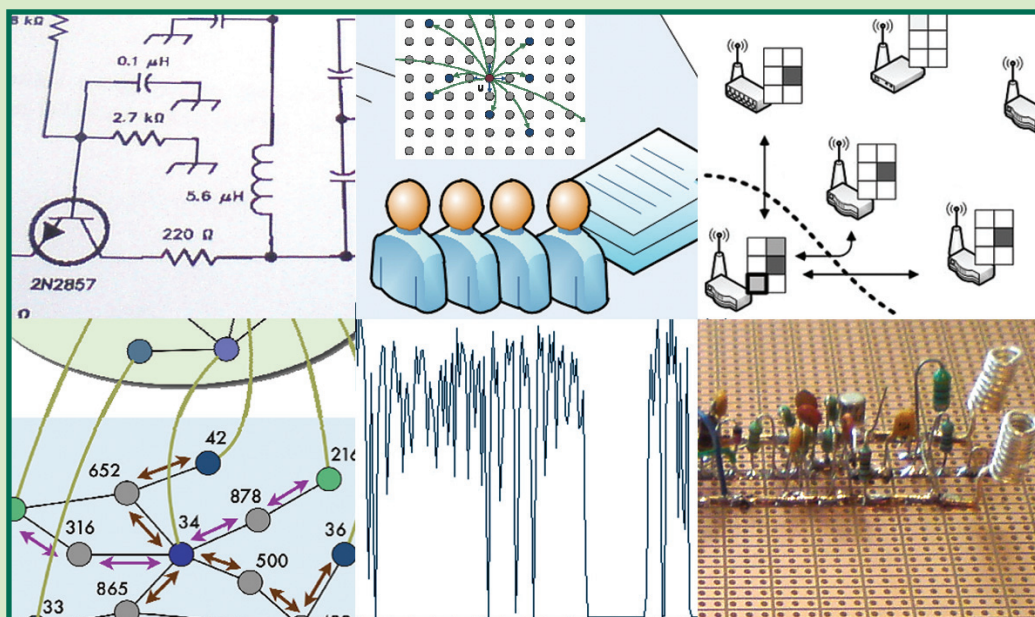


híradástechnika

1945 VOLUME LXVI. 2011

hírközlés ■ informatika



Kommunikációs protokollok

Kognitív rádiós alkalmazások

Szenzorhálózatok

3D-s videófolyamok vizsgálata

2011/3

**A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata
a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával**

nka

Tartalom

<i>BEKÖSZÖNTŐ</i>	1
Szabó Dávid, Gulyás András, Csernai Márton, Heszberger Zalán Struktúrafüggetlen címzésen alapuló önszerveződő útvonalválasztási architektúra	2
Tarnay Katalin, Dulai Tibor, Adamis Gusztáv Kommunikációs protokollok osztályozása – kihívások és lehetőségek	11
Kollár Zsolt, Varga Lajos, Horváth Péter Modern többvívős rendszerek kognitív rádiós alkalmazásokban	18
Kulik Ivett, Trinh Anh Tuan, Bella Péter 3D-s videófolyamok vizsgálata GPON alapú hálózaton	23
Ladvánszky János, Kovács Gábor Szinuszos oszcillátor amplitúdó- és fáziszajának meghatározása	31
Tóth András, Vajda Lóránt, Vajda Ferenc Szereporientált szenzorhálózati architektúra-modell	38
Galli Richárd Már alkalmazott technológiák és új üzleti intelligencia megoldások összehangolása	43
<i>Könyvajánló</i> 20 éves a magyarországi internet – ahogy a szakemberek megélték, megélik	48
Szalai Zsolt A projektfinanszírozás múltja és jelene	49

Védnök

Dr. HUSZTY GÁBOR a HTE elnöke

A folyóirat a Nemzeti Civil Alapprogram  támogatásával valósult meg.

Főszerkesztő

SZABÓ CSABA ATTILA

Szerkesztőbizottság

Elnök: ZOMBORY LÁSZLÓ

BARTOLITS ISTVÁN
BÁRSONY ISTVÁN
BUTTYÁN LEVENTE
GYŐRI ERZSÉBET

IMRE SÁNDOR
KÁNTOR CSABA
LOIS LÁSZLÓ
NÉMETH GÉZA
PAKSY GÉZA

PRAZSÁK GERGŐ
TÉTÉNYI ISTVÁN
VESZELY GYULA
VONDERVISZT LAJOS

Beköszöntő

szabo@hit.bme.hu

Kommunikációs protokollok, intelligens rádió, 3D-videótovábbítás az Interneten, szenzorhálózatok tervezése: többek között ezek az érdekes szakmai témákkal foglalkoznak jelen számunk cikkei.

Szabó Dávid és szerzőtársai

„Struktúrafüggetlen címezésen alapuló önszerveződő útvonalválasztási architektúra” című írásukban egy új útvonalválasztási architektúrát mutatnak be, mely a csomagtovábbítás során a közösségi hálózatokban fellelhető szabályosságokat használja ki. Az architektúrát egyszerű megvalósítás és önszerveződő működés jellemzi, melyben a felhasználók aktívan részt vesznek az útvonalválasztásban. A rendszer teljesítőképességét egy egyetemi Wi-Fi hálózat modelljén végzett szimulációk segítségével vizsgálták meg.

A kommunikációs protokollok szerteágazó világáról ad áttekintést a *Tarnay Katalin és szerzőtársai* által írt „Kommunikációs protokollok osztályozása – kihívások és lehetőségek” című összefoglaló. A szerzők röviden áttekintik a kommunikációs protokollok kialakulásának történetét, ismertetik a legfontosabb protokollfunkciókat, valamint olyan lehetőségeket és kihívásokat vázolnak fel, melyek elősegíthetik egy-egy protokoll kiválasztását egy adott probléma megoldására. Végül a protokollok jövőjéhez kapcsolódóan néhány fontos trenddel ismerkedhetünk meg.

A közeljövőben Magyarországon is lezajló digitális televíziós átállás következtében több frekvenciasáv felszabadul. E frekvenciákat a tervek szerint az átállást követően intelligens rádiós rendszerek használhatják adatkommunikációs célra. Az itt kommunikáló rádióknak magas fokú intelligenciával és gyors spektrumérzékeléssel kell rendelkezniük az interferencia elkerülése érdekében. *Kollár Zsolt és szerzőtársai*

„Modern többvívós rendszerek kognitív rádiós alkalmazásokban” című cikkükben ennek az érdekes témának a bevezetését követően ismertetnek és összehasonlítanak néhány, a kognitív rádiós modellben alkalmazható többvívós modulációs eljárást.

Az Interneten áthaladó 3D-videó-folyamok forgalmának növekedése komoly kihívások elé állítja az internetszolgáltatókat. A multimédia tartalmak számára a szokásos szolgáltatásminőség (QoS) mellett mára egyre inkább előtérbe kerül az élményminőség (QoE) vizsgálata, különösen az utóbbi években sokat fejlődött 3D sztereoszkópikus technológia esetén. A felhasználók szubjektíven érzékelik a különböző hálózati és multimédia jellemzők ráhatását a QoE-re. Ezzel foglalkozik a „3D-s videó-folyamok vizsgálata GPON alapú hálózaton” című írás. *Kulik Ivett és szerzőtársainak* eredményei igazolják, hogy a Gigabit Passive Optical Network (GPON) hálózat megfelelő 3D multimédia tartalmak átvitelére, de a látvány minősége érzékeny a kézbesítési változásokra.

Ladvánszky János és Kovács Gábor „Szinuszos oszcillátor amplitúdó- és fáziszajának meghatározása” cikke az oszcillátorok fáziszajával foglalkozik, amely jelentősen befolyásolja a kommunikációs rendszerek tulajdonságait. A szerzők egyszerű módszert adnak szinuszos oszcillátorok zajának pontos meghatározására. A Matlab program felhasználásával amplitúdó- és fáziszajt nyernek ki szinuszos oszcillátor mért időtartománybeli kimeneti jeléből és az oszcillátor zajának modellezéséhez a meghatározott zajok autó- és keresztkorrelációját vizsgálják meg.

Szenzorhálózatokat manapság az egészségügy, otthonápolás, közlekedés és sok más fontos terület alkalmazásai használják információk gyűjtésére. A különböző rendsze-

rek tervezése közben egyre nagyobb hangsúlyt kapnak azok a modellek, amelyek elősegítik a pontos és hatékony rendszerfejlesztést. *Tóth András és szerzőtársai* „Szereporientált szenzorhálózati architektúra-modell” cikke egy olyan modellt mutat be, amely lehetővé teszi egy adaptív és autonóm szenzorhálózat tervezését.

Az üzleti intelligencia (Business Intelligence) rendszereivel foglalkozik *Galli Richárd* „Már alkalmazott technológiák és új BI megoldások összehangolása” című írása. Nagyvállalati környezetben az üzleti intelligencia, annak bevezetése és a benne rejlő lehetőségek meglehetősen aktuális témának számítanak. Azonban egy ilyen rendszer adoptálása során számos nehézséggel szembesülhetnek a fejlesztők, az egyik ilyen a már meglévő rendszereknek a bevezetésre kerülő megoldással való illesztése, operációs rendszer és adatbázis-szinten. A cikk arra keres választ, vajon milyen esély van összeférhetetlenségre.

Projektmenedzsment rovatunkban most *Szalai Zsolt* „A projektfinanszírozás múltja és jelene” cikkét ajánljuk olvasóink figyelmébe. A szerző felteszi a kérdést: Aktuális-e ma Magyarországon a projektfinanszírozásról, mint önálló beruházásfinanszírozási konstrukcióról beszélni? A válasza az, hogy amennyiben szükség van ma Magyarországon bármiféle (ipari, közlekedési, egészségügyi, idegenforgalmi, erőművi, környezetvédelmi, mezőgazdasági stb.) infrastruktúra fejlesztésre, akkor a projektfinanszírozásnak mindenképpen van jelene és jövője. A cikk összefoglalja a projektfinanszírozás kialakulásának körülményeit, bemutatja főbb jellemzőit és struktúráját, valamint ismerteti azon területeket, ahol a mai Magyarországon is feltétlenül szükséges a projektfinanszírozás konstrukciójának alkalmazása.

Szabó Csaba Attila főszerkesztő

Struktúrafüggetlen címezésen alapuló önszerveződő útvonalválasztási architektúra

SZABÓ DÁVID, GULYÁS ANDRÁS, CSERNAI MÁRTON, HESZBERGER ZALÁN

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
{david.szabo,gulyas,csernai,heszberger}@tmit.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: útvonalválasztási architektúra, struktúrafüggetlen címezés, önszerveződés, közösségi hálózat

A cikkben egy olyan struktúrafüggetlen címezést alkalmazó útvonalválasztási architektúrát mutatunk be, mely a csomagtovábbítás során a közösségi hálózatokban fellelhető szabályosságokat használja ki. Az architektúrát egyszerű megvalósítás és önszerveződő működés jellemzi, melyben a felhasználók aktívan részt vesznek az útvonalválasztásban.

A rendszer teljesítőképességét szimulációkon keresztül elemezzük, melyeket egy egyetemi Wi-Fi hálózat modelljén végeztünk.

1. Bevezetés

Az Internet történetét ismerők előtt nem titok, hogy a manapság nélkülözhetetlen hálózat, mely felhasználók milliárdjait kapcsolja össze, nem tudatos, előrelátó tervezés eredménye. Ennek következtében ma több olyan problémával, jelenséggel küzd, melyek egyre nehezebbé teszik mind az útvonalválasztást, mind pedig a hálózatmenedzsmentet (pl. multihoming, mobilitás) [1].

Ennek oka számos szakember szerint az Internet hierarchikus felépítésében keresendő, vagyis abban, hogy az IP-címek integrált információként tartalmazzák egy csomópont helyét és azonosítóját. A megoldás pedig egy szemléletváltás volna, mely olyan címezési rendszert vezetne be, ahol hely és azonosító különválna egymástól (flat címezés). Ezzel a megközelítéssel hosszútávon előre tervezhetővé s egyszerűbbé tehető a kommunikáció. Az 1. ábrán példaként a mobilitás jelensége látható hierarchikus és flat típusú címek esetén.

Az egyetlen akadály a flat routing felé vezető úton, hogy a jelenlegi útvonalválasztó algoritmusok nem képesek hatékonyan kezelni az ilyen jellegű címeket. A cél tehát egy olyan útvonalválasztási algoritmus kidolgozása, mely struktúrafüggetlen azonosítók esetén is hatékony működésre képes. Több olyan kezdeményezés is született, mely erre a problémára próbál megoldást nyújtani (HIP, FARA, TRIAD, IPNL, i3 stb. [3-7]), amelyek a név és hely különválasztását ugyan megvalósítják, de továbbra is szükség van névfeloldásra (DNS),

mely aztán a neveket átfordítja hálózati helyet jelző címekre. Így tehát a hálózat egésze mégsem struktúrafüggetlen, vagyis az útvonalválasztás skálázódása továbbra is függ a hálózat felépítésétől.

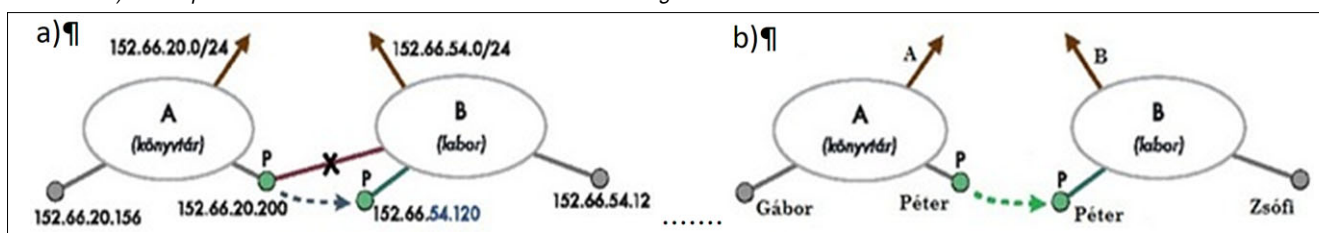
Fentiekől eltérő megoldást jelentenek a ROFL[8] és VRR[9] útvonalválasztási sémák, melyek a struktúrafüggetlenséget egy DHT-gyűrű alkalmazásával teszik lehetővé. A hatékonyság érdekében viszont folyamatosan fent kell tartani a DHT-gyűrűt. A ROFL esetén a routerek cache-elik a kiépített útvonalakat, ami ugyancsak menedzselést igényel, a VRR-t pedig csak kisméretű hálózatokra tesztelték[9].

A jelen cikkben egy teljesen újfajta megközelítést szeretnénk bemutatni, mely egy igen egyszerű ötleten, illetve az Internet és a közösségi hálózatok hasonlóságán alapulva próbál alternatívát kínálni a ma létező megoldások helyett. A 2. szakaszban röviden bemutatjuk a kidolgozott útvonalválasztási algoritmus alapötletét. A 3. szakaszban a megvalósítás lépéseit vesszük sorra, a 4. szakasz pedig a szimulációs eredményeket tárgyalja, végül a cikk összefoglalással zárul.

2. A közösségi hálózatok és az Internet

A hálózatokkal foglalkozó kutatások az utóbbi években jelentős eredményeket értek el. Az egyik meghatározó felfedezés Barabási-Albert László nevéhez köthető [10], aki olyan új hálózati modellt vezetett be, mely minden

1. ábra a) hierarchikus címek esetén, egy csomópont azonosítója megváltozik, ha más alhálózatban mozog [2],
b) flat típusú azonosítók esetén erre nincs szükség



eddiginél (szabályos gráfok, Erdős-Rényi modell [11], kisvilág modell) pontosabban közelíti a valós hálózatokat [18]. Ezek az úgynevezett skálafüggetlen hálózatok, melyek speciális jellemzőkkel bírnak: fokszámeloszlásukra a 80-20%-os szabály jellemző, vagyis a csomópontok 80%-a alacsony, míg 20%-a igen magas fokszámmal rendelkezik, az átlagos úthosszuk alacsony, a csoportképződési együttthatójuk pedig magas.

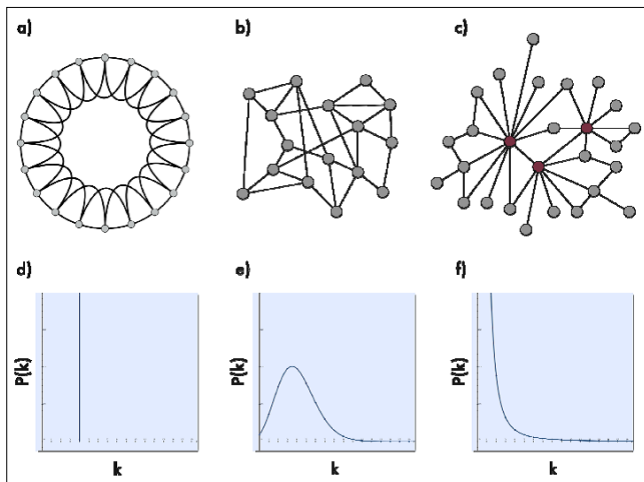
A 2. ábrán három különböző struktúrájú hálózat látható, s a hozzájuk tartozó eloszlásfüggvények.

2. ábra

Különböző struktúrájú hálózatok és azok fokszámeloszlása. A felső sorban példa néhány tipikus gráftopológiára:

a) legközelebbi szomszédokat összekötő gyűrű, azonos fokszámú csomópontokkal, b) véletlen gráf, melynek jellemzője, hogy közepes fokszámú csomópontból van a legtöbb, míg igen kis és igen nagy fokszámúból csak kevés, c) skálafüggetlen gráf, melyben a csomópontok többsége kis fokszámú, de van néhány igen nagy fokszámú is.

Az alsó sorban a topológiákhoz tartozó fokszámeloszlást láthatjuk: d) Dirac-delta függvény, e) Poisson-eloszlás, f) hatványfüggvény (Yule-Simon eloszlás).



Mára tudjuk, hogy a természetben előforduló hálózatok között igen sok skálafüggetlen hálózat található. Ha például csomópontoknak tekintjük az embereket és vonallal összekötjük azokat, akik ismerik egymást, akkor az emberek közösségi hálózatának gráfját kapjuk, melyről megállapítható, hogy számos aspektusból nézve skálafüggetlen jelleget mutat [19-21]. Az igazán érdekes felfedezés azonban az, hogy az Internet – annak ellenére, hogy nem a természet alkotása – ugyancsak skálafüggetlen hálózat.

A bemutatásra kerülő útvonalválasztási architektúra alapötletét éppen ez a hasonlóság adja. Ugyanis ha megvizsgáljuk a közösségi hálózatokat (vagy egy picit átgondoljuk a kapcsolatrendszerünket), akkor azt a meglepő felfedezést kapjuk, hogy tetszőlegesen kiválasztott emberhez viszonylag hamar eljuthatunk a saját ismerőseinken és azok ismerősein keresztül. A skálafüggetlen hálózatok egyik legfontosabb – szerkezetükből adódó – tulajdonsága éppen ez, vagyis hogy két tetszőleges csomópont a hálózat méretéhez képest nagyon kevés kapcsolaton keresztül képes utat találni egymáshoz.

