



Számítógép-hálózatok nem lineáris modellje

Max Gy.

Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék 1521 Budapest, Pf. 91.

ÖSSZEFOGLALÁS

A számítógép-hálózatok adatforgalmának leírása a hagyományos lineáris módszerekkel nem lehetséges. A hálózatok viselkedésének nem-lineáris jellege miatt a rendszerek modellezése is nehézkes. A jövőbeni felhasználók már a hálózatok megépítése előtt szeretnék tudni, hogy a számítógép-hálózat milyen tulajdonságokkal fog rendelkezni. Tudni akarják, hogy mi történik, ha túlterheljük a szervert, ha ideiglenes forgalmi csúcsok lépnek fel, vagy ha több kérelem érkezik, mint amire a szervert tervezték. A hálózati adatforgalom tanulmányozására létrehoztunk egy nem-lineáris rendszer modellt, amely segítségével megvizsgáljuk a tervezett hálózat tulajdonságait. A cikk egy nemlineáris szimulációs modell felállítását mutatja be, amely segítséget nyújt a számítógép-hálózatok adatforgalmi problémáinak tanulmányozásában. (Kulcsszavak: non-lineáris rendszer elemzése, a számítógépes hálózatok, szimuláció)

ABSTRACT

*Non-linear model of Computer Networks

Gy. Max

Budapest University of Technology and Economics, Department of Automation and Applied Informatics H-1521, Budapest, POB. 91.

Dataflow in computer networks can not be described as a linear system. To simulate behaviours of these systems are also difficult, because these systems show non-linear features. Before implementing network equipments users want to know capabilities of their computer networks. They want to know what happens when the servers are overloaded, when temporary traffic peaks occur or when more requests arrive than the server can serve. We established a system model to study the non-linear behaviours of dataflow in the computer networks planned. This paper presents setting up a non-linear simulation model that helps us to study dataflow problems of the networks. (Keywords: non-linear system analysis, computer networks, simulation)

BEVEZETÉS

A több adatút választó csomópontot tartalmazó számítógép-hálózaton az adatcsomagok több lehetséges útvonal közül választhatnak, mielőtt megérkeznének rendeltetési címükre. Az útvonalválasztások a hálózati csomópontokban, a hálózat egy részéről vagy egészéről tárolt információkon alapulnak. Bár szinte minden csomópont részt vesz a csomagok szállításában, a legtöbb esetben a hálózati csomópontok nem ismerik a teljes

* This work is connected to the scientific program of the "Development of quality-oriented and harmonized R+D+I strategy and functional model at BME" project. This project is R+D+supported by the New Hungary Development Plan (Project ID: TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002).

hálózatot, ismereteik általában csak az elérhető közelségben lévő, az adott csomóponttal kommunikáló csomópontokról vannak. Az adó és fogadó csomópontok közötti kommunikáció sebessége nagymértékben függ a választott útvonaltól. A cikkben az irodalmi összefoglalás után bemutatjuk azokat a lehetőségeket, illetve korlátozásokat, amelyek az átvitel sebességében szerepet játszanak. A harmadik részben az újonnan felállított nem-lineáris modellünk szerkezeti felépítését mutatjuk be. A következő rész a becslési folyamat paramétereit és kritérium rendszerét ismerteti, míg az utolsó fejezetben egy esettanulmányon keresztül mutatjuk be a modell működését.

