabilistic information dissemination for MANETs: the IPAC approach. In 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications, Italy, September, 2009.
- [8] *Wang, Y., Chakrabarti, D., Wang, C., Faloutsos, C.*: Epidemic Spreading in Real Networks: An Eigenvalue Viewpoint. SRDS, pp.25, 22nd International Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS'03), 2003.