Ezt egy neves szociálpszichológus, Stanley Milgram 1967-ben elvégzett kísérlete [12] is igazolja, melynek során az Egyesült Államokban arra kértek embereket, hogy leveleket továbbítsanak személyes kapcsolataikon keresztül. Például egy Nebraska-i forrásszemélynek egy levelet kellett eljuttatnia egy Massachusettsben lakó célszemélyhez. A forrásszemély információkat kapott a célszemélyről, például a címét és a foglalkozását, ezek alapján pedig továbbítania kellett a levelet egy közeli ismerősének azzal a céllal, hogy a levél a leghatékonyabban jusson el a célszemélyhez. Akikhez a levél eljutott a továbbítás során, ugyanezeket az instrukciókat kapták, amíg a levél el nem jutott a célszemélyhez. A sikeres láncokban a közbülső lépések számának átlaga öt és hat közé esett. Innen ered a „six degrees of separation” (hat lépés távolság) kifejezés.

A kérdés inentől az, hogy ha az Internet is skálafüggetlen hálózat, akkor vajon megvalósítható-e, hogy a routerek az emberekhez hasonlóan, mindössze lokális információk birtokában, ugyanakkor nagy hatékonysággal legyenek képesek utat találni egymáshoz. Mindezt önszerveződő módon, külső behatás és irányítás nélkül.

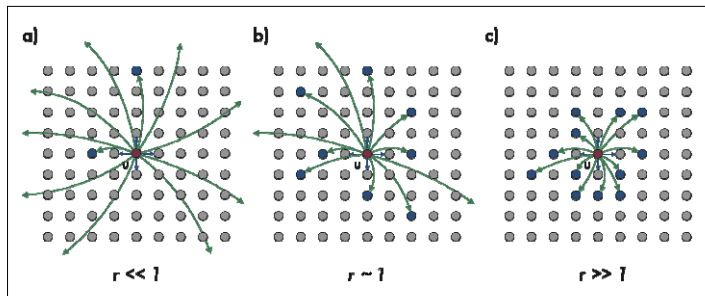
A következő szakaszban sorra vesszük azokat a tényezőket, amelyek lehetővé teszik a közösségi hálózatok kommunikációs hatékonyságát, majd bemutatunk egy matematikai modellt a Milgram-kísérlet mögötti jelenségekre, s végül az erre a modellre alapuló megoldásunkat mutatjuk be, amivel a fenti jellemzők bevezethetők az Internet útvonalválasztásába.

3. Hatékony útvonalválasztás lokális információk alapján

A közösségi hálózatokban tapasztalható hatékony kommunikációnak két alappillére van. Az egyik az előzőekben említett skálafüggetlen jelleg, a másik pedig a hálózatban lévő pluszinformáció. Előbbi a hálózat szerkezetét jellemzi (fokszám, csoportképződési együtttható stb.), melynek kapcsán a legfontosabb tulajdonság, hogy az ilyen típusú hálózatokban a hálózat méretéhez képest rövid átlagos úthosszak találhatók. Utóbbi pedig arra teszi képessé a csomópontokat, hogy ezeket a rövid utakat megtalálhassák és ki tudják használni a kommunikáció során.

3.1. A Kleinberg-modell

Kleinberg mutatott be elsőként egy analitikus modellt [13] a Milgram-kísérlet mögötti jelenségekre, azaz egy modellt a közösségi hálózat felépítésére, valamint a közösségi hálózatokban feltételezhető keresési mechanizmust megvalósító elosztott keresőalgoritmust. Kleinberg szerint a Milgram-kísérletből két fontos következtetést lehet levonni. Először is a közösségi hálózatokban rövid utak léteznek, továbbá az emberek képesek megtalálni ezeket a láncokat, még ha keveset is tudnak a célszemélyről. A jelenség mögött rejtett navigációs „segítségek” jelenlétét feltételezzük a hálózatban,



3. ábra

A homofília paraméter hatása a Kleinberg-modell által létrehozott hálózat struktúrájára.

A teljes hálózatot a rács függőleges és vízszintes irányú meghosszabbításaként képzelhetjük el.

Az ábrákon a távoli kapcsolatok alakulása látható a homofília paraméter tükrében. Látható, hogy $r \sim 1$ esetén a távoli kapcsolatok többnyire a csomópont közelében lesznek, de akad néhány igen távoli kapcsolat is, ezáltal létrehozva mind a rövid utakat, mind pedig a mögöttes struktúra információt a hálózatban.

vagyis pluszinformációt. Kleinberg a Watts és Strogatz-féle [14] kisvilág-modellt általánosította, s általános D-dimenziós rácsokra fogalmazta meg kísérleteit, melyet az egyszerűség kedvéért kétdimenziós rácson mutatunk be.

Ha veszünk egy $n \times n$ -es rácsot, melyben a rácspontok a csomópontoknak, a rács élei pedig az utaknak felelnek meg, akkor minden csomópont egyedi koordinátával fog rendelkezni, mely által távolságot definiálhatunk két csomópont között. A közvetlen rácsszomszédok lesznek egy csomópont közvetlen kapcsolatai, s ugyanakkor adott valószínűséggel létrehozunk véletlen számú távoli kapcsolatot is. Ezt a valószínűséget egy úgynevezett homofília-paraméter segítségével állíthatjuk (jele legyen r). A 3. ábrán a kapcsolatok alakulása látható r értékétől függően.

A Kleinberg-féle modellben ezek után a Milgram-kísérletnek megfelelően történik a keresés. Az üzenet továbbításához tehát a következő információk megléte szükséges:

- az összes csomópont közeli kapcsolatai (azaz tudomása van a hálózat mögöttes struktúrájáról);
- a célcsoópont rácsbeli helye, tehát a csomópont struktúrában értelmezett koordinátái;
- azoknak a csomópontoknak a helyéről és távoli kapcsolatairól, akik eddig a pontig részt vettek az üzenet továbbításában (ez a feltétel sok esetben elhagyható).

Ezek alapján mindig ahhoz a csomóponthoz továbbítódik az üzenet, mely a legközelebb van a célcsoóponthoz a definiált távolságmetrika alapján. A keresés hatékonysága abban rejlik, hogy egyrészt a rács biztosítja, hogy mindig közelebb tudjunk kerülni a célponthoz, a távoli kapcsolatok pedig megteremtik a rövid utakat a hálózatban (ha r értéke megfelelő). Ezt a keresést mohó útvonalkeresésnek nevezzük.

3.2. Az útvonalválasztási architektúra bemutatása

Az Internet, skálafüggetlen hálózati jellegének köszönhetően már rendelkezik a hatékony kommunikációhoz szükséges, fentebb említett két alappillér közül az egyikkel. A megoldandó, hátralévő feladat tehát a pluszinformáció bevitele. A Kleinberg-modellben ezt egy távolságmetrika definiálása teszi lehetővé (tehát egy úgynevezett metrikus tér létrehozása, melyben elhelyezhetőek a csomópontok), illetve az a szabály, hogy két csomópont annál nagyobb valószínűséggel van összekötve egymással, minél közelebb vannak egymáshoz a definiált távolságmetrika alapján.

A kidolgozott architektúrában szintén definiálásra került a távolságmetrika, de a Kleinberg-modelltől eltérően két csomópont távolsága nem a tényleges koordináta-rendszerbeli távolságukat jelenti, hanem a hasonlóságukat. Vagyis két csomópont annál nagyobb valószínűséggel lesz összekötve, minél hasonlóbbak egymáshoz. Ez megfelel a közösségi hálózatokban tapasztalható, emberekre jellemző ismerkedési szokásoknak, hiszen két ember annál nagyobb valószínűséggel kerül kapcsolatba egymással, minél hasonlóbbak (például egy politikai ismerősei között nagyobb valószínűséggel találunk politikust, mint kézilabdaedzőt).

A hasonlóságszámítás úgy válik lehetővé, hogy hálózatba kerüléskor minden csomópont kap egy azonosítót, ami lehet akár többdimenziós is (az emberek ismerkedése szintén több dimenzió mentén történik, például: foglalkozás, hobbi, értékrend). Mindössze két megkötés vonatkozik rá: egyedinek és sorba rendezhetőnek kell lennie. Vagyis lehet akár 32 bites, akár 128 bites szám, de bármi más is. Ez egyben azt is jelenti, hogy az így kiosztott azonosítók kompatibilisek mind az IPv4-gyel, mind az IPv6-tal. Ezek után két csomópontra azt mondjuk, hogy annál hasonlóbbak egymáshoz, minél kisebb az azonosítóik távolsága.

Az így kialakított metrikus teret beleágyazzuk a hálózat jelenlegi topológiájába. Közvetlenül azért nem alkalmazható a módszer, mert nem veszi figyelembe a valós hálózatok fizikai korlátait. Például az Internet fizikai topológiája adott, és nem lehet tetszőleges pontok között fizikai kapcsolatokat létesíteni (nem áshatunk be új kábelt tetszőleges routerek közé, mert hasonló a MAC-címük). A megoldást egy ún. átfedő (overlay) hálózat létrehozása jelenti, amit a fizikai topológiához rendelünk hozzá. Az átfedő hálózat tetszőleges navigálható struktúrát épít a rendszerbe, így beleágyazhatunk egy olyan metrikus teret a fizikai hálózatba, ami alapján hatékony elosztott keresést valósíthatunk meg a rendszerben a fentebb bemutatott módszerek segítségével.

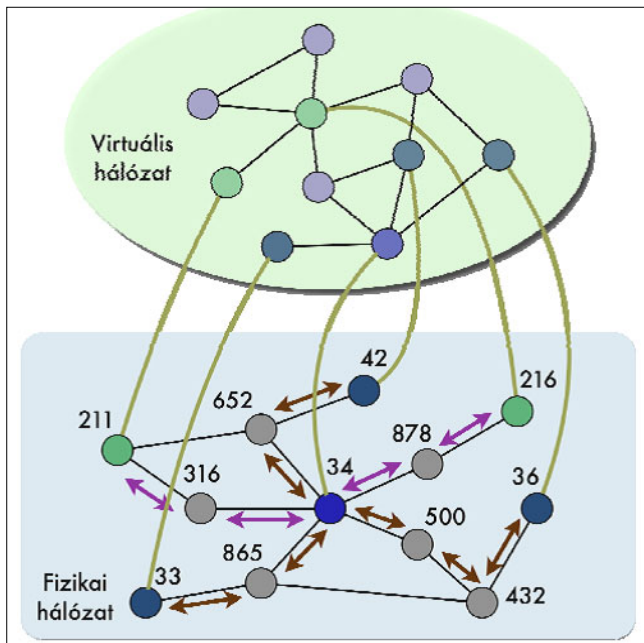
A metrikus háló kiépítése (vagyis az átfedő hálózat kialakítása) az egyes csomópontok szomszédkeresésével történik. Minden csomópont a már meglévő fizikai bejegyzések segítségével elkezdi magának virtuális szomszédokat keresni, majd pedig az így kialakított kapcsolatokat routingtábla-bejegyzések formájában rögzíti. Ezek az útvonalak kétirányúak, be vannak jegyezve a virtuális út kezdőcsomópontján és a célcsoópontján is. A virtuális útvonalak információi a kezdő és célcsoóponton túl az útvonalon elhelyezkedő csomópontok

útvonalválasztási táblákban is be vannak jegyezve, ezáltal az útvonalválasztás során az összes csomag fel tudja használni az adott csomóponton áthaladó virtuális útvonalakhoz kapcsolódó bejegyzéseket. A virtuális útvonalakhoz tartozó bejegyzések alapján többletinformációt kaphatunk más csomópontok hálózatban való elhelyezkedéséről, azaz arról, hogy keresés során a csomópontból melyik irányba (a csomópont melyik fizikai kapcsolatán keresztül) érdemes elindulni egy adott azonosítóval rendelkező csomópont felé. Végül kialakul egy hálózat, ahol a csomópontok routing táblái mind a fizikai, mind pedig a virtuális kapcsolatokhoz tartozó bejegyzéseket tárolják (4. ábra).

4. ábra

A fizikai topológia és az architektúra által kialakított virtuális hálózat kapcsolata.

Alul látható a fizikai hálózat, felül pedig a komplex jellegű virtuális átfedő hálózat, amelyben a virtuális szomszédok össze vannak kapcsolódva egymással. A példában a kék csomópontnak két virtuális szomszédja van (36, 33). Emellett látható a két zöld csomópont (211, 216) közötti virtuális útvonal, ami áthalad a kék (34) csomóponton.



Innentől, ha egy csomópont továbbítani szeretne egy csomagot, mindössze azt kell megnéznie, hogy melyik szomszédja (legyen akár fizikai, akár virtuális) azonosítója hasonlít legjobban a célcsomópont azonosítójához. Ez a kombinált hálózat lehetőséget teremt arra, hogy a fizikai síkból nézve lerövidítsük az utat egy virtuális szomszédon keresztül, vagy akár épp fordítva, a fizikai utak rövidítik az algoritmus által talált útvonalat.

Az utak kiépítése a fentiekben már bemutatott mohó keresés egy változatával, a mohó bolyongással történik. A mohó bolyongás annyiban tér el a mohó kereséstől, hogy nem mindig a legjobbnak ígérkező lehetőséget választjuk, hanem egyszerűen nagyobb valószínűséggel választjuk a kedvezőbb utat. Azért fontos ez a különbség, mert ha a mohó keresést egy adott topológián többször futtatjuk egy adott csomópontból kiindulva, előfordulhat, hogy mindig ugyanazt a virtuális szom-

sédot találja meg az algoritmus, ha a futások között a topológia és a bejegyzések nem változnak. Az algoritmus egyik előnye, hogy paramétereizhető a bolyongás lépésszáma, vagyis a bolyongás során nem kell mindenképpen megtalálni a leghasonlóbb csomópontot, hanem adott lépés után azzal épül ki a kapcsolat, akihez addig eljutott a keresés. Ezáltal szabályozható a lokalitás megőrzésének mértéke.

Egy új csomópontnak csatlakozáskor mindössze annyi a teendője, hogy igyekezzen virtuális kapcsolatokat kiépíteni, s ezáltal részévé válni a hálózatnak (hasonlóan ahhoz, ahogy az ember beilleszkedik egy közösségbe). Ezt megkönnyíti a hálózatban már jelenlévő átfedő hálózat, sőt egyre könnyebbé teszi, hiszen minél több virtuális kapcsolat jön létre, annál pontosabb metrikus tér alakul ki, ami még hatékonyabb kapcsolatkiépítést tesz lehetővé. Dinamikus hálózat esetén persze csak akkor jelenthet hathatós segítséget az átfedő hálózat, ha folyamatosan aktuális, megbízható információkat szolgáltat. Erről az algoritmus szintén elosztott módon gondoskodik, vagyis a bejegyzéseket az egyes csomópontok lokális szabályok alapján tartják karban.

A csomópont-kieséseket a rendszer fizikai és virtuális síkon is kezeli. Ez azt jelenti, hogy fizikai link esetén, ha elérhetetlenné válik a szomszédos csomópont, akkor töröljük az ehhez tartozó bejegyzést. Virtuális kapcsolatok esetén pedig az egyes csomópontokba beépített lokális routingtábla-karbantartó szabályok gondoskodnak a megbízható bejegyzések kezeléséről. A megkülönböztetés oka részben az, hogy a csomópontok fizikai szomszédokkal való kommunikációja overhead szempontjából nem okoz problémát. Ezzel szemben a virtuális utak karbantartása már sokkal több üzenetváltást igényelne, ha aktívan, lekérdezésekkel tartanánk fent őket, mivel egy virtuális út mindig több csomóponton keresztül húzódik. Ezért célszerűbb lokális szabályokon alapuló döntési mechanizmust alkalmazni az egyes csomópontokra, hogy mindenki egyénileg döntse el, melyek azok a bejegyzések, melyeket megtart.

Az 1. táblázaton a routing táblák bejegyzéseinek felépítése látható, mely a következő mezőkből áll:

- **Végpont:** annak a csomópontnak az azonosítója, ami a kapcsolat végpontjához tartozik.
- **Következő szomszéd:** a végpont (vagyis a szomszéd) felé vezető első fizikai csomópont azonosítója. Fizikai szomszéd esetén tartalma megegyezik az első mező tartalmával.
- **Típus:** a kapcsolat típusát határozza meg.
Értéke ötféle lehet:
 - 0: fizikai bejegyzés
 - 1: virtuális útvonal kezdőpontjához tartozó bejegyzés
 - 2: virtuális útvonal végpontjához tartozó bejegyzés
 - 3: a csomóponton áthaladó virtuális úthoz tartozó kezdőpont felé mutató bejegyzés
 - 4: a csomóponton áthaladó virtuális úthoz tartozó végpont felé mutató bejegyzés
- **Kor:** egy időbélyeg, mely a bejegyzés keletkezésének idejét jelzi.

- **Aktivitás:** szám, mely jelzi, milyen gyakran veszik igénybe a bejegyzést keresésekkor.
- **Megbízhatóság:** jelzi, hogy mennyire releváns a bejegyzés az útvonalválasztás szempontjából, értéke a *Kor* és *Aktivitás* mezők alapján kerül meghatározásra.

Végpont	Köv. szomszéd	Típus	Kor	Aktivitás	Megbízhatóság
---------	---------------	-------	-----	-----------	---------------

1. táblázat: A routing táblák bejegyzéseinek felépítése

A virtuális kapcsolatok karbantartását minden csomópont adott időközönként önállóan végzi, melyhez a bejegyzések utolsó három mezőjét, vagyis a *Kor*, *Aktivitás*, *Megbízhatóság* mezőket használja. A *Kor* és *Aktivitás* egy-egy mérőszámként szolgál, melyből a *Megbízhatóság* származtatható. A származtatás azon a feltetelezésen alapul, hogy egy bejegyzés annál jobb, minél frissebb, s minél aktívabb. A *Kor* mező egy időbélyeget tartalmaz, mely a bejegyzés létrejöttékor kap értéket, az *Aktivitás* pedig mindig eggyel nő, valahányszor a csomópont az adott bejegyzés alapján dönt az útvonalkeresés során.

A karbantartási folyamat három lépésből áll:

- (1) A routing tábla legaktívabb bejegyzésének meghatározása.
- (2) Aktuális kor számítása a *Kor* mezőből a következő képlet alapján:

$$aktKor = \left(\frac{Kor}{Most} \right) * \alpha$$

Aktuális aktivitás számítása az *Aktivitás* mezőből a következő képlet alapján:

$$aktAktivitás = \left(\frac{Aktivitás}{maxAktivitás} \right) * \alpha$$

Az aktKor és aktAktivitás alapján *Megbízhatóság* számítása:

$$Megbízhatóság = \frac{aktAge + aktAktivitás * \beta}{2 + (\beta - 1)}$$

Az α és β a modell paramétereiként megadható arányossági tényezők.

- (3) Azon bejegyzések törlése, melyek nem érnek el egy adott megbízhatóságot. Ez az érték paraméterezhető, így akár speciálisan az adott hálózathoz igazítható. A jövőbeni munka egyik célja, hogy a paramétert az adott csomópont adaptívan határozza meg, úgy, hogy az a saját számára a legmegfelelőbb legyen.