KAPCSOLÓDÓ MUNKÁK

A hálózat viselkedésének tanulmányozásához szükségünk van a forgalmi paraméterek mérésére és elemzésére. Ehhez többféle módszert is alkalmazhatunk. Az egyik legfontosabb kutatási irány a hálózati paraméterek becslése (*Galkin et al.*, 2006), illetve a hálózati csomópontok (*Mansour and Scrimali*, 2008) vizsgálata. Ezek többnyire statisztikai eszközökkel operálnak. A hálózati csomópontok nem-lineáris elemzése (*Du*, 2005; *Péter*, 2007; *Kihl et al.*, 2003; *Kihl et al.*, 2004) egy másik fontos kutatási terület. A statisztikai módszer segítségével egy általános rendszer statisztikai felépítésének vizsgálatát végezte el *Y. Bhole és A. Popescu* (2005). Miután megismertük a rendszert leíró törvényeket, akár fel is építhetjük modellünket, mint ahogy ezt *J. Jiang és S. Papavassiliou* (2004) tette egy Novell hálózat adatforgalmának modellezésére, vagy megpróbálhatjuk megérteni, miért csordulnak túl a hálózat pufferei a *S. Sidiroglou és mtsai.* (2005) által vizsgált hálózatok esetében. A hálózati pufferek telítődése, azaz az adatsomagok torlódása sok probléma okozója. Ennek kikerülésére *D. Haifeng és mtsai.* (2008) egy hatékony hálózati torlódás ellenőrzési módszert mutatnak be többretegű hálózatok esetében. Érdekes adalékokat tartalmaz *Chuang, J.C.-I. és Sirbu M.A.* cikke (2001) az árképzési mechanizmusokról, ha nemcsak a torlódás elkerülése, hanem a működési költségek nagysága is fontos.

Ha különböző időskálán nézzük az adatforgalmat, akkor a forgalmi paraméterek viselkedése az egyes időskálákon más és más lesz. *Paxson és Floyd* (1995) rámutatott arra, hogy az adatforgalom minőségi mutatói jelentős eltérést mutatnak az ezredmásodperces és a másodperces időtartományban. Kimutatták azt is, hogy a rendszer makroszkópikus viselkedésének tanulmányozásához ragaszkodnunk kell a másodperces időtartomány alkalmazásához, mivel csak ebben az időtartományban figyelhetjük meg jól a nem-lineáris folyamatok, illetve a környezet hatását. *Low és mtsai.* (2002) a nem-lineáris modellel szemben, egy általános lineáris modellt dolgoztak ki, amelyben miután elvégezték az egyensúlyi pont körüli linearizálást és így ezzel több egyszerűsítési feltételezést is tettek, a rendszer megfelelő stabilitási képet mutatott. A nem-lineáris hálózati csomópont analízisek során a hálózatban lévő csomópontok működésének optimalizálására törekszünk. Nyilvánvaló, hogy minél kevesebb csomópont található a hálózatban, a probléma megoldása annál könnyebbé válik. A valóság azonban ennek pont az ellenkezőjét tükrözi. Ezért fontos az, hogy vizsgálataink középpontjába most már ne csak a csomópontokat állítsuk, hanem az egész hálózatot.

ADATFORGALOM

A szakirodalomból ismert számítógép hálózati modellek az adatforgalmat a rendszer gráfjának csomópontjai és élei között lezajló kommunikációra vezetik vissza. A modellek, ebben a leírási módszerben kiemelten fontos elemként kezelik a csomópontokat. A modell

kimenete a kommunikációs gráf, amely hűen visszaadja a számítógép-hálózat fizikai elrendezését. A csomópontok adják a rendszer aktív elemeit, amelyek passzív átviteli közegek segítségével kapcsolódnak egymáshoz. Ezt a struktúrát képezi le a kommunikációs gráf is, mert a hálózatban az egymással kommunikáló aktív hálózati elemek, a csomópontok alkotják a kommunikációs gráf csúcsait, míg egy átviteli közeg két csúcs közötti élnek felel meg. A gráf megrajzolásával tehát a vizsgált rendszer természetes képét kapjuk vissza. A gráf központi elemeit, a csúcsokat a csomópontok foglalják el, míg az adatforgalom, a gráf élein tranzakciók formájában zajlik le.

A teljes kommunikációs gráf felrajzolása után meghatározzuk azt a folyamatot vagy folyamatrészt, amit vizsgálni akarunk. Majd egy zárt görbével körülhatároljuk a számunkra érdekes eseményteret, elkülönítve ezzel a belső csomópontokat és átviteli közegeket. A vizsgált térrészben, a legtöbb esetben az adatátvitel szempontjából fontos kapcsolók (switch) vagy hidak (bridge) találhatóak, míg a zárt görbe külső oldalán a bemeneti és kimeneti munkaállomások helyezkednek el, ahogy ez az 1. ábrán látható.