4. Szimulációk

Az algoritmus teszteléséhez egy egyetemi Wi-Fi hálózatot szimuláló dinamikus modellt készítettünk. A választás oka, hogy az egyetemi hallgatók többsége rendelkezik notebook-kal, melyet egy tanítási nap folyamán több alkalommal és több helyen is használnak, ezáltal fokozottan érvényesül a mobilitás problémája, továbbá az aktív-inaktív csomópontok száma is folyamatosan változik a hálózatba bekapcsolódó, majd eltűnő gépek által. Így jelentkeznek a bevezetőben említett hálózatmenedzsmentbeli negatívumok, s a hálózat komplexitása is megfelelő a mérések hatékony elvégzéséhez, valamint az algoritmus teljesítőképességének bemutatásához.

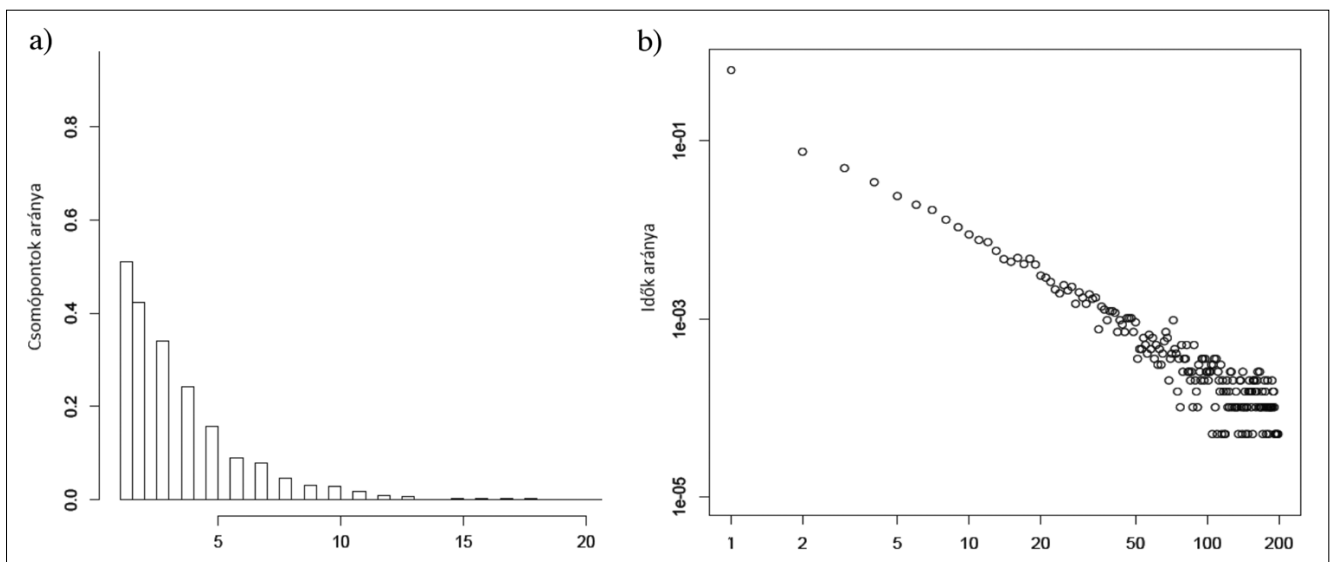
A megvalósított modell lényegében szabályok, s definíciók halmazát jelenti, melyek egyaránt vonatkoznak a hálózatban lévő csomópontokra, s a világra, melyben a csomópontok léteznek. A modell készítésekor egy méréseken alapuló WLAN mobilitási modellt [15], illetve a Barabási-féle mobilitás modellt [16] vettük alapul, továbbá tanulmányoztuk a BME gerinchálózatának felépítését.

A modell helyességét diagramok segítségével ellenőriztük, melyeken megfigyelhető az Internetre jellemző skálafüggetlen hálózati jelleg. Az 5. ábrán a felhasználók helyváltoztatásának gyakorisága és nagysága, továbbá a routerek terheltsége látható.

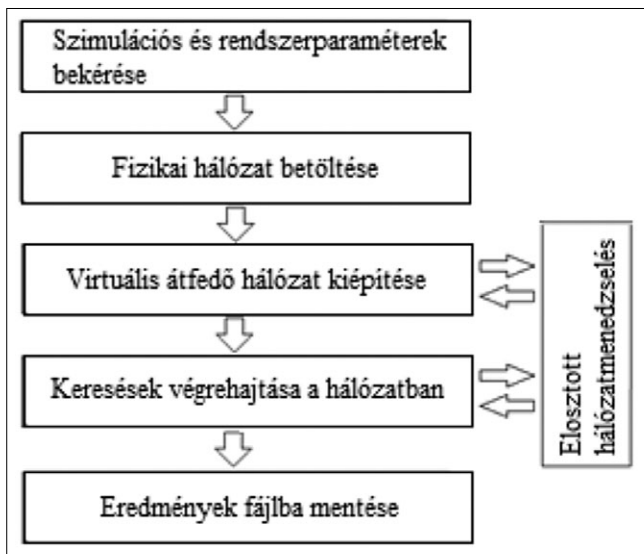
4.1. A szimulációs modell bemutatása

A szimulációs modell a mobilitás modell és a bemutatott algoritmus egyesítését jelenti. A modell modulá-

5. ábra A routerek látogatottságának eloszlása (a) és az internetezéssel töltött időintervallumok (b)



ris felépítésű, s a szükséges funkciókat különböző modulok valósítják meg. Felépítésének sematikus rajza a 6. ábrán látható. A modulok egymással szoros összeköttetésben vannak.



6. ábra A szimulációs modell sematikus ábrázolása
A modell funkcióit egymással soros kapcsolatban álló modulok valósítják meg. A programindítás során a parancssorban adhatjuk meg a bemeneti rendszerparamétereket. Ezek után a program inicializálja a modellt, betölti a meghatározott fizikai hálózat topológia-információját, valamint ezek alapján létrehozza a virtuális átfedő hálózatot. A modell a hálózat felépítése után véletlenül kiválasztott csomópontok között mohó kereséseket végez és a keresések eredményeit valamint az egyéb rendszer- és teljesítményparamétereket kimenti egy fájlba a merevlemezre. A modell működése közben elosztott hálózatmenedzselés történik, vagyis minden egy csomópont karbantartja a saját bejegyzéseit, lokális szabályok alapján.

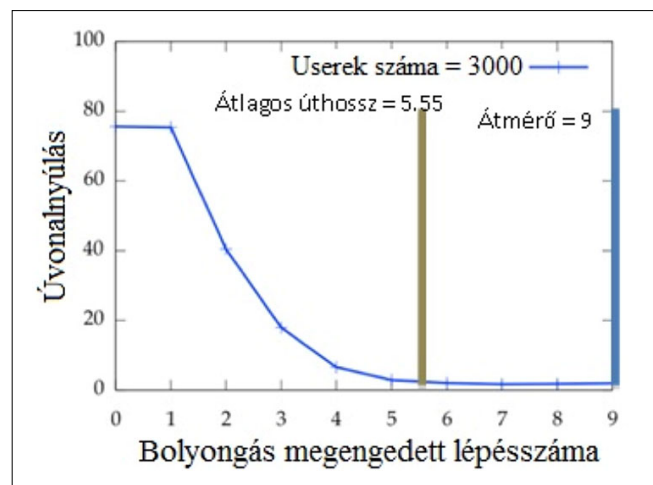
4.2. Az architektúra kiértékelése

Az architektúra hatékonyságának felmérésére szimulációkat végeztünk a dinamikus modellen. A szimulációk során arra voltunk kíváncsiak, hogy egy véletlenszerűen kiválasztott csomópont milyen hatékonysággal talál meg egy másik véletlenszerűen kiválasztott csomópontot a hálózatban. A kereső algoritmus mohó útvonalválasztást valósít meg, s ennek során mind a fizikai, mind pedig a virtuális bejegyzéseket használja. A mohó algoritmust úgy implementáltuk, hogy tárolja az útvonalbejárás során a már látogatott csomópontokat, s csak akkor lép ismét egy ilyen csomópontba, ha már nem tud máshova menni. Mivel a bejárás során kialakulhat hurok, így kellően sok lépés után (a szimulációk során 1000 volt ez az érték) sikertelennek nyilvánítottuk a keresést. A továbblépés során pedig mindig afelé a csomópont felé halad a bejárás, aki a legígéretebbnek tűnik, vagyis az ő azonosítója hasonlít legjobban a célcsomópont azonosítójához.

A keresések során feljegyeztük a lépések hosszát, s ezek átlagából készítettünk statisztikát. A szimulációk során a gerinchálózatot a BRITTE [17] topológia generátor használatával készítettük el. A hálózat 500 routert tartalmazott, amelyek véletlen módon vannak elszórva a fizikai térben. A felhasználók száma tipikusan 500-3000 között változott.

Metrikus tér kiépítése a lokalitás megőrzésével

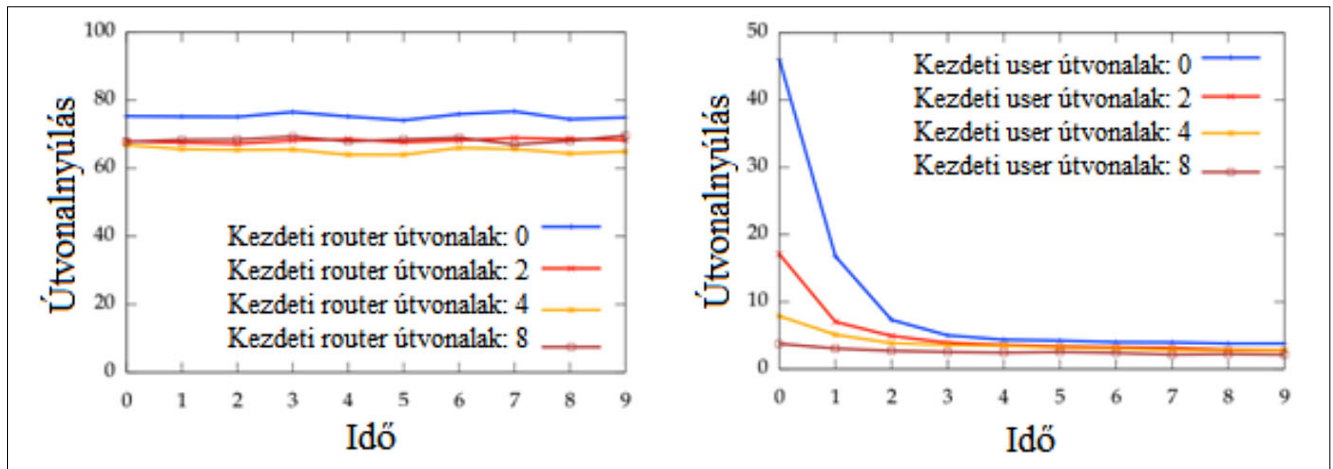
A nagyméretű komplex hálózatokban csak elosztott módszerekkel tudunk hatékonyan keresni, mivel a dinamizmusból adódó topológiaváltozás globális szemlélettel követhetetlen. Ennek következtében a karbantartás, vagyis a friss információk küldése, majd a belőlük globálisan meghatározott legrövidebb utak számítása nem tudja elég gyorsan követni a topológia változását. Az elosztott útvonalkeresésen alapuló algoritmusok mindig csak a lokális információkat veszik figyelembe. Ami a bemutatott architektúrát illeti, a hatékonyság az átfedő hálózat metrikus terének pontosságától függ. Annál pontosabb a metrikus tér, minél több lépésszámot engedünk meg a csomópontoknak a virtuális szomszédkeresés során. Ezt a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra Az útvonalnyúlás mértéke a bolyongás megengedett maximális lépésszámának függvényében
Jól látszik, hogy a bolyongás lépésszámát célszerű az átlagos úthossz értékének választani, ezáltal nem lesznek indokolatlanul hosszú virtuális utak a hálózatban.

A 0-ás és 1-es lépésszámú bolyongás között azért nincs különbség, mert az 1-es lépésszám csak a fizikai szomszédokig engedi a virtuális szomszédkeresést, s ha egy csomópont már fizikai szomszéd, akkor nem választható virtuálisként. Az ábrán jól látszik, hogy a bolyongás maximális megengedett lépésszámának megválasztása hogyan befolyásolja az átlagos útvonalnyúlást. Ezáltal az útvonalalkiépítésekkel kapcsolatos overhead is korlátozható. Ezen a ponton érdemes hangsúlyozni, hogy a keresések az esetek 99,9%-ában sikeresek voltak, de mivel csak 1000 feletti lépésszám felett nyilvánítottuk sikertelennek a kereséseket, ez az információ az átlagos úthosszakkal együtt mond sokat. (A 11. ábrán az is látható, hogy az átlagos útvonalnyúlás 2-es körüli értéket is elér, amikor is még mindig 99,9%-ban sikeresek a keresések.)

Az architektúra először a routerek közötti átfedő hálózatot építi ki, majd ahogy folyamatosan érkeznek a userek, ők a már meglévő metrikus hálót is használják, s alakítják a virtuális szomszédok keresése során. A 8. ábrán látható a rendszer kezdeti hatékonyságának alakulása, annak függvényében, hogy routerek és userek kezdetben mennyi virtuális kapcsolatot építenek ki.



8. ábra

A baloldali ábrán látható a keresés hatékonysága, ha csak a routerek húznak ki virtuális útvonalakat, a jobb oldali ábrán látható, hogy nő a hatékonyság, ha a userek is részt vesznek a virtuális útvonalak kiépítésében. A jobb oldalon körönként három virtuális útvonalat húznak ki a userek, ezért idővel eltűnik a kezdeti különbség a keresés hatékonyságában.

Ha például csak a routerek építik ki az átfedő hálózatot, akkor egy user sem lesz képes a hatékony keresésre, mivel a routereknek csak arról lesz pluszinformációjuk, hogy miként találjanak meg másik routereket a hálózatban.

A 9. ábrán jól látszik, hogy akkor a leghatékonyabb a rendszer, ha a routerek és userek is folyamatosan építenek ki virtuális útvonalakat.

A keresés hatékonysága

a hálózat méretének függvényében

Az architektúra teljesítőképességében nagy szerep jut a userek által kiépített virtuális utaknak.

A 10. ábrán látható, hogyan alakul az átlagos útvonalnyúlás a userek számának függvényében, ha minden user adott számú virtuális útvonalat épít ki körönként. Elsőre talán meglepő lehet, hogy minél több user van a hálózatban, annál rövidebb a kezdeti átlagos útvonalnyúlás. Ennek az a magyarázata, hogy a hálózat-

ban annál több virtuális útvonal – vagyis pluszinformáció – van, minél több user csatlakozik a hálózathoz, és épít ki virtuális útvonalat. A dinamikus környezetben 2500 user esetén akár 1,7-es útvonalnyúlási értéket is el lehet érni a jelenleg implementált karbantartó algoritmussal.

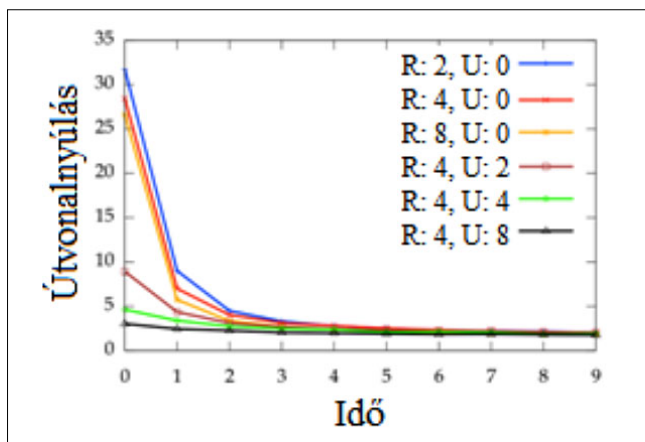
A routingtáblák karbantartása

Az architektúra önszerveződő módon, adaptív algoritmussal valósítja meg a routingtáblák karbantartását, vagyis nincs szükség globális információra. Minden user önmaga dönt a saját routingtáblájának bejegyzéseiről, aszerint, hogy mennyire tűnnek megbízhatónak az útvonalválasztás terén.

A 11. ábrán jól látható, hogy a megvalósított karbantartással a routerek átlagos bejegyzésszáma majdnem a felére csökkenthető, amellett, hogy a rendszer teljesítménye változatlan.

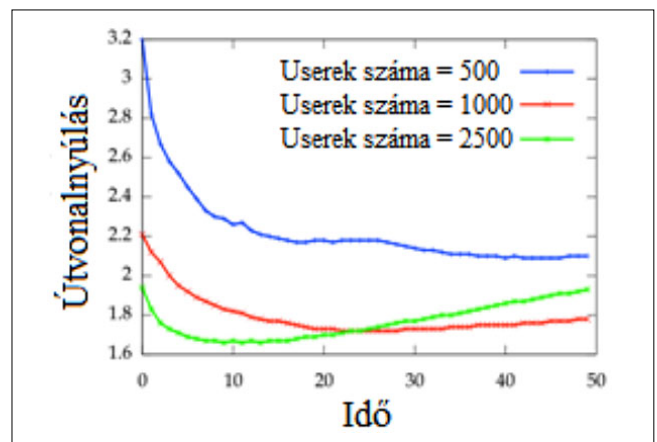
9. ábra

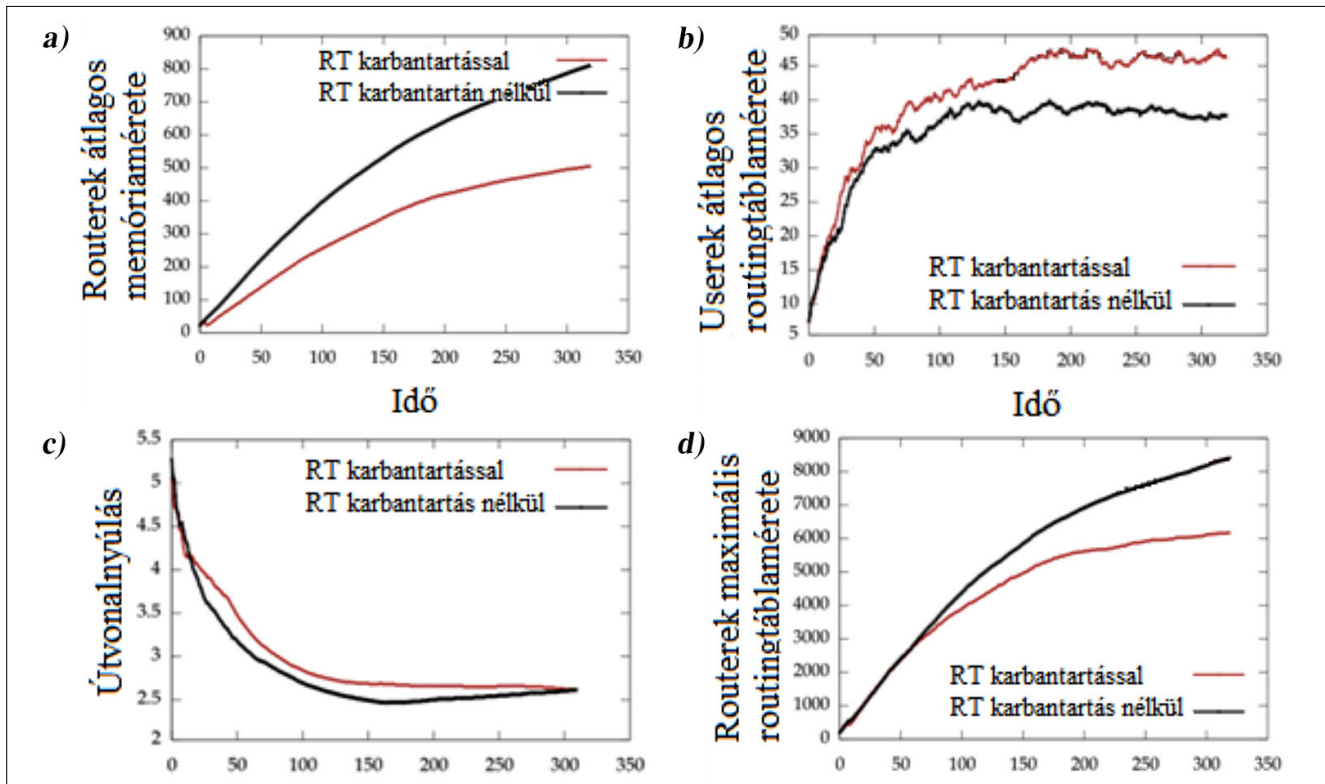
Az ábrán látható a rendszer hatékonyságának alakulása az idő függvényében, ha mind a routerek, mind pedig a userek folyamatosan építenek ki virtuális útvonalakat. Az ábrán feltüntetett értékek a routerek és userek kezdetben kiépített virtuális kapcsolatainak számát mutatják.