1. ábra

A mért és szimulált hálózat struktúrája

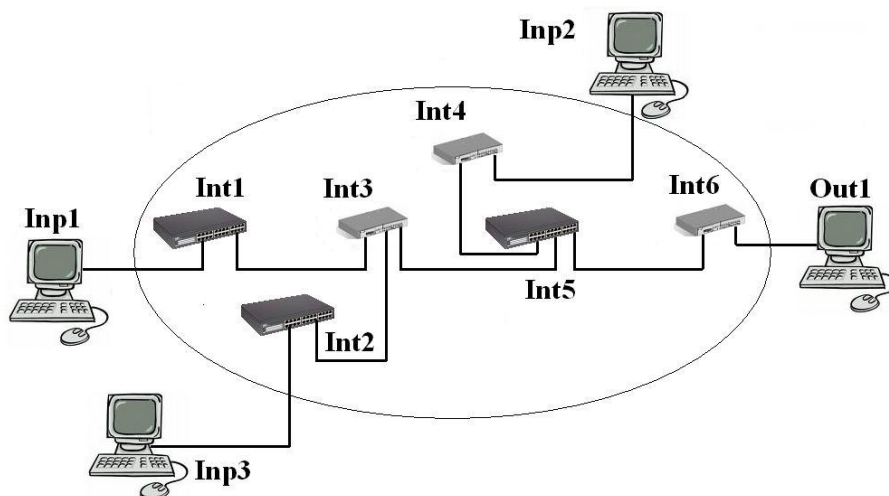


Figure 1: Structure of the measured and simulated network

Tegyük fel, hogy ismerjük a vizsgált hálózat adatforgalmi adatait a t időpillanatban, és jelöljük csomópontokban tárolt adatbitek számát jelölve $N(t)$ -vel. Ha a $(t + \Delta t)$ időpillanatban is kíváncsiak vagyunk a hálózatban lévő bitek számára, akkor meg kell vizsgálnunk a Δt idő alatt bekövetkező változások összességét az összes vizsgált csomópontban. Ha ismerjük az egyes adó (j) és vevő (i) csomópontok közötti átviteli sebességet (v_{ij}), akkor a teljes adatmennyiség változást is megadhatjuk, az egyes csomópontokban lezajló változások (1) összesítésével. Az i . csomópontban a $(t+\Delta t)$ időpillanatban felhalmozott adatmennyiséget úgy számíthatjuk ki, hogy az i . csomópontban a t időpillanatban lévő adatmennyiséghez hozzáadjuk a belső adatforgalomból származó változás előjelhelyes eredőjét, megnövelve az input forrásokból származó és csökkentve az out felé kiadott adatmennyiséggel.

$$N_i(t + \Delta t) = N_i(t) + \Delta N_i^{\text{inter}} + \Delta N_i^{\text{input}} - \Delta N_i^{\text{output}} \quad (1)$$

ahol:

$$\Delta N_i^{\text{inter}} = \sum_{\substack{j=1; \\ i \neq j;}}^n C_{ij}(v_{ij}) \cdot \Delta t, \quad \Delta N_i^{\text{input}} = \sum_{\substack{k=1; \\ i \neq k;}}^l C_{ik}(v_{ik}) \cdot \Delta t, \quad \Delta N_i^{\text{output}} = \sum_{i=1;}^m C_{ii}(v_{ii}) \cdot \Delta t.$$

Az (1)-ben $C_{ij}(v_{ij}) = c_{ij} \cdot v_{ij}$, a későbbiekben ismertetésre kerülő kommunikációs mátrix c_{ij} -től és v_{ij} -től függő eleme, ahol C_{ij} az i . és j . csomópont közötti kommunikáció jellemzőit adja meg. Az összes csomópontra az adatok összegzése után megkapjuk a hálózat teljes adatmennyiség változását (2) a $(t+\Delta t)$ időpillanatra:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} N_1(t + \Delta t) \\ N_2(t + \Delta t) \\ \dots \\ N_n(t + \Delta t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} N_1(t) \\ N_2(t) \\ \dots \\ N_n(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & c_{12} \cdot v_{12} \cdot \Delta t & \dots & c_{1n} \cdot v_{1n} \cdot \Delta t \\ c_{21} \cdot v_{21} \cdot \Delta t & 0 & \dots & c_{2n} \cdot v_{2n} \cdot \Delta t \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ c_{n1} \cdot v_{n1} \cdot \Delta t & c_{n2} \cdot v_{n2} \cdot \Delta t & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 & c_{12} \cdot v_{12} \cdot \Delta t & \dots & c_{1n} \cdot v_{1n} \cdot \Delta t \\ c_{21} \cdot v_{21} \cdot \Delta t & 0 & \dots & c_{2n} \cdot v_{2n} \cdot \Delta t \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ c_{k1} \cdot v_{k1} \cdot \Delta t & c_{k2} \cdot v_{k2} \cdot \Delta t & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ &- \begin{bmatrix} c_{11} \cdot v_{11} \cdot \Delta t & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_{22} \cdot v_{22} \cdot \Delta t & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & c_{nn} \cdot v_{nn} \cdot \Delta t \end{bmatrix} \end{aligned}$$

vagy (2)-t felírva mátrixos formában (3)-t kapjuk.

$$N(t + \Delta t) = N(t) + C_{\text{int}}(v_{\text{int}}) \cdot \Delta t + C_{\text{inp}}(v_{\text{inp}}) \cdot \Delta t - C_{\text{out}}(v_{\text{out}}) \cdot \Delta t \quad (3)$$

Ha átrendezzük (3)-t és vesszük a határértékét $\Delta t \rightarrow 0$ mellett, akkor a (4) eredményt kapjuk:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} = N'(t) = C_{\text{int}}(v_{\text{int}}) + C_{\text{inp}}(v_{\text{inp}}) - C_{\text{out}}(v_{\text{out}}) \quad (4)$$

(4) egyszerűvé válik abban az esetben, ha $v_{\text{int}} = v_{\text{inp}} = v_{\text{out}} = v$. Ezzel a feltételezéssel kapjuk (5)-t, mivel

$$\begin{aligned} C_{\text{int}}(v_{\text{int}}) &= v \cdot c_{\text{int}}, \quad C_{\text{inp}}(v_{\text{inp}}) = v \cdot c_{\text{inp}}, \quad C_{\text{out}}(v_{\text{out}}) = v \cdot c_{\text{out}}, \quad \text{vagyis} \\ N'(t) &= v \cdot (c_{\text{int}} + c_{\text{inp}} - c_{\text{out}}) \end{aligned} \quad (5)$$

$N(t)$ ismeretében a Taylor sorfejtés felhasználásával szintén megadhatjuk $N(t + \Delta t)$

$$N(t + \Delta t) = N(t) + N'(t) \cdot \Delta t + \frac{N''(t)}{2!} \cdot \Delta t^2 + \dots + \frac{N^n(t)}{n!} \cdot \Delta t^n \quad (6)$$

Az (5) és a (6) felhasználásával a Taylor-sor harmadik tagjától kezdve nulla értékeket kapunk, mert a $v(t) = v = \text{állandó}$ összefüggés felhasználásával a magasabb rendű tagok

értéke nullává válik. Összefoglalva ez azt jelenti, hogy egy számítógép-hálózatban, ha az adatátvitel sebességét azonosnak és állandónak tekinthetjük, akkor a hálózat adatforgalmának időbeli lefolyására a (7) differencia egyenletet alkalmazhatjuk:

$$N(t + \Delta t) = N(t) + N'(t) \cdot \Delta t = N(t) + v \cdot (c_{\text{int}} + c_{\text{inp}} - c_{\text{out}}) \cdot \Delta t \quad (7)$$