10. ábra

Az ábrán a rendszer kezdeti teljesítménye látható az eltelt idő függvényében, az útvonalnyúlás értéke annál kisebb, minél több user csatlakozik a hálózatba. Ennek oka az, hogy egyre több virtuális útvonal kerül a rendszerbe.





11. ábra

Az a) és b) ábrákon látható a routerek és userek routingtábláinak átlagos bejegyzésszáma, egy bejegyzés körülbelül 100 bit méretű. A c) ábra a routerek routingtábláinak maximális bejegyzésszámát mutatja. A d) ábrán látható, hogy a karbantartás következményeként kisebb táblaméret mellett sem változik a hatékonyság.

5. Összegzés

A kommunikációs hálózatok méretének és komplexitásának növekedésével, illetve a felhasználói szokások változásával (pl. mobilitás) egyre inkább szükség van olyan új technológiák bevezetésére, melyek hatékony kommunikációt tesznek lehetővé jól skálázódó hálózatmenedzsment mellett. Ehhez az egyik kulcs az önszerveződő működés, vagyis hogy a csomópontok mindössze lokális információk és lokális szabályok által képesek legyenek egymást rövid utakon keresztül megtalálni.

A bemutatott architektúrában nincs szükség központi elemekre, melyek felügyelik a kommunikációt, s a routing táblafrissítéseket. Nincs szükség globálisan számolt útvonalakra, hogy két csomópont megtalálja egymást. Maguk a felhasználók szervezik az útvonalválasztást a metrikus tér kiépítésében és fenntartásában való folyamatos részvételükkel.

Mindazonáltal a fenti architektúrával kapcsolatban is számos teendő vár még magára. Jelen cikkkel mindössze egy új aspektust szeretnénk volna bemutatni, egy ötletet, mely reményeink szerint értékes tapasztalatokkal szolgálhat egy újgenerációs Internet megtervezésében.

A szerzőkről



SZABÓ DÁVID 2011-ben szerzett műszaki informatikus oklevelet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Önszerveződő útvonalválasztási algoritmusokkal foglalkozó TDK dolgozata II. díjat nyert a 2010. évi kari TDK konferencián. 2010-ben csatlakozott a HSN Lab-hoz a BME-n. Érdeklődési területei a nagysebességű hálózatok és a bioinformatika.



GULYÁS ANDRÁS A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett műszaki informatikus diplomát 2002-ben. Jelenleg a BME Távközlési és Média-informatikai Tanszék adjunktusa. Informatikai tudományokból doktori fokozatát 2007-ben védte meg. Kutatási és oktatási területe a komplex és önszerveződő hálózatok.



CSERNAI MÁRTON a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett villamosmérnöki diplomát 2010-ben. Jelenleg a Távközlési és Média-informatikai Tanszék doktoranduszhallgatója. Kutatási területe a komplex és önszerveződő hálózatok, valamint a szabály alapú útvonalválasztó rendszerek vizsgálata.



HESZBERGER ZALÁN a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett villamosmérnöki diplomát 1997-ben. Doktori fokozatát 2007-ben villamosmérnöki tudományok területén szerezte. 2000 óta a BME Távközlési és Média-informatikai Tanszékének oktatója, ahol jelenleg egyetemi adjunktus. Kutatási és oktatási területe a nagysebességű hálózatok menedzsmentje, illetve a neurális és önszerveződő hálózatok.

Irodalom

- [1] Mark Handley,
Why The Internet Only Just Works,
BT Technology Journal, Vol. 24, No. 3, July 2006.
- [2] G. Huston,
Analyzing the Internet's BGP routing table,
potaroo.net, 2001.
<http://www.potaroo.net/papers/ipj/4-1-bgp.pdf>
- [3] IETF HIP Working Group,
<http://www.ietf.org/dyn/wg/chapter/hip-charter.html>
- [4] D. Clark, R. Braden, A. Falk, V. Pingali,
FARA: reorganizing the addressing architecture,
SIGCOMM FDNA Workshop, August 2003.
- [5] D. Cheriton, M. Gritter,
TRIAD: a scalable deployable NAT-based
Internet architecture,
Technical report, January 2000.
- [6] P. Francis, R. Gummadi,
IPNL: a NAT-extended Internet architecture,
ACM SIGCOMM, August 2002.
- [7] Stioica, D. Adkins, S. Zhuang, S. Shenker, S. Surana,
Internet indirection infrastructure,
ACM SIGCOMM, August 2002.
- [8] Matthew Caesar, Tyson Condie, Jayanthkumar Kannan,
Karthik Lakshminarayanan, Ion Stoica,
ROFL: routing on flat labels,
Proc. of the 2006 conference on Applications,
technologies, architectures, and protocols for
computer communications,
September 11-15, 2006, Pisa, Italy.
- [9] M. Caesar, M. Castro, E.B. Nightingale,
G. O'Shea, A. Rowstron,
Virtual ring routing:
network routing inspired by DHTs,
Proc. of the 2006 conference on Applications,
technologies, architectures, and protocols for
computer communications,
September 11-15, 2006, Pisa, Italy.
- [10] Albert R. and Barabási A.-L.,
"Statistical mechanics of complex networks",
Rev. Mod. Phys. 74, 47–97 (2002).
- [11] P. Erdős and A. Rényi,
"On the evolution of random graphs",
Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.,
Vol. 5, pp.17–60., 1959.
- [12] S. Milgram,
"The small-world problem",
Psychology Today, Vol. 2, pp.60–67., 1967.
- [13] J. Kleinberg,
The small-world phenomenon:
An algorithmic perspective.
Proc. 32nd ACM Symposium on Theory of
Computing, 2000.
- [14] Watts D.J., Strogatz S.H.,
Collective dynamics of 'small-world' networks.
Nature 393(6684): 440–442 (4 June 1998).
- [15] Cristian Tuduce, Thomas Gross,
A mobility model based on WLAN traces and
its validation, INFOCOM 2005.
24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer
and Communications Societies. Proc. IEEE.
- [16] Marta C. Gonzalez, César A. Hidalgo,
Albert-László Barabási,
"Understanding individual human mobility patterns",
Nature 453, 779–782 (5 June 2008).
- [17] Alberto Medina, Anukool Lakhina,
Ibrahim Marra, John Byers,
"BRITE:
An Approach to Universal Topology Generation",
Cincinnati, Ohio, 2001.
- [18] Barabási Albert László:
Behálózva, 2003.
- [19] A.L. Barabási and L. Albert,
Emergence of scaling in random networks,
Science, 1999.
- [20] Liljeros F., Edling C.R., Amaral L.A.N., Stanley H.E.,
Aberg Y.,
The web of human sexual contacts,
Nature, 2001.
- [21] Newman M.E.J.,
The structure of scientific collaboration networks,
Proc. of the National Academy of Sciences of
the United States of America, 2001.

Kommunikációs protokollok osztályozása – kihívások és lehetőségek

TARNAY KATALIN, DULAI TIBOR

*Pannon Egyetem
tarnay.katalin@t-online.hu, tiber.dulai@irt.vein.hu*

ADAMIS GUSZTÁV

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
adamis@tmit.bme.hu*

Kulcsszavak: távközlés, kommunikációs protokoll, protokollfunkciók, protokollok osztályozása, forgalomirányítás

Cikkünk a kommunikációs protokollok osztályozásának lehetőségeit, szempontjait és nehézségeit vizsgálja.

Röviden áttekintjük a kommunikációs protokollok kialakulásának történetét, ismertetjük a legfontosabb protokollfunkciókat, valamint olyan lehetőségeket és kihívásokat vázolunk fel, melyek elősegíthetik egy-egy protokoll kiválasztását egy adott probléma megoldására. Végül a protokollok jövőjéhez kapcsolódóan néhány fontos trendet ismertetünk.

1. Bevezetés

Napjainkban kommunikációs hálózatok már szinte a világ minden pontján megtalálhatók. Ezek a hálózatok üzeneteket küldenek és fogadnak, az üzenettovábbítás szabályait pedig a kommunikációs protokollok határozzák meg. A szabályok a szintaktikus, a szemantikus és az időbeli előírásokat tartalmazzák. A szintaktikus előírások az üzenetek felépítését és elemeit definiálják, míg a szemantikus előírások az üzenetek típusát és a lehetséges kérés/válasz (request/response) párokat szabják meg. Az időbeli viselkedés előírásai az üzenetek továbbításának időtartamára és az üzenetek élettartamára, vagyis a hálózatban tölthető maximális időtartamra vonatkoznak. A kommunikációs protokollok tehát a hálózati üzenetforgalom szabályait határozzák meg úgy, hogy valamilyen kívánt kommunikációs célt teljesítsenek. A kommunikációs célok mindig üzenetek küldését és fogadását jelentik, de az ezeket megvalósító protokolloknak igen széles köre terjedt el [1,2].

Célunk a kommunikációs protokollok lehetséges osztályozásának bemutatása elméleti és gyakorlati szempontból. Az elméleti szempontok a protokolltulajdonságokat ismertetik oly módon, hogy megkönnyítsék az adott feladat megoldására alkalmas konkrét protokoll kiválasztását. A protokollok felosztásának gyakorlati szempontjai alapján egy protokollkatalógus-szerkezetet tervezünk meg és az adatlapok főbb kérdéseit írhatjuk le.

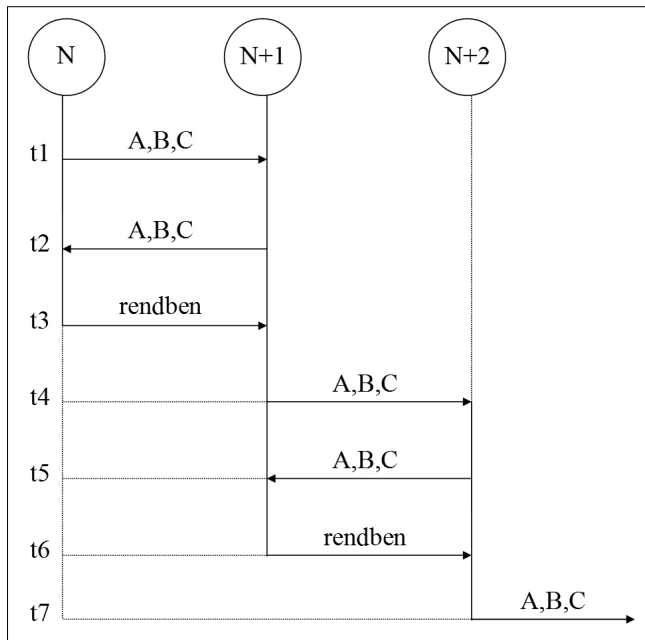
A cikk négy szakaszból áll. A bevezető szakaszt követő második szakasz a mai korszerű protokollok kialakulásának történetét mutatja be a napóleoni időktől kezdve. A harmadik szakasz az egyes protokollfunkciók és az osztályozás közötti kapcsolatot mutatja be, illetve a besorolással kapcsolatos nehézségekre, kihívásokra reflektál. A negyedik, utolsó szakasz a lehetséges fejlődési irányokat vázolja és jövőbeli fejlesztésekkel, problémákkal foglalkozik. A cikket az összefoglalás és a hivatkozások jegyzéke zárja.

2. Visszatekintés a kommunikációs protokollok történelmére

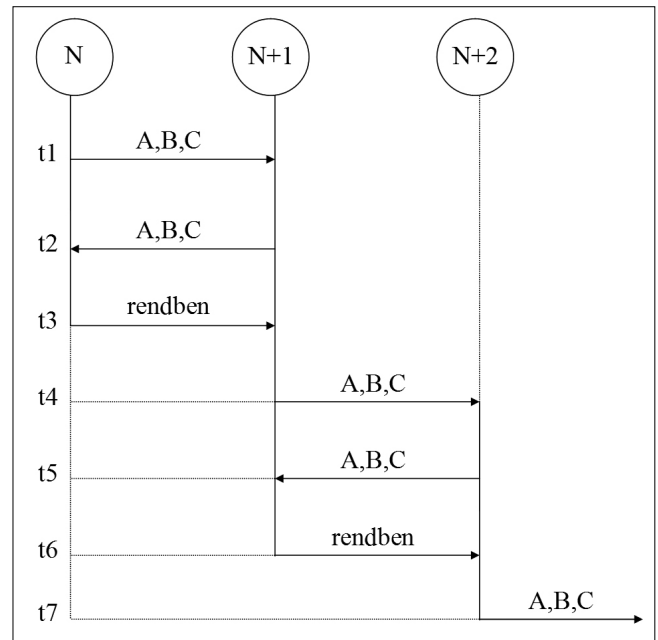
A korai történelmi időkben futárok és hírmondók alkották a távközlési rendszernek egyáltalán nem nevezhető kapcsolatot az egyes lakott körzetek, települések és más ember lakta létesítmények között. Az információ továbbítása kiemelt fontossággal bírt a harcászaton, habár az üzenet célba juttatása rendkívül bizonytalan, és mai szemmel nézve kétségkívül lassú is volt egyben: a teljes távot az embernek kellett megtennie, dacolva az időjárási elemekkel, a tereppel és egyéb felbukkanó kockázatokkal.

A technika a XVIII. századra azonban megérett arra, hogy az információtovábbítás sebességét többszörözze és sokkal biztonságosabbá is tegye egyben. 1792-ben Napóleon utasítására Claude Chappe francia feltaláló fényjelző telegráfokból, mint kommunikációs eszközökből álló hálózatot épített ki Párizs és Lille között. A mintegy 190 kilométeres távolságon összesen 15 állomást húztak fel nagyjából 15 kilométeres távközökkel, így biztosítva az egyes szemaforok láthatóságát. Az eredeti tervrajzokban a berendezés egyenként két kinyúló karból állt, melyeket egy keresztrúd kötötte össze. A karok és a keresztrúd mozgásából összesen 256 kombinációban hozhattak létre fényjel-sorozatokat egy állomáson, melyet a sorban következő állomás észlelt, majd ugyanazt az üzenetet visszaküldte a megelőző állomásnak, ahonnan a jelsorozatot kapta. Erre biztonsági okokból volt szükség: az üzenetet ugyanis ellenőrizték, és csak akkor továbbították, ha a két jelsorozat egyezett. Ekkor már az üzenet készen állt a továbbításra az előző metódus szerint, így az információ lépésenként, csomóponttól csomópontig haladt előre.

A következő oldali 1. és 2. ábrán látható a protokollok párbeszéde különféle esetekben: az elsőn a normál működést, míg a második ábrán egy hibás esetet szemlélítünk.



1. ábra Fényjelző telegráf normális működése



2. ábra Fényjelző telegráf működése hibás esetben

Érzékeltetésképpen, a közel 200 kilométeres távolságon a jel egy órán belül végigfutott, ami akkoriban természetesen óriási eredménynek számított [3].

Chappe rendszerét tekintjük az első kommunikációs protokollnak, amely a megfelelő szabályozások okán hibamentes információáramlást tett lehetővé. A fejlődés következő lépése volt a trafalgari csata előtt és alatt alkalmazott zászlós távjelzés, melyet mind a britek, mind a franciák használtak. Végül az elektromos távírók megjelenésével az optikai telegráfot a XIX. században nyugdíjazták.

A protokollok fejlesztése az 1960-as években kapott új erőre: az amerikai ARPA (Advanced Research Projects Agency) és a MIT (Massachusetts Institute of Technology) szakemberei az akkori viszonyok között nagy mennyiségű szöveges információt kívántak továbbítani, míg a brit NPL (National Physical Laboratory) mérnökei mérési adatok gyors és megbízható küldésén, feldolgozásán fáradoztak. Idővel a tudóscsoportok kiépítették a maguk hálózatát mindkét földrészen. A szövegekben és a mérési adatokban közös az átküldendő információ mennyiségének ingadozása az egészen rövid bitsorozattól a rendkívül hosszú bitsorozatig, e sokszínűség pedig megnehezíti a hálózat optimális működését.

Többféle technikát fejlesztettek ki az üzenetek továbbítására. Elsőként a vonalkapcsolás technológiáját alkalmazták, melynél a forrás- és célállomás között egy kapcsolat időtartamára egy dedikált útvonalat hoztak létre, amelyen csak az adott kapcsolathoz tartozó üzenetek haladhattak. Ennek a módszernek az a fő hátránya, hogy az átvívó csatorna kihasználtsága tipikusan alacsony, hiszen a lefoglalt útvonal üresen áll, amikor az adott kapcsolatban éppen nem küldünk üzenetet (például, amíg egy kérésre a választ határozzuk meg). A kapacitások jobb kihasználását segíti a csomagkapcsolás elve, mely alkalmazása esetén az „üzenetszü-

netekben” az útvonalon más kapcsolatok üzeneteit továbbítjuk. „Cserébe” viszont újabb megoldandó problémák merülnek fel: minden üzenetnek egyedileg kell „megtalálnia” a célállomást, kezelni kell, ha az üzenetek nem sorrendhelyesen érkeznek meg, ha torlódás lép fel, stb. A csomagkapcsolt hálózatokban az üzeneteket azonos (vagy legalább optimalizált méretű) csomagokra bontjuk. Ezek az információcsomagok egy fejrész (header) rendelkeznek, amely minden esetben tartalmazza a célállomás címét és a csomag sorszámát.

Az amerikai ARPANET rendszerében a felhasználók számára adatszolgáltatásokat nyújtó hosztok közötti kommunikációt oldották meg egy protokollal, mely üzeneteiben olyan attribútumok szerepeltek, mint az üzenet címezése, típusa és adatmezője. A brit NPL hálózatában működő protokollokat a CERN-ben használták fel később, így megalapozva a World Wide Web megszületését, mely minden kétséget kizáróan megnövelte az internet használhatóságát; emellett a mai napok egyik legjelentősebb fizikai kísérletének, a Nagy Hadronütköztetőben (LHC) implementált GRID-alapú megoldások protokollrendszerét is megalapozta.

3. Kapcsolat a protokollfunkciók és az osztályozás között

Kommunikációs protokollokat osztályozni különösen nehéz feladat, hiszen az osztályozás alapelveinek rendkívüli sokszínűsége mellett (szempontok, alszempontok és azok alszempontjainak sorozata) az azonos feladatra, ám a különböző cégek, szervezetek által tervezett és ajánlott protokollok népes családjai között is meg kell próbálnunk kiigazodni. A protokollok osztályozását legegyszerűbb a protokollfunkciókhoz kapcsolni, ugyanis a protokollok működését maguk a protokollrétegek határozzák meg. A távközlési rendszerek gyors

és megbízható működtetésén túl a rétegek létezésének egyik fő célja nem más, mint a hálózati szoftver leegyszerűsítése és modularitásának biztosítása.

A protokollok használatával bizonyos kommunikációs feladatok megoldására törekszünk, melyek lehetnek akár a felhasználókhöz közel álló alkalmazási, avagy a rendszer üzemeltetése szempontjából fontos menedzselési feladatok is. A kommunikációs feladatokat, szolgáltatásokat gyakran az egyes hivatkozási modelleknek megfelelő rétegek szerint szokták bemutatni, így – bár más-más kontextusban – egyes feladatok több rétegben is jelen vannak: ilyen például a forgalomszabályozás az Open System Interconnection (OSI) adatkapcsolati és szállítási rétegében, avagy a torlódásvédelem a hálózati és a szállítási rétegben.

Bizonyos protokollfunkciók szinte minden protokollban megtalálhatóak. Talán a legfontosabb ilyen funkció a Protocol Data Unit (PDU) létrehozása. Egy PDU lehet például egy IP-csomag, egy TCP-szegmens vagy egy Ethernet keret. A PDU létrehozása során sok esetben törekednek arra, hogy az átvendő adatot extra bitekkel kiegészítve (hibajelző vagy hibajavító kódolás) egy átviteli hiba esetén a hiba észlelése, esetleg javítása megtörténhessen. Hasonlóan fontos feladat a címezés is, itt általában a cím formátumában és méretében vannak eltérések [4-6].

Az ARPANET 1968-as felállásakor vitába keveredtek a kutatók abban, hogy lesz-e legalább 16 csomópont az egész rendszerben. Ez a protokoll címezőjét már eleve korlátozta, hiszen 16 csomópont 4 bit információval specifikálható. Ugyanakkor jól látható, hogy amennyiben nem 16, 32, 64 vagy pár ezer, hanem milliós csomópontszámról beszélünk, az elveken kell változtatni: hierarchikus címezési struktúrát kell bevezetnünk, ugyanis az adatmezőt megelőző fejléc lineárisan nem bővíthető olyan mértékben, ahogyan a végpontok száma növekszik a nagy mértékű felhasználás miatt. Megjegyzendő azonban, hogy a virtuális áramkörök esetében a PDU általában nem tartalmaz célcímet, (mivel azt maga az áramkör definiálja), ilyenkor a „címező” a virtuális áramkört azonosítja.

3.1 Forgalomszabályozás, torlódásvédelem, forgalomirányítás és közegelérés

A protokollfunkciók eltérő osztályozási szempontokat nyitnak meg, tipikus példa erre a forgalomszabályozás területe. A protokollokat sorolhatjuk egyszerű megáll-és-vár elven működő kategóriába, illetve olyan módszerekbe, melyek egyszerre több PDU csatornára tételét teszik lehetővé (stop-and-wait, pipelining). Ez utóbbi esetben tudni kell, hogy egy adott nyugta mely PDU-ra vonatkozik, így fontos szerepe van a sorszámozásnak. Egy plusz mezővel a fejrészben máris lehetővé válik az átviteli közeg jobb kihasználása. A hibakezelés szempontjából fontos nyilvántartanunk az adóoldalon, hogy mely – eddig még nem nyugtázott – PDU-k kerültek kiküldésre, illetve a vételi oldalon azt, hogy mely sorszámu PDU-kat fogadhatjuk el. Ezzel elérkezünk a csúszóablakos forgalomszabályozó protokollok-

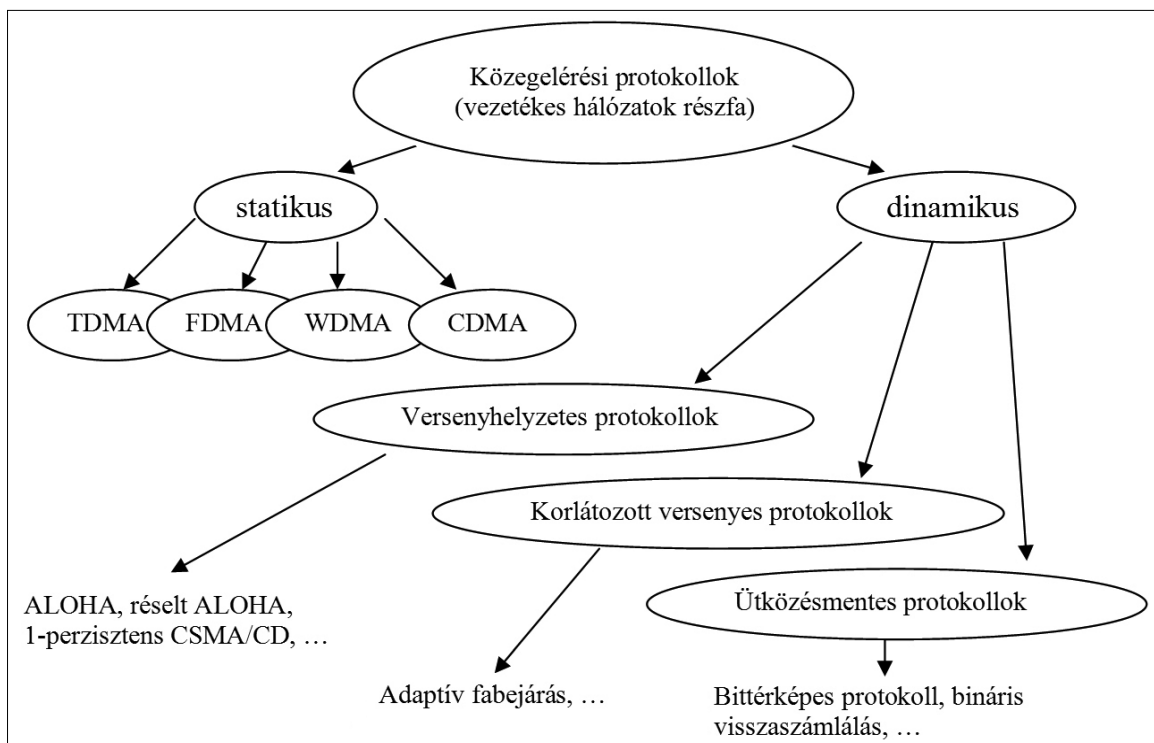
hoz, melyek dominálnak jelenleg. Köztük is megkülönböztetjük az 1 méretű vételi ablakkal rendelkező n-viszszalépéses protokollokat és a nagyobb méretű vételi csúszóablakkal bíró szelektív ismétléses protokollokat. Hogy melyiket alkalmazzuk, a körülményektől függ: a memória, avagy a sáv szélesség jelenti-e a szűk keresztmetszetet.

Nem a végpontnál, hanem az alhálózatban történő torlódást feloldani, enyhíteni, avagy megelőzni kívánó protokollfunkció a torlódásvédelem. Vannak módszerek, melyek a torlódások kialakulásának megelőzését tűzték ki célul, megint mások pedig a már meglévő torlódás mielőbbi enyhítését végzik, például lefojtó csomagok (choke packet) segítségével.

Valójában ezek olyan funkciók, melyek egy-egy protokollba beépülve sok más tevékenység mellett végzik a saját feladatukat (például a TCP-fejrész ablakméret mezője a forgalomszabályozásért felelős, míg a TCP által alkalmazott lassú kezdés algoritmuson alapuló mechanizmus a torlódásvédelmet hivatott támogatni) [7].

További – a protokollokat megosztó – fontos protokollfunkció a forgalomirányítás. Ha az OSI rétegei felől közelítünk, akkor a hálózati réteg protokolljainak csoportjában kell vizsgálódnunk [8]. Ha mélyebben nézünk rá e területre, két főbb osztályát látjuk a megoldásoknak: a statikus és a dinamikus forgalomirányítást végző protokollokat. Az előbbi kategóriába esnek azon protokollok, melyek „bedrótolt” információ alapján működő algoritmust használnak, mint például az elárasztás, míg az utóbbi csoport által alkalmazott algoritmusok az alhálózat aktuális állapota alapján igyekeznek megfelelő kimeneti interfészt találni (pl. a távolságvektor-alapú, avagy a kapcsolatállapot-alapú algoritmusokon alapuló protokollok, mint a RIP, IS-IS, NLSP vagy az OSPF). Az alkalmazkodóképesség mellett másik osztályozási szempontja lehet a forgalomirányítást végző protokolloknak az, hogy hány címzett részére kell eljuttatniuk a csomagokat. Ily módon megkülönböztetünk unicast, multicast, broadcast vagy anycast működésre szolgáló protokollokat. Több címzett esetében általában a hálózat feszítőfa-modelljét szokás használni az útvonal meghatározásához. Eddig vezetékes hálózatok területére fejlesztett megoldásokat érintettünk, ugyanakkor egy másik csoport lehet a vezetékek nélküli hálózatok terjedésével egyre nagyobb szerepet kapó Mobil IP protokoll, illetve annak egy kiegészítője, a Cellular IP. Mindkettő esetén a forgalomirányítás mellett fontos mobilitás-menedzselési funkciókról, mint például a hívásátadás (handover) is beszélhetünk.

Egy további szempontot – melyek szerint a protokollok osztályozhatóak – szintén az átviteli közeg tulajdonságai határoznak meg. Teljesen másfajta megközelítést kell alkalmazni olyan protokollok esetében, ahol az átviteli közeg dedikáltan a kommunikáló felek rendelkezésére áll (pl. kétpontos hálózatok esetében), mint az adatszóró hálózatoknál (pl. rádiós hálózatok, Ethernet stb.) Ez utóbbi esetben megjelenik egy újabb protokollfunkció: meg kell határozni, hogy a közös kommunikációs közeget mikor kinek van joga használni. Ez megint



3. ábra
Közegezési
protokollok
felosztása

csak történhet statikus módon szétozva (pl. TDM, FDM technikák), avagy dinamikus módon, jobban kihasználva az átviteli közeg kapacitását. A dinamikus közegezési protokollok tovább oszthatóak versenyhelyzetes vagy ütközéses (pl. ALOHA, réselt ALOHA, CSMA/CD különböző típusai) korlátozott versenyes (pl. adaptív fabejárás) alapuló protokollok és ütközés nélküli protokollok (pl. bináris visszaszámlálás, bittérképes protokollok, vezérjeles (token) protokollok) csoportjaira (3. ábra).

Itt a választott protokollt szintén az alkalmazási környezet határozza meg, például ipari felhasználásban egy futószalag mellett, ahol nem megengedett az adási jog idejének véletlenszerű tolódása az esetleges ütközések miatt, inkább a vezérjeles módszerek terjedtek el (például IEEE 802.4 – vezérjeles sín vagy IEEE 802.5 – vezérjeles gyűrű), míg irodai alkalmazásokban jobban tolerált a nemdeterminisztikus időzítés (lásd a CSMA/CD-t alkalmazó Ethernetet).

A lokális hálózatok topológiájuk szerint általában busz (sín) vagy gyűrű alakúak. Elmondható, hogy a buszhálózatok egyik legjellemzőbb protokollja az IEEE 802.3 szabványban specifikált Ethernet protokoll, míg a gyűrűs lokális hálózatok egyik tipikus protokollját az IEEE 802.5 szabvány specifikálja, ez a Token Ring (vezérjeles gyűrű) protokoll.

A közegezési protokollok evolúciójában megfigyelhető az a trend, hogy törekednek a hatékonyság minél nagyobb mértékben történő növelésére például a versengési időszakok minél okosabb szervezésével és tartalmi feltöltésével. Egy újabb csoportot jelenthet a vezeték nélküli hálózatok közegezési módjára, ahol a nem feltétlenül közös lefedettség miatt az adónak a vevőállomás hatókörének szabad voltáról külön meg kell győződnie. Ilyen protokollt alkalmaznak az IEEE 802.11-es szabványok (MACA/MACAW).

A mai heterogén hálózati viszonyok és komplex tartalmak világában a hálózatmenedzselésre szolgáló protokollok egyre fontosabb szerepet töltenek be. E funkcionalitást végző protokollok körében az osztályozást leginkább a protokollt készítőik szemléletmódja alapján végezhetjük. A legfőbb hálózatmenedzselő protokollok közül a telefonhálózatok világából érkező megoldásokat képviseli a CMIP, míg az internetes társadalom válasza a hálózatmenedzselés kihívásaira az SNMP-protokoll és annak verziói.

A legtöbb népszerű kommunikációs protokoll a fent említett funkciók közül többre is megoldást kínál. Például a Transmission Control Protocol számos feladata mellett foglalkozik például torlódásvédelemmel, hibakezeléssel és forgalomszabályozással is, így a protokollfunkciók több csoportjába is tartozhat.

Egy további probléma egy adott problémakörre megoldást nyújtó protokollok osztályozásával kapcsolatosan az, hogy számos ma használatos protokollt robusztusnak alakítanak ki annak érdekében, hogy megoldást nyújtson különböző alkalmazási környezetekben is. Ez viszont azt jelenti, hogy különböző azonos szintű alcsoportoknak is megfeleltethető megoldásokra egyaránt alkalmas lehet. Példaként ismét a TCP-re és a forgalomszabályozás protokollfunkcióra reflektálunk: alapértelmezetten n-visszalépéses protokollként működik, de az opcionális mezőkkel szelektív ismétlésessé alakítható a működése.

Mindez az osztályozás tekintetében nehézségeket okoz, ugyanakkor a jövő valószínűleg éppen az olyan megoldásokat fogja kiemelni, melyek rugalmasan tudnak igazodni a változó környezet aktuális állapotához, az éppen alkalmazott protokoll kommunikációs szabályrendszerével.

3.2 Klasszikus osztályozási szempontok

A leggyakoribb osztályozási szempontokat szemügyre véve mindenképpen érdemes kiemelni az átviteli közeg, a továbbított információ típusa és a szabványosító szervek szerinti „klasszikus” tárgyalást.

Mindjárt kétféle akadályba ütközünk: egyrészt túl nagy csoportokat alkothatunk, illetve túl részletekbe menően próbálhatjuk felírni a protokollokat, de az sem mindegy, hogy az osztályozást milyen sorrendben írjuk fel. Például, nem választhatjuk ki előre a hangátvitelre tervezett protokollok csoportját, ameddig nem ismerjük meg a hálózat típusát, melyben a protokoll működni fog. Ugyanígy nem dönthetünk egy rádiós elven működő protokoll alkalmazásáról, ameddig nem tudjuk, hogy lokális vagy nagy kiterjedésű hálózatban kívánjuk-e alkalmazni. Így láthatjuk, hogy egy kommunikációs protokoll kiválasztása szorosan összefügg annak előzetes osztályozásával, ugyanakkor nem tudunk egy olyan katalógust mondani, amelyet böngészve jól elkülönülő protokollokat kapunk. (Kérdés, hogy egyáltalán elkészíthető-e ilyen munka.)

A protokollok szempontjából az átviteli közeg leg egyszerűbben vezetékes és vezeték nélküli típusokra oszthatók fel, majd ezeket bonthatjuk tovább. A vezetékes átviteli közeg lehet hagyományos kábeles vagy üveg-szálas, míg a vezeték nélkülinél a (mikrohullámú) rádiós és a szatellit összeköttetéseket említhetjük példának.

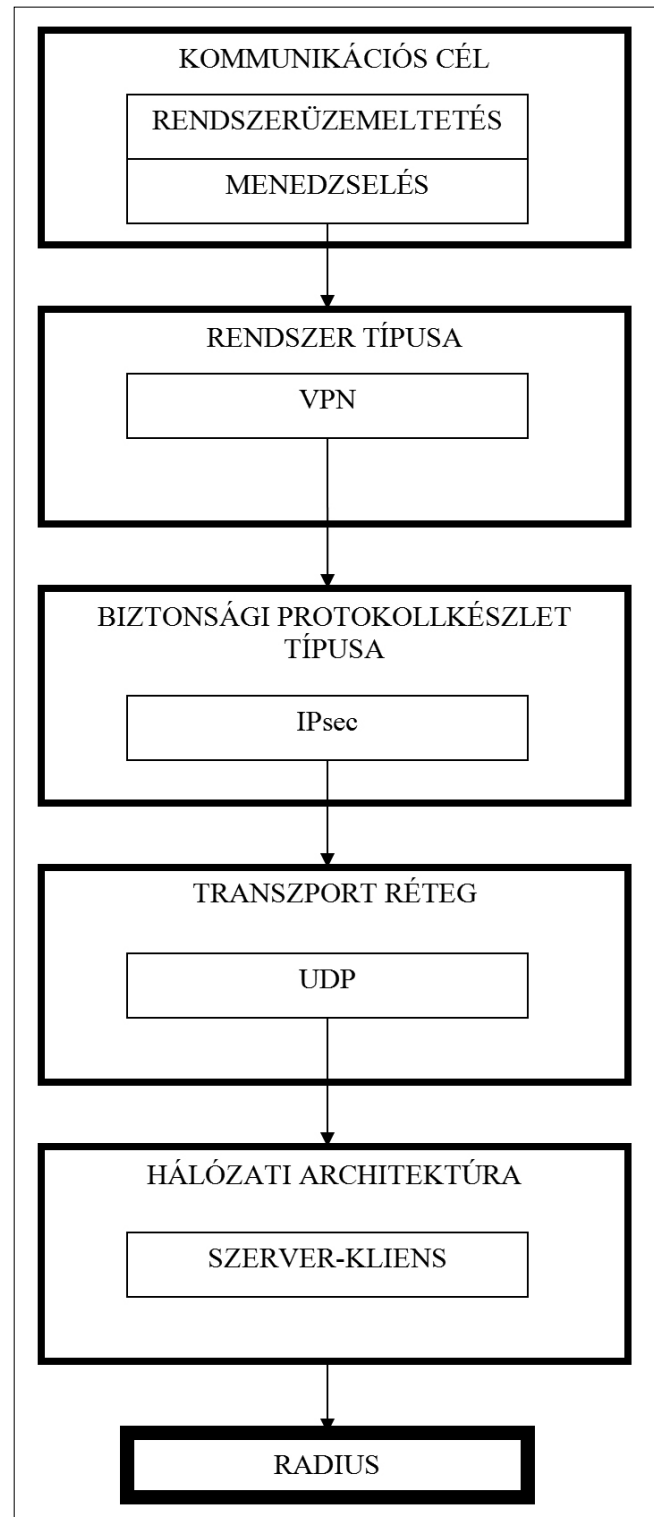
Az egyik legelterjedtebb vezetékes protokoll a LAPB (Link Access Procedure Balanced), amely szimmetrikus elérések kommunikációs szabályait definiálja, osztályozható vezetékes és szimmetrikus rendszerek protokolljaként. Optikai elven működő protokoll az IrLAP (Infrared Link Access Protocol), mely az IrDA (Infrared Data Association) második rétege. A vezeték nélküli megoldásokban elterjedt WLAN (Wireless Local Area Network) 802.11b szabványa említhető tipikus példának, azon belül is a rádiós kommunikáció elvén működő protokollok közé sorolhatjuk. Szatellit protokollok közül megemlíthetjük az IPOS (IP over Satellite – TIA-1008) vagy a RBSCP (Rate Based Satellite Control Protocol) protokollokat.