ÁLLAPOTVÁLTOZÓK

Egyszerű mértékegység analízis elvégzése után megállapítható, hogy c_{int} , c_{inp} , c_{out} mértékegység nélküli mennyiség. Egy számítógép-hálózatban az átviteli sebesség azt jelenti, hogy hány bitet lehet szállítani, egy másodperc alatt két csomópont között. Az átviteli sebesség nem lehet egyenlő a hálózat minden részében, de az i . és j . csomópont között ez az érték állandónak tekinthető és a továbbiakban jelöljük v_{ij} -vel. Minden egyes csomópont fogadott üzeneteik tárolására rendelkezik adatpufferrel. Ezt a kapacitást az i . csomópont adatsűrűségével (8) is kifejezhetjük, amely a t időpillanatban, az ott tárolt és a maximálisan tárolható adatmennyiség arányát mutatja.

$$x_i(t) = \frac{\text{Az } i \text{ csomópont adatpufferében lévő adatbitek száma}}{\text{Az } i \text{ csomópontban maximálisan tárolható adatbitek száma}} = \frac{N_i(t)}{N_{\text{imax}_i}} \quad (8)$$

Modellünkben az egyes csomópontok adatsűrűsége egy dimenzió nélküli szám $0 \leq x \leq 1$ között. A most bevezetésre került adatsűrűség tehát az i csomópontban tárolt üzenetek hosszának és maximális üzenet hosszának az aránya. Ez a tulajdonság máris egy nem-linearitást épít be a rendszerbe, hiszen a pufferből időegységenként nem lehet hosszabb üzenetet kiadni, mint a puffer maximális mérete, valamint egyáltalán nem lehet üzenetet adni, ha a puffer üres. Jelöljük x_i -vel a hálózat i . csomópontjának adatsűrűségét, míg a vizsgált térrészen kívül elhelyezkedő, tehát mérésel megállapítható input illetve output csomópontok adatsűrűségét pedig s_j -vel. Modellünkben $N(t)$ és $x(t)$ n elemű vektorok. Felhasználva (8)-t a t időpillanatban, az i csomópontban tárolt adatmennyiség, $N_i(t) = N_{\text{imax}_i} \cdot x_i(t)$ formában adható meg, ahol N_{imax_i} az i . csomópont pufferének a mérete. Az adatforgalom szempontjából érdemes megjegyezni, hogy a hálózat egyetlen vizsgált csomópontja sem folytat kommunikációt önmagával, azaz a (1)-ben megadott $\Delta N_i^{\text{inter}}$ és $\Delta N_i^{\text{input}}$ mátrixok esetében a c_{xx} érték minden esetben nulla. Az output mátrix esetében viszont úgy is vizsgálhatjuk az adatforgalmat, hogy ha a zárt rendszerünket elhagyó adatmennyiséget egyszerűen kivonjuk abból a csomópontból, ahol legutoljára volt. Matematikailag így a $\Delta N_i^{\text{output}}$ mátrix diagonális mátrix lesz, míg a $\Delta N_i^{\text{inter}}$ és $\Delta N_i^{\text{input}}$ egy-egy legalább a főátlójában zérus elemeket tartalmazó mátrix.

KOMMUNIKÁCIÓS MÁTRIX

Utolsó lépésnek maradt a C_{ij} kommunikációs mátrix meghatározása. A kommunikációs mátrix nagy szerepet játszik a felállítandó modellben. A $C_{ij}(v_{ij})$ mátrixszal legalább a következő tulajdonságokat le kell tudnunk írni:

- A hálózat belső kapcsolatait
- A hálózat környezeti kapcsolódásait
- A csomópontok pufferméreteit
- A csomópontok adatküldési és adatfogadási képességeit

A tulajdonságok leírására részmatrixokat használunk, melyek elemenkénti szorzata fogja megadni a C_{ij} kommunikációs mátrix végső alakját. Az indexelés szempontjából a hová,

honnan módszert követjük, azaz a c_{ij} a kommunikációs mátrix azon elemét adja meg, amely a j csomópontból az i csomópontba mutató kommunikációt írja le.