A protokollokat osztályozhatjuk az általuk szállított adatok típusa szerint is. Ez lehet általános adat, mint például az X.25 vagy az IP esetén, de lehet specifikus is, mint például hang (VoIP protokollok: H.323, SIP), kép (ITP, Image Transport Protocol) vagy video (RTP, Real-time Transport Protocol).

A protokollok csoportosíthatók aszerint is, hogy mely szervezet szabványosította azokat. Beszélhetünk ITU (International Telecommunication Union) protokollokról (pl. X.25, SS7 protokollok), IETF (Internet Engineering Task Force) protokollokról (pl. IPv4, IPv6, SNMP) és egyéb szervezetek által szabványosítottokról. Ez utóbbiak közül megemlíthetjük a WAP Forumot (pl. WTP – WAP Transport Protocol), illetve 3GPP-t (3rd Generation Partnership Project), mely különféle celluláris mobil rádiórendszerei (GSM, GPRS, UMTS, LTE) protokollokat szabványosít. Ehhez kapcsolódóan a protokollfunkcióknak kétféle osztályozása terjedt el: az ISO-OSI modell hét rétege, valamint az IETF-féle TCP/IP struktúra ötre bővített funkcionális rétege.

Az előbbieken már említettük az átviteli közeg szerinti felosztást, amely mindkét modellben az adatkapcsolati rétegnek és a fizikai rétegnek egyaránt megfeleltethető (az a TCP/IP modellben valójában az említés szintjén jelen lévő host-to-network rétegnek felel meg). Jelenleg a legnagyobb jelentősége mindkét modellben az alkalmazási rétegnek van, mert akár a felhasználó, akár a rendszerüzemeltetés igényeit vizsgáljuk, mindkét csoport a hálózat alkalmazási funkcióival találkozik közvetlenül.

4. ábra Példa egy protokoll kiválasztási módszerére



A klasszikus tárgyalásmód egyéb osztályozási szempontokat is magában foglal. A kommunikációs célok szerinti tárgyalás jobbra felhasználók közötti információcserére (pl. e-mail, IM) vagy rendszerüzemeltetésre (pl. hálózat menedzselése) vonatkozik; egy másik fontos terület a hálózati környezet, melyet az összeköttetés típusa (vezetékes, vezeték nélküli) és a rendszer típusa (pl. GSM) határozhat meg. Maga a protokollüzenet besorolható felépítése (információátvitel vagy működési parancs) és a programozási nyelv szerint. Sőt, ne feledkezzünk meg a gyártó és felhasználó szervezetek széles spektrumáról sem – ez utóbbi szempont rendkívül érzékeny terület az esetleges kompatibilitási nehézségek miatt.

A 4. ábrán szemléltetjük egy protokoll lehetséges kiválasztási folyamatának részleteit (lásd az előző oldalon).

4. A jövő kommunikációs protokolljai: lehetséges fejlődési irányok

A hálózati végpontok számának robbanásszerű növekedése és a tárolandó-elküldendő információ óriási mennyisége miatt szükségessé vált egy olyan közműszerű szolgáltatásrendszer bevezetése, mely megkönnyíti az adatok elérését és feldolgozását. A digitális közmű gondolata ötven évvel ezelőtt bukkant fel először tudományos körökben.

A későbbi Turing-díjas John McCarthy 1961-ben egy olyan megoldásról tett említést, melyben a számítógépek erőforrásait, sőt az alkalmazásokat is az elektromos hálózat modelljéhez hasonlóan juttathatnánk el a fogyasztókhoz, illetve felhasználókhoz. Mivel sem az eszközök, sem a telekommunikációs hálózat nem volt felkészülve a digitális közmű gondolatára, a projekt harminc éven át a fiókban pihent. Az utóbbi 10 évben azonban a cloud computing ideája szárnyra kapott, és meghatározó informatikai fogalomká lépett elő.

A cloud computing modellje lényegében fizikai helyszíntől független erőforrás-menedzsmentet, adatkezelést és szoftverelérést jelöl.

Az erőforrás igénybevétele szempontjából fontos cél, hogy képesek legyünk elérni a tényleges fizikai helyszíntől való függetlenedést. Ezt a célt mind az említett cloud computing megfogalmazza, mind mindennapi életünkben tapasztalhatjuk. Bár a jelenlegi személyi számítógépek teljesítményüknél fogva már kevésbé maradnak el a felhasználók igényeitől mint a korábbi generációk, megfigyelhető a speciális távoli hardverek illetve szoftverelemek (pl. adatbázisok) elérésének helytől független, transzparens módjának kialakítására való törekvés. A felhasználó érezze úgy egy távoli eszköz igénybevételekor, mintha csak a lokális környezetének szolgáltatásait venné igénybe.

Bizonyos szolgáltatások ugyanakkor kifejezetten a felhasználó aktuális tartózkodási helyét alapul véve próbálnak minél inkább személyre szabottan működni. Egyre több készülékben van jelen a GPS-technológia, s ezt

a trendet az európai Galileo-rendszer kiépítése kifejezetten gerjeszti, mely a jövő (és már a jelen) helyfüggő szolgáltatásainak (Location Based Services) technológiai alapját jelenti saját kommunikációs protokolljaival (pl. NMEA, SIRF).

A felhasználói élmény fokozására felbukkant új trend a 3D Internet. E fogalom absztrakt értelmezésben egy olyan gondolkodásmódra utal, ahol a világhálóra nem pusztá felületként (2D), hanem valódi kibertérként (3D) tekintünk. Ugyanakkor, fizikai értelemben a 3D-s internetet természetesen térben is ábrázoljuk a monitoron, illetve egyéb képmegjelenítő eszközökön a lehető legjobb felhasználói élmény biztosítása érdekében. A 3D szemlélet és a hálózati kapcsolat paramétereinek összefüggése nehezen határozható meg egyértelműen. Feltételezhetjük, hogy a sávszélesség, és az átvihető információ mennyisége egyaránt nagyobb lesz „térbeli adatátvitel” esetén. Így e trend vélhetően több protokollfunkcióval kapcsolatos új követelményt támaszt, illetve különösen a forgalomirányítással és forgalomszabályozással összefüggő új szabályokat állíthat.

Az egyre növekvő sávszélesség biztosításának egyik eszköze lehet az optikai csomagkapcsolás, amely változtatható hosszúságú optikai csomagok 10 Gbyte/s-os továbbítására alkalmas 4x4-es (4 bemenet és 4 kimenet) optikai routereken keresztül [9]. Azt várjuk, hogy az eljárás mód a protokollüzenet méretét és a csomagküldés sebességét egyaránt kedvezően befolyásolhatja.

Egy másik gyorsan fejlődő alkalmazási terület a szenzorhálózatok rendszere. A szenzorhálózatok első sorban fizikai eszközök vezérlését és a mért fizikai változások detektálását biztosítják, a munka oroszlánrészét speciálisan erre a célra kidolgozott protokollok végzik. Tipikus példa aktív vezeték nélküli szenzorhálózatokra az egyre fejlődő robotika területe: mobilhálózatba kapcsolt önjáró robotok vezérlését szenzorhálózati protokollokkal is megvalósíthatjuk, az ilyen feladatokra tervezett protokollok fejlődése és finomhangolása komoly lehetőségeket nyithat az alkalmazott tudományban.

5. Összefoglalás

Cikkünk áttekintést adott a kommunikációs protokollok lehetséges osztályozási szempontjairól, és a folyamatához kapcsolódó nehézségekről, problémákról. Bemutattuk a kapcsolatot a protokollfunkciók és az osztályozás között, kiemelten tárgyalva a forgalomszabályozás, a forgalomirányítás, a torlódásvédelem és a közegelés területét. Végezetül lehetséges fejlődési irányokról és népszerű trendekről számoltunk be.

A szerzőkről



TARNAY KATALIN 1956-ban szerzett villamosmérnöki diplomát. Első munkahelye a Beloiannisz Híradástechnika Gyár volt, ahol távközlési műszereket tervezett. 1961-től 1997-ig az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetében dolgozott. Először nukleáris mérésekkel foglalkozott, kutatási eredményeiből készült kandidátusi értekezését 1974-ben védte meg. Ezt követően reaktorfizikai adathálózatokkal foglalkozott. Kutatási eredményeit akadémiai doktori értekezésben foglalta össze és 1991-ben védte meg. 1980-tól tanított a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, 1991-ben címzetes egyetemi tanár lett. 1999-től 2003-ig a Nokianál dolgozott tesztelési tanácsadóként. 1998-tól a Pannon Egyetemen tanított egyetemi tanárként. 2003 végén ment nyugdíjba, ugyanebben az évben a Magyar Köztársasági Érdemrend Lovagkeresztjét kapta meg. Jelenleg is publikál, szerzőtársakkal közösen írott új munkája az Egyesült Államokban 2011 tavaszán jelent meg.



DULAI TIBOR 2002-ben szerzett mérnök-informatikus oklevelet a Pannon Egyetemen. 2002-től a Pannon Egyetem Informatikai Tudományok Doktori Iskola hallgatójaként mobil hálózatokkal és kommunikációs protokollokkal foglalkozik, majd 2005-től a Pannon Egyetem Villamosmérnöki és Információs Rendszerek tanszékén egyetemi tanársegéd. Kutatási területe: számítógép-hálózatok, játékelmélet, kommunikációs protokollok. Aktuális kutatási témája a járművek kooperációjának hatása a kiszállítási probléma (Vehicle Routing Problem) gazdaságos megoldására.



ADAMIS GUSZTÁV mestertanár a Budapesti Műszaki Egyetem Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén. Diplomáját a BME-n szerezte 1989-ben. Híradástechnikai szakmérnök – 1991, egyetemi doktor – 1994. Disszertációját távközlési protokollok automatikus implementálása témakörében készítette. Szakterülete a protokolltechnológia, azon belül is elsősorban a kommunikációs protokollok specifikálásával és tesztelésével foglalkozik. Részt vett több különböző mobil hálózati szoftver és protokolltechnológiai munkaállomás fejlesztésében. Szakértőként részt vett – többek között – a PKI, a HTE és az NHH 7-es jelzés-rendszeri, számozási és számhordozási munkacsoportjaiban. Több mint 20 éves egyetemi oktatási tapasztalata van az objektumorientált programozás, a digitális technika, a kapcsolástechnika, a kommunikációs protokollok és a mobil hálózatok területén. Több vállalatnál tartott protokollteszteléssel, 7-es jelzésrendszerrel, mobil protokollokkal foglalkozó tanfolyamokat.

Irodalom

- [1] Tarnay, K., Adamis, G., Dulai, T., „Advanced Communication Protocol Technologies: Solutions, Methods and Applications”, IGI-Global, Hershey, 2011.
- [2] Lee, In., „Handbook of Research on Telecommunications Planning and Management for Business”, IGI-Global, Hershey, 2009.
- [3] Holzmänn, G.J., Pehrson, B., „The Early History of Data Networks”, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- [4] Buchanan, W., „Mastering Networks”, MacMillan Press, London, 1999.
- [5] König, H., „Protocol Engineering Prinzip, Beschreibung und Entwicklung von Kommunikationsprotokollen”, Teubner Verlag, Wiesbaden, 2003.
- [6] Ventakaram, P., Sunil, K.M., „Communication Protocol Engineering”, Prentice-Hall of India, New Delhi, 2004.
- [7] Socolofsky, T., Kale, C., A TCP/IP Tutorial, RFC 1180, retr. 27 January 2011, from <http://tools.ietf.org/html/rfc1180>
- [8] ITU-T, Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The basic model, ISO/IEC 7498-1:1994, retr. 27 January 2011, from <http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=X>
- [9] Urata, R. et al, „4x4 Optical Packet Switching of Asynchronous Burst Optical Packets with a Prototype, 4x4 Label Processing and Switching Sub-system.”, Optics Express, Vol. 18, Issue 15, 2010. pp.15283–15288.

Modern többvívős rendszerek kognitív rádiós alkalmazásokban

KOLLÁR ZSOLT, VARGA LAJOS, HORVÁTH PÉTER

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

kollar@mht.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: kognitív rádió, white space, többvívős modulációs eljárások, vezeték nélküli rendszerek, OFDM

A közeljövőben Magyarországon is lezajló digitális televíziós átállás következtében több frekvenciasáv felszabadul. Ezeket a tervek szerint az átállást követően opportunisztikusan kommunikáló, intelligens rádiós rendszerek használhatják majd adatkommunikációs célra. Mivel a kérdéses frekvenciasáv elsődleges felhasználói továbbra is a műsorszóró rendszerek, így az itt kommunikáló rádióknak magas fokú intelligenciával és gyors spektrumérzékeléssel kell rendelkezniük az interferencia elkerülése érdekében. Ebben a környezetben a kommunikáció fizikai rétegének (az alkalmazott modulációnak) speciális elvárásoknak kell megfelelni. Cikkünkben ismertetünk és összehasonlítunk néhány, a kognitív rádiós modellben alkalmazható többvívős modulációs eljárást.

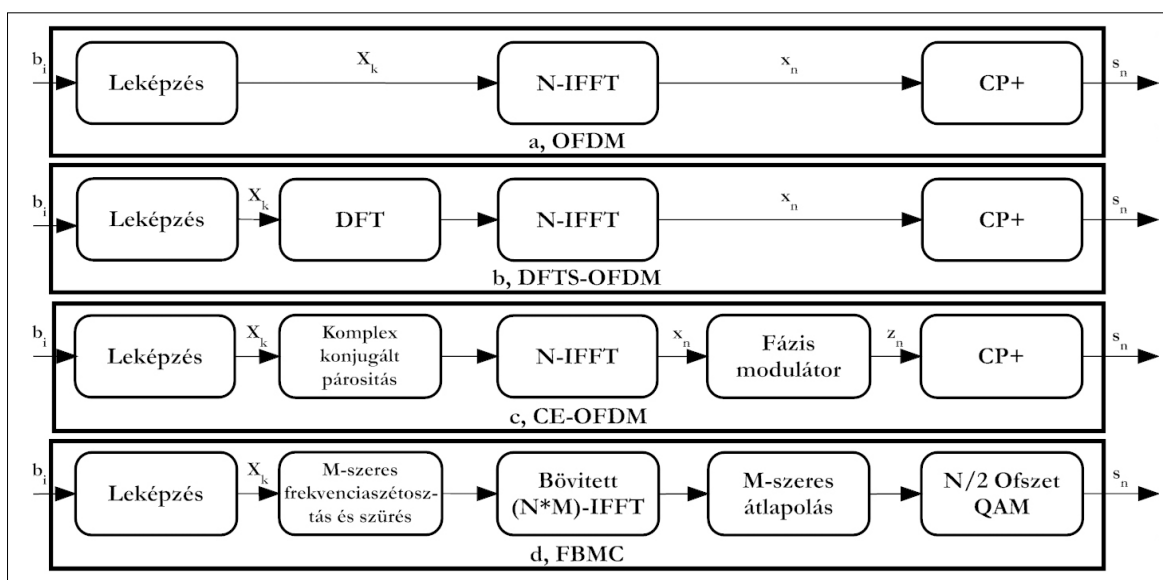
1. Bevezetés

A vezeték nélküli kommunikáció térhódításával párhuzamosan a felhasználók adatsebesség-igénye is egyre nő. A rendelkezésre álló frekvenciasávok azonban korlátozottak. Erre a problémára próbál megoldást találni Mitola 1999-ben megjelent cikkében [1], amelyben a kognitív rádió alap gondolatát mutatja be.

A kognitív rádió lényegében másodlagos (opportunistikus) rendszer, amely képes a kiválasztott frekvenciasávokat intelligensen és adaptívan kihasználni oly módon, hogy közben ezzel az elsődleges (inkumbens) rendszereket nem zavarja. Ennek érdekében közel egyidőben kell a szabad frekvenciasávokban adatforgalmat bonyolítani és figyelnie azt, hogy közben az inkumbens rendszereket ne zavarja, ha azok adást kezdeményeznek [2]. Ilyen és ehhez hasonló rendszerek működésének szabványosítására törekszik az IEEE 802.22-es szabványa is [3,4].

Ezen technológiák hazánkban is fontos szerepet játszhatnak a jövőben. Magyarországon 2015-től az analóg televíziós műsorszórás helyét teljes egészében a digitális rendszer veszi át, amely összességében kevesebb frekvenciasávot igényel. Az átállás következtében felszabaduló frekvenciák (white-space, WS) gazdaságos felhasználására kézenfekvő megoldás a kognitív rádiós rendszerek alkalmazása [5]. Cikkünk a WS-ek opportunistikus kihasználására legígéretesebb többvívős modulációs eljárásokat mutatja be és hasonlítja össze. A többvívős rendszerek esetén az OFDM [6] (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Ortogonális frekvenciaosztásos nyálábolás), mint széles körben elterjedt technika alkalmazása tűnik magától értetődőnek. Több vezeték nélküli hírközlő rendszerben, többek között DVB (digitális televízió), DAB (digitális rádió) és WLAN (vezeték nélküli hálózat) esetén is ezt az eljárást alkalmazzák.

Ezen séma mellett bemutatunk még három másik alternatívát, amelyek valamilyen szempontból előnyösebb-



1. ábra
A vizsgált
négy eljárás
adóoldali
blokkvázlata

bek lehetnek az OFDM-nél [7]: A DFT-Spread OFDM [8,9] (DFT-szóró OFDM, továbbiakban DFTS-OFDM), Constant Envelope OFDM [10] (állandó burkolójú OFDM, továbbiakban CE-OFDM) valamint a Filter Bank Multicarrier [11, 12] (szűrőbank-alapú többvívős technika, továbbiakban FBMC) modulációs eljárásokat. A következőkben ezeket a rendszereket hasonlítjuk össze, valamint megmutatjuk, hogy adott feltételek, illetve paraméterek mellett melyik rendszer választása lehet előnyös az adott alkalmazásban.

2. Az OFDM moduláció felépítése és főbb tulajdonságai

Ebben a szakaszban a közismert OFDM eljárást mutatjuk be röviden, majd az OFDM jel főbb jellemzőit és az azok által okozott nehézségeket tárgyaljuk. A következő szakaszban ezen tulajdonságok alapján fogjuk összehasonlítani a többi rendszerrel.

2.1 Az OFDM moduláció

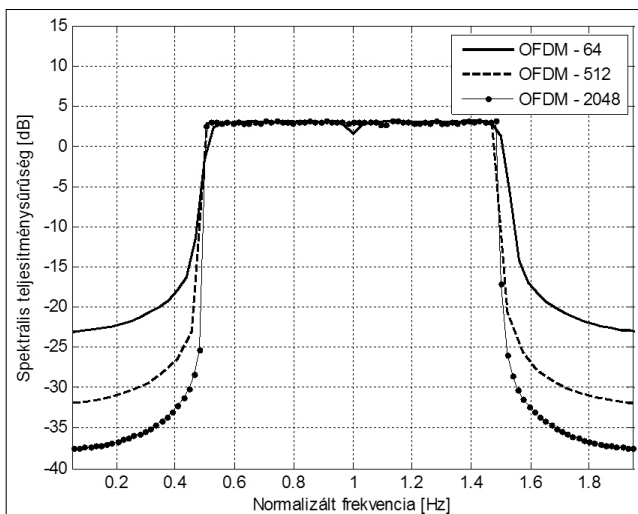
Ezen modulációs technológia a népszerűségét nagyban annak köszönheti, hogy a több vívő modulációja és demodulációja hatékonyan megvalósítható IFFT (Inverse Fast Fourier Transform, inverz gyors Fourier-transzformáció) és FFT algoritmusok segítségével. A rendszer egyszerűsített blokkvázlata az 1/a. ábrán látható.

Első lépésben a bejövő b_i bináris adatfolyamot – amelyet általában hibakorlátozó kódolásnak vetünk alá – egy leképző fokozat segítségével átalakítják a modulációnak megfelelő komplex szimbólumokká (X_k), ezeket a jeleket vezetik rá egy N pontos IFFT blokk bemenetére, minden vívőnek más és más modulációs értéket adva. OFDM rendszerekben a vívők egy részét nem információ hordozására, hanem referencia- illetve mérőjelként használják (pilotvívők), vagy használaton kívül hagyják (nullvívők). Az IFFT blokk kimenetén megjelenő időtartománybeli jelmintákat még a felkeverés előtt kiegészítik további mintákkal, amelyeket együttesen cyclic prefixnek (ciklikus előtagnak, CP) hívunk. Ezek a minták többnyire az időtartománybeli jel N darab mintájából az utolsó P darabnak a jelalak elejére történő másolásával állnak elő. Ezeket a mintákat a szimbólumok közötti áthallás kiküszöbölésére használják, így a vevőoldalon a többutas terjedés okozta káros hatások csökkenthetők. Az így kialakított alapsávi jelet (s_n) a továbbiakban egy digitális-analóg átalakító segítségével folytonos jellé alakítjuk, majd ezt keverjük fel egy vagy több lépésben a vívőszámba.

2.2 Spektrális tulajdonságok

A kommunikációs rendszerek egyik fő jellemzője az elfoglalt sáv szélesség és a szomszédos csatornás áthallás. A 2. ábrán látható az OFDM jel spektrális sűrűség-függvénye a vívők számának függvényében. Jól látható, hogy a vívőszám növelésével a sávkihasználás javul olyan értelemben, hogy a szomszédos csatornás szivárgás (adjacent channel leakage) csökken. Ez az érték a vizsgált három vívőszám mellett -25 és -40 dB kö-

zött van a szomszédos csatornában. A vívők számának növelése ugyanakkor nem végezhető akármennyig. Például az adó és a vevő oszcillátorai között fellépő, teljes mértékben nem kiküszöbölhető frekvenciaeltérés (offset), amely a vevőben vívők között áthallást eredményezhet, komoly gondot okozhat; továbbá az FFT művelet mintaszámának növelése is komoly számításigényvonzattal jár.



2. ábra Az OFDM rendszer spektrális sűrűsége

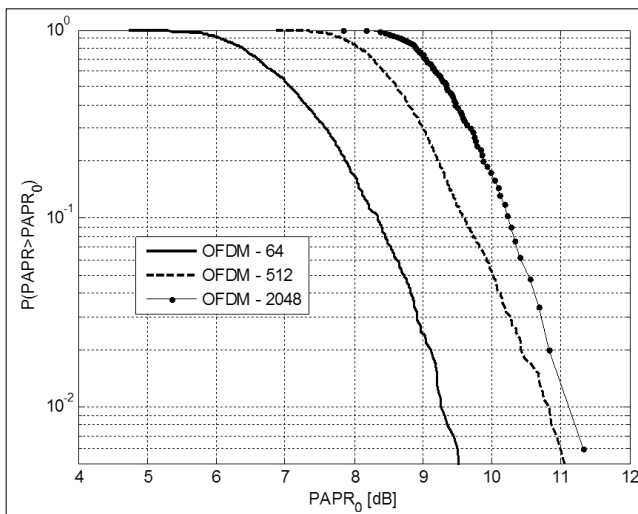
2.3 Az OFDM jel csúcstényezője

Az OFDM jel egyik fő problémája az időtartománybeli jel nagy dinamikája, a nagy csúcstényező (PAPR – Peak-to-Average Power Ratio). A csúcstényező meghatározható a szimbólum legnagyobb pillanatnyi teljesítményének és a jel átlagteljesítményének arányát 10-es alapú logaritmus alá véve:

$$PAPR = 10 \log_{10} \left(\frac{x_{n,\max}^2}{\sum_n (x_n)^2} \right), n = 0, 1, \dots, N-1$$

A spektrális tulajdonságokhoz hasonlóan, a PAPR érték is függ a vívők számától. A PAPR valószínűségi eloszlása látható a 3. ábrán.

3. ábra A csúcstényező eloszlásfüggvénye



Jól látható hogy a vivők számának növelésével a valószínűség, hogy a jel PAPR értéke átlép egy adott $PAPR_0$ értéket, egyre növekszik. Vagyis nagyobb vivőszámnál a csúcstényező nagyon nagy értékeket is felvehet. Mivel az OFDM jel komplex vivők összegeként fogható fel, ezért jó közelítéssel – a centrális határeloszlás tétele miatt – az amplitúdóértékek gaussi eloszlásúak lesznek.

A nagy csúcstényező elsősorban a végerősítőben okoz gondot, ahol az erősítőnek széles linearitási tartománnyal kell rendelkeznie, ellenkező esetben a jel nemlineáris torzítást szenved. Azonban a széles lineáris tartomány kihasználtsága a gaussi eloszlású amplitúdó miatt alacsony marad, így az erősítő hatásfoka nem lesz optimális. Valós rendszerekben kompromisszumos megoldásként körülbelül 10 dB-s linearitási tartományra terveznek és csúcstényező-csökkentő eljárásokat alkalmaznak.

3. Alternatív modulációs sémák

Ebben a szakaszban ismertetünk három, az OFDM alapvetésére épülő, azt valamilyen szempontból felülmúló modulációs megoldást.

3.1 DFTS-OFDM

Az 1/b. ábrán látható elrendezésű DFTS-OFDM technika az OFDM „alaprendszer” kiegészítésével áll elő. Az adóban a leképzést követően, a modulációs lépést megelőzve egy DFT, a vevőben pedig egy IDFT blokk kerül. A DFTS-OFDM technika előnye a konvencionális OFDM-nél alacsonyabb PAPR érték. Lényegében a moduláció felfogható, mint egy egyvivős moduláció is, ezt a technikát alkalmazza a korszerű LTE (Long Term Evolution – negyedik generációs mobil adatátviteli szabvány) technológia is.

3.2 CE-OFDM

A CE-OFDM technika a PAPR drasztikus csökkentését célozza. Az 1/c. ábrán látható elrendezésű rendszerben a leképzést követően a szimbólumok mellé elhelyezzük konjugált komplex párjaikat, és a párokat úgy rendezzük el, hogy az IFFT kimenetére valós jel kerüljön. Az így kapott x_n valós jelet egy fázismodulátorra vezetjük, ahol konstans amplitúdó mellett az IFFT kimeneti valós jele $-2 \cdot \pi \cdot h$ súlyozó tényezővel szorozva – az időfüggvény fázisát befolyásolja, lényegében folytonos fázisú modulációt (CPM) valósít meg. A fázismodulátor kimeneti jele (z_n) az x_n bemeneti jel függvényében:

$$z_n = e^{j2\pi h x_n}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1.$$

A CE-OFDM technika hátránya, hogy – mivel az eredeti szimbólumok mellett a konjugált komplex párokra is szükség van – az elérhető adatsebesség az OFDM-hez képest feleződik. A technika nagy előnye, hogy alkalmazásával az ismertetett eljárások közötti legalacsonyabb PAPR érték érhető el. A modulált jel teljesítménysűrűség-függvényét a CPM-hez hasonlóan a fázismodulátor h súlyozó tényezője befolyásolja, és a spektrumban megjelenhetnek diszkrét vonalak.

3.3 FBMC

Az 1/d. ábrán látható az FBMC rendszer blokkdiagramja. A komplex szimbólumokat frekvencia-kiterjesztéssel létrejövő köztes frekvenciaértékekre leképezve súlyozzák, mégpedig az OFDM-nél megszokott négyszögablak helyett egy speciális szűrőbankkal, amely prototípusszűrőre épül. Az M -szeres frekvencia-kiterjesztés miatt M -szeres pontszámú FFT alkalmazása szükséges.

A prototípusszűrő tulajdonságainak köszönhetően az FBMC spektrális tulajdonságai az előző eljárásokhoz képest lényegesen előnyösebbek, a szomszédos csatornás szivárgás mértéke sokkal kisebb [11]. Mivel a szimbólumok az időtartományban hosszabbak, ezért a spektrum keskenyebb lesz. Az FBMC eljárás QAM-et alkalmazva a CE-OFDM-hez hasonlóan felezett adatsebességű működésre képes, de a komplex alapsávi jelek I és Q összetevőit (a valós és képzetes részt) szétválasztva OQAM (Ofszet-QAM) alkalmazásával az előnyös spektrális tulajdonságok mellett az adatsebesség változatlan marad [12]. Az OFDM-mel egyező adatsebességű esetben a szomszédos szimbólumok átlapolódnak egymással. Az átlapolódás a vevőben megszüntethető, ha a szomszédos, átlapolódó szimbólumokra felváltva a komplex alapsávi jel valós és képzetes összetevőit adjuk. A prototípusszűrőt oly módon kell megtervezni, hogy ez esetben is képes legyen Nyquist-kritérium szerinti szétválasztásra [13]. Ezzel az elrendezéssel a szimbólumidő növekedése és a szomszédos szimbólumok átlapolódása ellenére is elértük a szomszédos csatornás áthallás jelentős csökkenését.

Az FBMC megoldásnak a szomszédos csatornás áthallás csökkenése mellett másik nagy előnye, hogy nem alkalmaz ciklikus előtagot, aminek következtében növelhető az adatsebesség. Megjegyezzük, hogy a szűrő impulzusválaszának hosszúságától függő hosszúságú fel- és lefutási idővel viszont számolni kell.

Az FBMC legnagyobb hátránya, hogy az előző megoldásokhoz viszonyítva nagyobb pontszámú FFT/IFFT műveleteket igényel és a szűrőbank alkalmazása miatt a működtetéséhez sokkal számításintenzívebb jelfeldolgozás szükséges. Polifázisú szűrőbank alkalmazásával ez a számításigény jelentősen csökkenthető [14]. Másik hátránnyként említhető a vevőoldali csatornakiégénylítés bonyolultságának növekedése a CP hiánya miatt.

4. A négy modulációs séma összehasonlítása

4.1 Adatsebesség, jelfeldolgozási komplexitás

A CE-OFDM spektrális hatékonysága közelítőleg a fele a másik három modulációénak. Az FBMC esetén az OQAM alkalmazásával megtartható az OFDM eredeti adatsebessége, sőt a CP hiánya miatt nagyobb spektrális hatékonyság is elérhető. A jelfeldolgozási komplexitás szempontjából a legelőnyösebb tulajdonságokkal a legegyszerűbb eljárás, az OFDM rendelkezik. A CE-OFDM és a DFTS-OFDM rendre kissé növekvő komplexitású, de a kiterjesztett FFT és a szűrés miatt messze az FBMC rendszer igényli a legnagyobb számítási kapacitást.

	OFDM	DFTS-OFDM	CE-OFDM	FBMC
Rendszer-komplexitás	alacsony	közepes	közepes	komplex
Spektrális tulajdonságok	alacsony oldalsávi szivárgás	alacsony oldalsávi szivárgás	DC + oldalsávi szivárgás	nagyon alacsony oldalsávi szivárgás
Csúcsstényező	nagy	közepes	kicsi	nagy
Adatsebesség	1-P/N	1-P/N	0.5(1-P/N)	1

1. táblázat
A négy modulációs séma összehasonlítása

4.2 Spektrális tulajdonságok

A modulációs sémák spektrális teljesítménysűrűség-függvénye látható a 4. ábrán.

CE-OFDM esetén $2 \cdot \pi \cdot h = 0,8$ értéket használtunk. A szimulációk során ebben az esetben ideális, lineáris erősítő használatát feltételeztük, a CP a szimbólumidő negyedével egyező hosszúságú. Az ábrán jól látható, hogy a legelőnyösebb spektrális tulajdonságokkal az FBMC jel rendelkezik. A szomszédos csatornás áthallás a sávhátáron ebben az esetben -60 dB alatti. Az OFDM és a DFTS-OFDM hasonló spektrális tulajdonságokat mutat, míg a CE-OFDM esetén a kis PAPR érték elérése mellett kompromisszumként a rendelkezésre álló csatorna kisebb hatékonyságú kihasználása és nagy DC összetevő látható.

A spektrális tulajdonságok alapján a kognitív rádiós felhasználásra az FBMC a legalkalmasabb.

4.3 Csúcsstényező

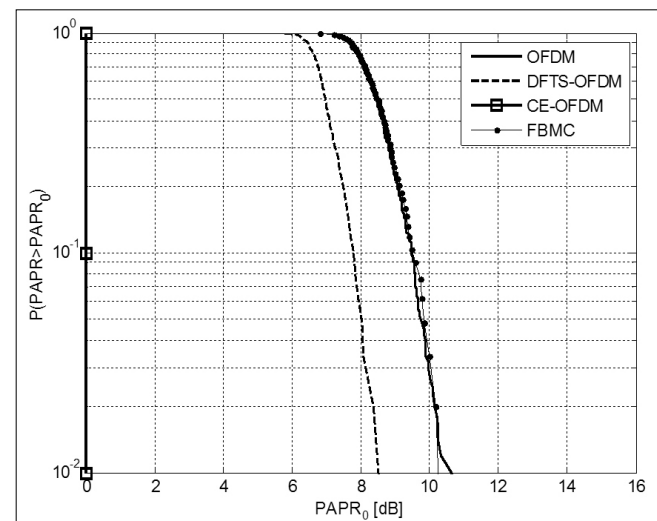
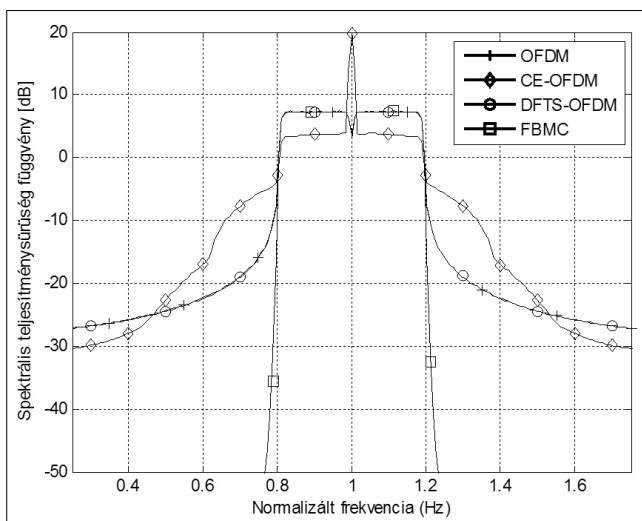
A teljesítményerősítők korlátozott lineáris dinamika-tartománya miatt fontos a csúcsstényező minél alacsonyabb értéken tartása. Az 5. ábrán a vízszintes tengelyen feltüntetett PAPR függvényében látható a függőleges tengelyen annak a valószínűsége, hogy a jel PAPR-je ennél nagyobbak adódik. Az OFDM és az FBMC itt közel megegyező eredményeket produkál, a DFTS-OFDM eredménye ennél valamivel kedvezőbb, míg a konstans burkoló miatt a CE-OFDM esetén a fázismoduláció miatt az amplitúdója állandó 0 dB.

5. Összefoglalás

Cikkünkben négy lehetséges többvivős modulációs sémát mutattunk be, melyeket a mérnökök kognitív rádiós eszközökben alkalmazhatnak. Ismertettük a rendszerekben használatos alapvető jelfeldolgozási lépéseket. Az összehasonlítást különös tekintettel az OFDM rendszerre végeztük. Az elemzéseket összefoglaló eredmény látható az 1. táblázatban. OFDM esetén a legegyszerűbb a jelfeldolgozás. DFTS-OFDM és CE-OFDM esetén néhány extra jelfeldolgozási elemre van szükség, míg FBMC esetén a komplexitás növekedése sokkal jelentősebb. A spektrális tulajdonságok szempontjából az FBMC rendszer a legelőnyösebb, ez rendelkezik a legkisebb szomszédos csatornás áthallással. A CE-OFDM rendszeré az legalacsonyabb csúcsstényező, amely az erősítő tervezését és gazdaságos üzemeltetését könnyíti meg. A DFTS-OFDM rendszer ugyan egyik kategóriában sem bizonyult a legjobbnak, a legtöbb esetben mégis jó kompromisszumos megoldás lehet, mivel minden szempont szerint jó eredményeket mutat. Általánosságban elmondható, hogy ezeket a szempontokat kell a kognitív rádiók modulációs sémájának tervezésénél figyelembe venni és azt a modulációt választani, amely a legjobban megfelel a kívánt specifikációnak. Az ideális rendszer kiválasztása során néhány további, a cikkben csak érintőlegesen említett aspektust is érdemes figyelembe venni, például a szinkronizáció [15], csatornakiégnyelés [16] témakörét, amelyek szintén fontos szerepet játszhatnak.

4. és 5. ábra

A vizsgált négy modulációs eljárás spektrális sűrűsége és csúcsstényezőjének eloszlásfüggvénye 512 vivő esetén



Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az Európai közösség 7. keretprogramja támogatta a 248454 számú pályázat keretében (QoSMS).

A szerzőkről



KOLLÁR ZSOLT okleveles villamosmérnök, 1983-ban született Budapesten. 2008-ban szerzett diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki szakán. Jelenleg a BME Méréstechnika és Információs Rendszerek tanszékén doktorandusz. 2007 óta tagja a Rohde&Schwarz referencialabornak. Főbb kutatási területe az OFDM rendszerek, valamint jelfeldolgozás vezetékek nélküli kommunikációban, ezen belül is a szinkronizáció és csatorna-kiegyenlítés módszerei.



VARGA LAJOS okleveles villamosmérnök, 1986-ban született Medgyesegyházán. 2011-ben szerzett diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki szakán. 2007 óta tagja a Rohde&Schwarz referencialabornak és a Masat-1 kisműholdat építő csapatnak, jelenleg a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan tanszék demonstrátora. MSc diplomatervében a cikk tárgyát is képező többvívós modulációs eljárásokat vizsgálta.



HORVÁTH PÉTER okleveles villamosmérnök, 1978-ban született Budapesten. 2011-ben szerzett PhD fokozatot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan tanszékén tanársegéd. Főbb kutatási területei a MIMO-rendszerek, csatornamodellezés, valamint a kognitív rádiók fizikai rétegének aspektusai.