A hálózat belső és környezeti kapcsolódásait könnyen megadhatjuk egyetlen bináris szám segítségével, amely megmutatja, hogy a kiválasztott két csomópont között van-e kapcsolat, azaz $K_{ij}=1$ ha az i és a j csomópont össze van kötve, egyébként nulla. Az előző részben láthattuk, hogy a belső csomópontok esetén ez egy olyan kapcsolati mátrixot fog generálni, amelynek a főátlója csak zérus elemeket fog tartalmazni. Azt itt megadott K_{ij} érték azonban rugalmasan módosítható. Például, ha hálózatunk p -perzisztens adásmódot használ, akkor a $K_{ij}=1$, kifejezés helyett a $K_{ij}=p$ értéket érdemes használni. Hasonlóan $K_{ij} \neq 1$ értéket, hanem relatív súlyozást kell alkalmaznunk abban az esetben is, ha a csomópont egy kimenete több másik csomóponthoz kapcsolódik. Egy relatív súlyozású i csomópont esetében a kapcsolati részmatrix oszlopára nézve kapunk 1 értéket, azaz $\sum_i K_{ij}(t) = 1$.

Szintén nincs gond a belső csomópontok pufferméreteivel (N_{\max}) sem, ha ezeket valóban ismerjük. Tervezés során, egy ismert adathalmazból, pl. katalógus adatokból választhatjuk meg ezeket az értékeket. A külső csomópontok pufferméreteit viszont úgy kell megválasztani, hogy az a maximális adatforgalomból származó kimenő adatmennyiséget is tudja fogadni kivéve, ha a torlódás vizsgálata a cél.

A kommunikációs mátrix legfontosabb feladata a rendszer adatforgalmi tulajdonságait bemutató részmatrix megadása. A belső adatforgalmi szabályok bármely időpillanatban megváltozhatnak (pl. adatkapcsolati mechanizmusok függenek az adatsűrűségtől). Az adatforgalmi részmatrixunk jelenleg a következő három függvényt tartalmazza: $S_j(t, x_j(t))$, $R_i(t, x_i(t))$, ahol $S_j(t, x_j(t))$ határozza meg a küldő csomópont tulajdonságait, $R_i(t, x_i(t))$ a fogadó állomás tulajdonságait, míg $x_i(t)$ a vizsgált csomópont adatsűrűségét mutatja. $S_j(t, x_j(t))$ értéke mindaddig 1, amíg $x_j(t) > 0$, egyébként 0. Hasonlóképpen $R_i(t, x_i(t))=1$, amíg a csomópont képes az adatok fogadására, vagyis $x_i(t) < 1$.

A kommunikációs mátrix c_{ij} eleme tehát három érték szorzatával határozható meg (9).

$$c_{ij} = K_{ij}(t) \cdot S_j(t, x_j(t)) \cdot R_i(t, x_i(t)) \quad (9)$$

Ha a (9) egyenletet behelyettesítjük (3)-ba az alábbi egyenletet kapjuk (10).

$$\begin{aligned} N(t+\Delta t) = & N(t) + K_{ij}(t) \cdot S_j(t, x_j(t)) \cdot R_i(t, x_i(t)) \cdot v_{ij} \cdot \Delta t + \\ & + K_{i,inp}(t) \cdot R_i(t, x_i(t)) \cdot v_{i,inp} \cdot \Delta t - K_{out,i}(t) \cdot S_i(t, x_i(t)) \cdot v_{out,i} \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (10)$$

(10)-ben feltételeztük, hogy a bemeneti csomópontok mindig tudnak adatokat küldeni, a kimeneti csomópontok pedig mindig tudnak adatokat fogadni a vizsgált hálózati részből.

SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

Az előzőekben ismertetett rendszer szimulációját MatLab segítségével valósítottuk meg. A szimuláció ellenőrzéséhez az 1. ábrán is látható, ténylegesen létező, így megfigyelhető hálózatot választottuk. Két file-t továbbítottunk a valós hálózaton. Az első 89 MB-os file az Inp1 bemenetről, a második, a 91 MB-os file pedig az Inp2-ről indult. Első csatorna TCP protokollt, míg a második FTP protokollt használt az adatok továbbítására. Az adatokat százszor küldtük át a valóságos hálózaton. A második file-t 8 másodperccel az első után indítottuk. A harmadik, az Inp3 nevű bemeneti csatorna nem működött. A 100Mb/sec-os csatornák számított hatékonysága 72% körüli volt, mivel az adattovábbítási idő átlagos értéke 20 mp volt. A szimuláció során ugyanezekkel a paraméterekkel végeztük el a futtatást.

A mért és a szimulált forgalom a 2. ábrán látható. A szimuláció időbeli lefolyása egy kicsit rövidebb, mint a valódi kommunikáció. A 2. ábrán azt is láthatjuk, hogy a valódi hálózat egyes csatornáit különböző adatátviteli sebességekkel működnek. A szimuláció során azt tételeztük fel, hogy az átviteli sebesség egyenlő a csomópontok között. Ahogy ezt a 2. ábra mutatja, ezt a feltételezést a jövőben el kell vetnünk.

2. ábra

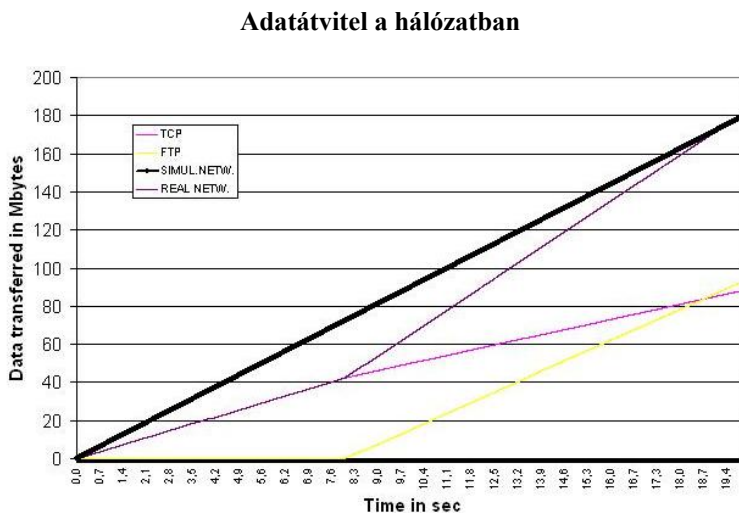


Figure 2: Data transfers in the network

A szimulációban a belső csomópontok adatsűrűsége is megfigyelhető. Ennek segítségével különböző belső pufferméreteket használtunk a hálózat szűk keresztmetszetének megfigyeléséhez. A 3. ábrán két szimulációt látunk két különböző puffermérettel. A bal oldalon 5 Mbyte-os belső puffert használtunk, míg a második esetben csak 1 MByte volt a puffer mérete. A bal oldali ábrán a bemenet lineárisan dolgozik, míg a jobb oldalon megjelennek a rendszerben a nem-linearitások. A 3. ábra abban is segítséget nyújt, hogy megtaláljuk a hálózat szűk keresztmetszetét. A jobb oldali ábrán az Int2 csomópont blokkolja az Inp2-t, mert az Int2 csomópontban már nincs elég hely a beérkező üzenetek számára. Ez azzal magyarázható, hogy az Int3 csomópont nem képes Int2 összes küldendő üzenetét átvinni, mert közben Int1 felől is érkeznek üzenetek.

KÖVETKEZTETÉSEK

A dolgozat bemutatta nagyméretű számítógép-hálózatok adatforgalmának nem-lineáris eszközökkel történő leírását. A modell létrehozásában az játszotta a legfontosabb szerepet, hogy a nemlineáris rendszerek parciális differenciálegyenleteinek megkerülésével, egy alkalmasan megválasztott állapotváltozó segítségével létre tudtunk hozni egy olyan matematikai modellt, amely eredményeként differenciálegyenletek helyett csak differencia egyenleteket kellett megoldani. Az állapotváltozók megválasztásában csak a csomópontok játszanak szerepet, mert az átviteli közeg tárolási kapacitását nullának tekinthetjük.

3. ábra

Adatátvitel 5 MB-os illetve 1 MB-os belső pufferek használata esetén a szimulált hálózatban

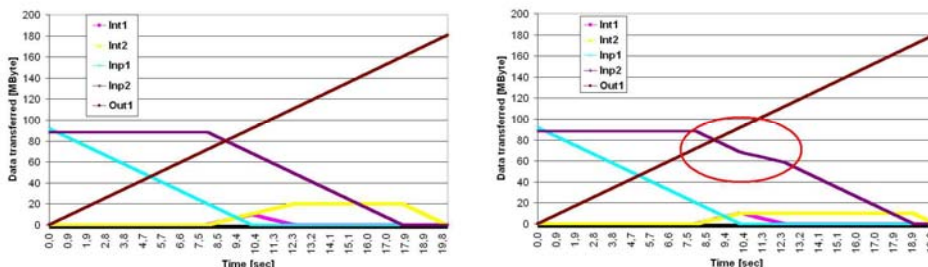


Figure 3: Data transfers using 5 MB and 1 MB internal buffers in the simulated network

A modellünk a zárt görbével határolt térrészben elhelyezkedő számítógép-hálózati csomópontok adatsűrűség változását vizsgálja. A matematikai modell kialakításában a kommunikációs mátrix létrehozása alapvető fontosságú. A modell jelenleg három kommunikációs részmátrixból áll. Azt a feltételezést, hogy a szimuláció során az egyes csomópontok közötti átviteli sebesség állandó, a mérések alapján el kellett vetni. A szimuláció gyorsstesztként, lehetőséget ad a rendszer szűk keresztmetszeteinek kiszűrésére is.

IRODALOM

- Bhole, Y., Popescu A. (2005): Measurement and Analysis of HTTP Traffic. Journal of Network and Systems Management, 13. 4. 357-371. p.
- Chuang, J.C.-I., Sirbu M.A. (2001). Pricing Multicast Communication: A Cost-Based Approach, Telecommunication Systems 17. 3. 281–297. p.
- Du, H.F., Xiao, Y., Xu D.Y. (2005). Nonlinear stability analysis for active queue management, Proceedings of the IEEE International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT'2005), 2005, 2., 1314–1317. p.
- Galkin, A.M., Simonina, O.A., Yanovsky G.G. (2006). Multiservice IP Network QoS Parameters Estimation in Presence of Self-similar Traffic, NEW2AN 2006, LNCS 4003, 235-245. p.
- Haifeng, D., Yang, X., Lingyun L. (2008). An Effective Network Congestion Control Method For Multilayer Network, Journal Of Electronics (China), Vol.25, No.4
- Jiang J., Papavassiliou S. (2004). Detecting Network Attacks in the Internet via Statistical Network Traffic Normality Prediction. Journal of Network and Systems Management, 12. 1. 51-72. p.
- Kihl, M., Robertsson, A., Wittenmark, B. (2003). Performance modelling and control of server systems using non-linear control theory, Proceedings of the 18th International Teletraffic Congress
- Kihl, M., Robertsson, A., Wittenmark, B. (2004). Control theoretic modelling and design of admission control mechanisms for server systems, Proceedings of IFIP Networking

- Low, S.H., Paganini, F., Wang, J., Adlakha, S., Doyle, J.C. (2002). Dynamics of TCP/RED and a scalable control, Proceedings of IEEE INFOCOM 02, New York, USA, 2002.
- Mansour, M.A., Scrimali L. (2008). Hölder continuity of solutions to elastic traffic network models, *J. Glob. Optim.* 40:175–184
- Paxson, V., Floyd, S. (1995). Wide area traffic: the failure of Poisson modelling, *IEEE/ACM Transactions on Networking* 3(3), 226–244 p.
- Péter T. (2007) Analysis of large scale transportation networks, (Nagyméretű közlekedési hálózatok analízise) MMA Conference, Symposium, Budapest, (2007)
- Sidiroglou, S., Giovanidis, G., Keromytis A.D. (2005). A Dynamic Mechanism for Recovering from Buffer Overflow Attacks, J. Zhou et al. (Eds.): *ISC 2005, LNCS* 3650, 1–15 p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Max Gyula

Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék
1521 Budapest, Pf. 91,
Budapest University of Technology and Economics
Department of Automation and Applied Informatics
H-1521, Budapest, Po. Box. 91. Hungary.
e-mail: max@aut.bme.hu.