Irodalom

- [1] Mitola, J. and Maguire, G.Q., „Cognitive radio: Making software radios more personal” IEEE Personal Communications, Vol. 6, No.4, pp.13–18, August 1999.
- [2] Qing Zhao and Sadler, B.M., „A Survey of Dynamic Spectrum Access,” IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 24, No.3, pp.79–89, May 2007.
- [3] IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks [Online]. Elérhető: <http://www.ieee802.org/22/>
- [4] Cordeiro, C., Challapali, K., Birru, D., Shankar, S., „IEEE 802.22: The first worldwide wireless standard based on cognitive radios,” IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks DySPAN, Baltimore, USA, pp.328–337, 2005.
- [5] Nekovee, M., „A survey of cognitive radio access to TV White Spaces” 2009 ICUMT'09. Int. Conf. on Ultra Modern Telecom. and Workshop, pp.1–8, 12-14 October 2009.
- [6] van Nee, R. and Prasad R., OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, Boston, USA, 2000.
- [7] Zs. Kollár and P. Horváth, „Modulation schemes for cognitive radio in white spaces,” Radioengineering, Vol. 19, No.4, pp.511–517, 2010.
- [8] Hyung G. Myung, Junsung Lim, David J. Goodman, „Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission” IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol. 1, No. 3, pp. 30-38, Sep. 2006.
- [9] D. Galda and H. Rohling, „A low complexity transmitter structure for OFDM-FDMA uplink systems,” In: Vehicular Technology Conf., VTC Spring 2002, IEEE 55th, Vol. 4, pp.1737–1741, 2002.
- [10] S.C. Thompson, A.U. Ahmed, J.G. Proakis, J.R. Zeidler, M. J. Geile, „Constant envelope OFDM,” Transactions on Communications, Vol. 56, No.8, pp.1300–1312, August 2008.
- [11] F. Schaich, „Filterbank based multi carrier transmission (FBMC) – evolving OFDM: FBMC in the context of WiMAX,” In: 2010 European Wireless Conference (EW), pp.1051–1058, 2010.
- [12] P. Siohan, C. Siclet, N. Lacaille, „Analysis and design of OFDM/OQAM systems based on filterbank theory,” IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 50, No.5, pp.1170–1183, 2002.
- [13] H.S. Malvar, „Extended lapped transforms: Properties, applications and fast algorithms,” IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 40, No.11, pp.2703–2714, 1992.
- [14] P.P. Vaidyanathan, Multirate systems and filter banks, Prentice-Hall Inc., 1993.
- [15] Zsolt Kollár and Péter Horváth, „Physical Layer Considerations for Cognitive Radio: Synchronization Point of View,” IEEE 73rd Vehicular Technology Conference, VTC2011-Spring, Budapest, Magyarország, 2011. Paper 97-74244.
- [16] Zs. Kollár and Péter Horváth, „Equalization of Multicarrier Cognitive Radio Transmission Over Multipath Channel with Large Delay Spreads,” Infocommunications Journal, Vol. III, No.2, pp.43–47, May 2011.

3D-s videófolyamok vizsgálata GPON alapú hálózaton

KULIK IVETT, TRINH ANH TUAN, BALLA PÉTER

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
{kulik, tuan}@tmit.bme.hu, ballapeter87@gmail.com

Lektorált

Kulcsszavak: GPON, 3D multimédia tartalom, sztereoszkópikus megjelenítés, élménymínőség (QoE) vizsgálat, szubjektív érzékelés

Az Interneten áthaladó 3D videófolyamok forgalmának növekedése kihívások elé állítja az internetszolgáltatókat.

A szolgáltatásminőség (QoS) mindig fontos szerepet játszott, de az óriási multimédia tartalmak mellett mára már nem elégséges, és az élménymínőség (QoE) vizsgálata is előtérbe került. A felhasználók szubjektíven érzékelik a különböző hálózati és multimédia jellemzők ráhatását a QoE-re. Az utóbbi években lényegesen fejlődött a 3D sztereoszkópikus technológia és különböző módszerekkel végeztek sztereoszkópikus tartalom élménymínőség vizsgálatokat is.

Eredményeink igazolják, hogy a Gigabit Passive Optical Network (GPON) hálózat megfelelő 3D multimédia tartalmak átvitelére, de a látvány minősége érzékeny a kézbesítési változásokra.

1. Bevezetés

Az internet óriási sikere vitathatatlanul megváltoztatta világunkat. A széles sáv szélességű átvitel térhódítása idején a multimédia tartalom exponenciális növekedése, ezen belül is a háromdimenziós lehetőségek megjelenése új kihívások elé állítja a szolgáltatókat. 3D-s videójátékok és filmek tömkelege kerül nap mint nap a médiaszerverekre világszerte, amelyek megfelelő szolgáltatásminőség (QoS) mellett kell, hogy eljussanak a felhasználóhoz. Így a jövő Internetének fókuszálnia kell a háromdimenziós tartalmak átvitelére. A felhasználók oldalán a 3D-s tartalmat megjeleníteni képes televíziók, monitorok és mobiltelefonok mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap az élmény minőségének (QoE, Quality of Experience) a fejlesztése is.

A világban több kutatás is folyik ebben a témában. Komoly terület a jövő 3D média Internetének a gondolata, ahol forradalmi változásokra van szükség olyan különböző tárgykörökben, amelyek összefüggenek a médiahálózattal [1]. A QoE vizsgálatnak két alpmódját különböztetjük meg: a szubjektív és az objektív értékelést, majd következik a különböző módszerekkel megállapított eredmények kiértékelése [2]. A 3D-s TV technológiánál előtérbe kerül a sztereoszkópikus megjelenítés, ahol a tömörített tartalom kommunikációs csatornákon keresztül jut el a felhasználóhoz, bár a tömörítés és az átviteli hibák gyengíthetik a minőséget.

A már említett szubjektív minőségértékelés a vizuális megjelenítés minőség meghatározásának a legpontosabb formája, úgy 2D folyamatok, mint 3D tartalmak esetében. A sztereoszkópikus tartalom esetében 4-féle torzulási faktor vizsgálatával foglalkoztak: Gauss-féle elmosódottság, JPEG tömörítés, JPEG 2000 tömörítés és fehér zaj [3]. Ebben az esetben a 2D folyamatból jól ismert egyenlőtlenségi jellemző az objektum jobb és bal szemmel érzékelt különböző elhelyezkedéséből ered, és erősen befolyásolja a minőségi képzékelést. Az

eredmények alapján élvezhetőbb a tartalom, az egyenlőtlenség és az eredeti képinformáció megfelelő kombinációja mellett.

A 2010-es évben a szórakoztató elektronikai piac legnagyobb gyártói autosztereoszkópikus 3D-s televíziók fejlesztésébe kezdtek, ahol már nincs szükség szemüvegre. A globális 3D-s piac újhulláma a szemüveg nélküli szórakoztatás lesz, ami mindenképp új problémák és kihívások elé állítja a fejlesztőket és gyártókat. A szakemberek szerint a szemüveg nélküli 3D eleinte a mobiltelefonok kijelzőjén jelenhet meg, vagy más kisebb felületű kijelzőkön. Az első alkalmazások közé tartozik az úgynevezett autosztereó fotókeret, amelyhez egy mobiltelefon méretű kamerával a felhasználó saját 3D-s videókat készíthet.

A mi leírásunk a BME-TMIT laboratóriumában Gigabites Passzív Optikai Hálózat (GPON, Gigabit Passive Optical Network) technológián alapuló hálózaton egy médiaszerverről lekért különböző kódolású – XviD ISO MPEG-4, H.264/MPEG-4 AVC és WMPv9 (VC-1 Simple/Main) – 3D-s sztereoszkópikus videófolyamok TCP-alapú átvitel melletti megjelenítési minőségvizsgálattal foglalkozik a felhasználói oldalon. Sztereoszkópikus tartalmak élménymínőség (QoE) tesztelésével már eddig is foglalkoztak, aminek eredményei különböző publikációkban meg is jelentek [5,7], miközben a mobiltelefonokon való megjelenítés is fontos [9].

A mi méréseink újdonsága, hogy a kiépített rendszer egy GPON-egységeket tartalmazó hálózaton alapult, aminek egyes elemei szintén ismertetve vannak a cikkben. Tudatában vagyunk természetesen a kliens, tehát a megjelenítő számítógép konfigurációja fontosságának, de az eredmények értékeit erősen befolyásolhatják a kiépített átviteli hálózat elemeinek a paraméterei is. Az eredmények egy kliens használatával lettek le mérve, különböző minőségi és teljesítményi kritériumok beállítása mellett. Hibamentes hálózat, majd különböző eltérések, úgymint a késleltetés, csomagvesztés, csomagduplikálás és cso-

magfelicserélődés előidézése, végül pedig a rendelkezésünkre álló sáv szélesség korlátozása voltak azok a kritériumok, amelyek mellett teszteltük a kiépített rendszert.

2. A térhatású megjelenítés egyes formái

Az emberi látás úgynevezett binokuláris látás, ami azt jelenti, hogy a két szemmel látott képet az agy olvasztja egybe. Tehát a két szemmel látott kép nem pontosan ugyanolyan, a mélységet agyunk a két kép különbségének alapján határozza meg. A jelenlegi 3D-s technológia általában megköveteli a szemüveg használatát. A nem szemüveges változatú eszközök is léteznek, de még nem eléggé elterjedtek ahhoz, hogy tömeges bevezetésre kerüljenek.

A legrégebbi háromdimenziós megjelenítés az anaglif, vagy közismertebben a piros-kék szemüveges megoldás. Az anaglif kép a jobb és bal szem számára is tartalmaz információt, de a bal szemén lévő szűrő kiszűri azokat az információkat, amelyek a jobb szemre tartoznak és fordítva. A polarizáció elvét kihasználva is lehet 3D-s képet megjeleníteni – ezek a polárszűrős szemüvegek. A használt szemüvegnek csak annyit kell tudnia, hogy két szem számára eltérő polarizáltaságú képet vetítsen.

A 3DTV technológia óriási fejlődése mellett komoly helyre került a sztereoszkópikus képmegjelenítés [3]. Itt aktív záras folyadékkristályos szemüvegeket használnak. Ezzel a technológiával a jobb és bal szemre fel-

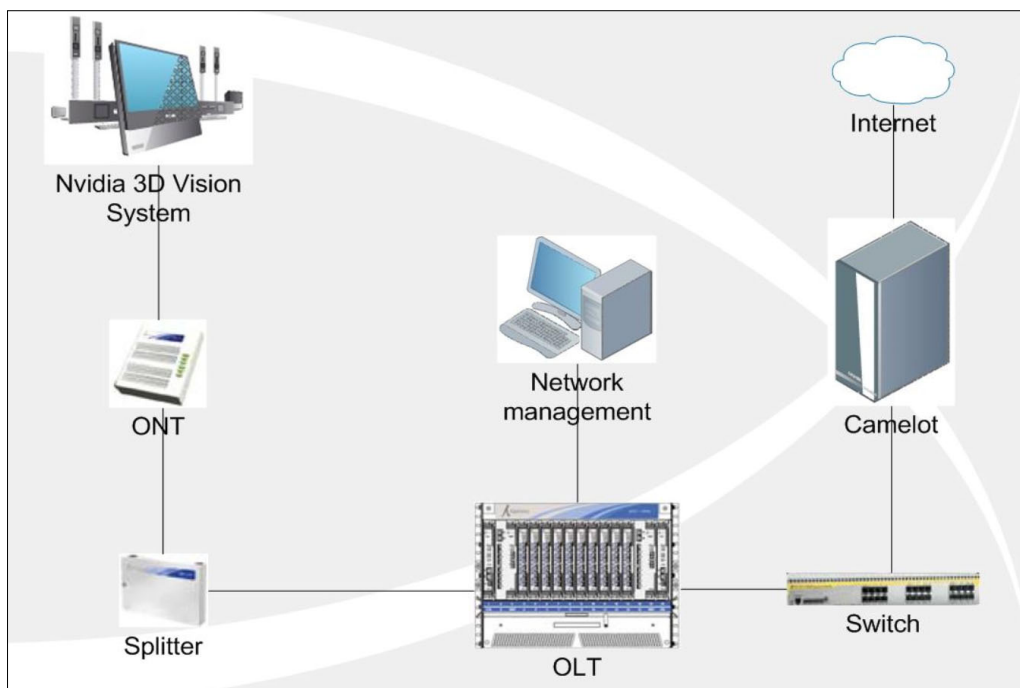
váltva jut el a megfelelő kép, másodpercenként akár 120-szor blokkolva a szembe jutó képet. Ez már ma is általánosan használható formátumot jelent, tehát ez a jövő egyik komoly technológiája, még azzal a kis bosszúsággal is, hogy szemüveget kell hozzá viselnünk.

Autosztereoszkópikus megjelenítésnél már nincs szükség szemüvegre, mert itt a mélységérzetet a fény útjának precíz szabályozásával érik el. A kijelző felületét úgy alkotják meg, hogy egyes képpontokat az egyik, míg másokat a másik szemünk lát.

A térhatásos megjelenítés mindaddig egyszerű, amíg csak azt nézzük, hogy a bal és jobb szembe érkező képet szinkronban kell megjeleníteni. Azonban a két szemnek szánt képet már többféle módon is át lehet vinni a hálózaton, mint például egymás után felváltva, vagy hagyományos kép formájában, de egy úgynevezett mélységtérképpel.

3. A háromdimenziós videó átvitelére alkalmas rendszer

A 3D videófolyamok átvitelére alkalmas hálózat tervezése és megvalósítása előzte meg a folyamatok vizsgálatának fázisát. Olyan hálózatra volt szükség, amely megfelelő sáv szélességgel bír, illetve olyan kliensre, amely képes a 3-dimenziós tartalom megjelenítésére, majd QoS-paraméterek változtatása mellett a videófolyam minőségének és hibátűrésének a vizsgálatára.



1. ábra
A 3D videófolyamok átvitelére létrehozott rendszer

	Komponens típusa, tulajdonsága	Megjegyzés
Processzor	Intel Core 2 Quad, Q8300, 2,5GHz	Az ajánlás szerint legalább Intel Core 2 Duo, vagy AMD X2 Athlon processzorra van szükség
Videókártya	NVIDIA GeForce GT 240	Az ajánlás szerint 8-as, 9-es, vagy 200-as sorozatú NVIDIA videokártyára van szükség.
Memória	4 GB RAM	

1. táblázat
3D megjelenítésre alkalmas számítógép paraméterei

3.1 GPON-alapú hálózat

A 3-dimenziós videók átviteléhez nagy sebességű hálózatot kell biztosítani. Kódolástól, tömörítéstől függően a legtöbb videó adatsebessége 10 Mbit/s körül van, de akár a 20 Mbit/s-ot is könnyen meghaladhatja. A BME-TMIT laboratóriumában kiépített oktatási célú GPON-hálózat képességei tökéletesen megfelelnek nagy sávszélességet igénylő videók átviteléhez (sebességek: letöltés – 2,5 Gbit/s, feltöltés 1,5 Gbit/s), így ezt terjesztettük tovább.

A 3D videófolyamokat megjelenítő számítógép paramétereit az 1. táblázat összegzi. Ez a konfiguráció a sztereoszkópikus megjelenítőkhöz tartozik.

A Camelot-szerver a videótartalmak tárolásáért, illetve megosztásáért felelős, amit a VLC program biztosít – tehát a gép multimédia szerverként szolgál. A szerver paramétereit a 2. táblázat összegzi.

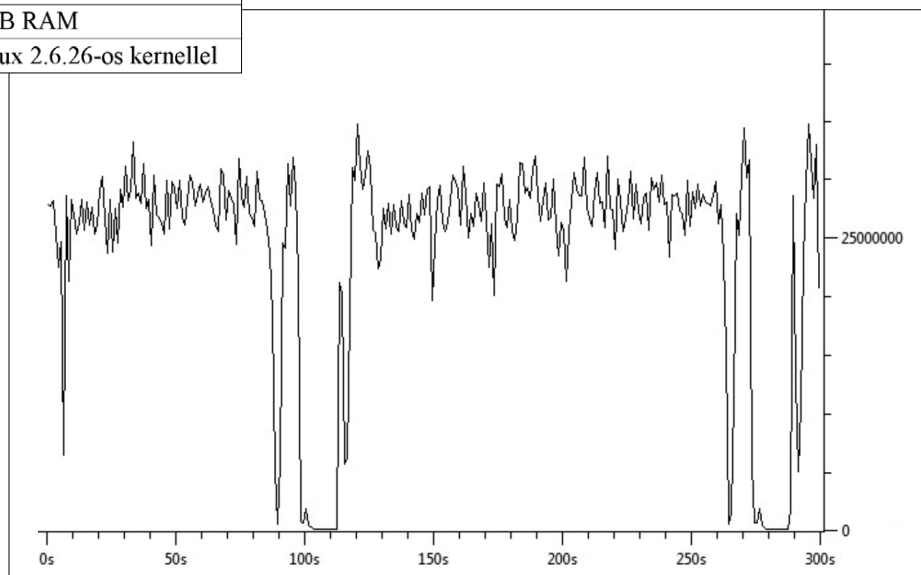
Egyik Gbit/s portja az OLT CXU-ra, a másik Gbit/s portja az egyetemi hálózatra van kötve. Az internetelés NAT-olt (Network Address Translation – Hálózati Címfordítás) VLAN-okon keresztül biztosított.

A GPON-hálózat előfizetői oldalát lezáró berendezés a CIG G25-E típusú ONT (Optical Network Terminal). Felhasználói interfészeire fogyasztásra kész szolgáltatást nyújtó végberendezések kapcsolhatók. Az OLT, valamint az ONT berendezések a Siemens EM-PX menedzser kliens segítségével vezérelhetők.

	Komponens típusa, tulajdonsága
Alaplap	Asus P5B Deluxe
Processzor	Intel Core 2 Duo – 2,13 GHz
Memória	1 GB RAM
Operációs rszr.	Debian GNU Linux 2.6.26-os kernellel

2. táblázat
A Camelot multimédia szerver
paramétereit

3. táblázat
A tesztelt videófolyamok
paramétereit



2. ábra
A WMPv9 (VC-1 Simple/Main)
kódolási mérés bit/s-grafikonja

Paraméter neve	Paraméter értéke		
Videó kódoló	WMPv9 (VC-1 Simple/Main)	XviD ISO MPEG-4	H.264/MPEG-4 AVC
Konténer formátum	wmv	avi	mp4
Hossz	00:02:21	00:06:57	00:02:58
Teljes bitráta (videó+audió)	20219 kb/s	7498 kb/s	10112 kb/s
Felbontás	1920*1080	1920*1080	1920*720

4. A létrehozott rendszer tesztelése

A rendszer tesztelésének célja: bemutatni, hogy a megvalósított rendszer a tervezés követelményeinek megfelel. Továbbá különböző minőségi és teljesítményi vizsgálatok segítségével újabb konzekvenciák vonhatók le a berendezések, illetve a hálózat működésével kapcsolatban.

A tesztelés két fő részből állt:

1. A 3D-s videófolyamok átvitele esetén hogyan terhelődik a rendszer: mekkora sávszélességet igényelnek a videók, hiba nélküli-e az átvitel, folyamatosan érkeznek-e be az adatok, jó-e a megjelenített kép stb. Ezen tesztek során hasonló paraméterű – nagy felbontású, de különböző kódolót használó és különböző tömörítésű videók összehasonlítását végeztük.

2. Arra kerestük a választ, hogy mennyire hibátűrő az átvitel, egyes eszközök túlterhelésének a szimulálása, illetve hibagenerálás mellett.

A 3D-s tartalmat internetről ingyenesen letölthető rövidebb videófolyamok jelentették. Azonban a videó hossza a tesztelés céljából nem releváns, ugyanis az alkalmazott szoftver segítségével könnyen beállítható, hogy a lejátszás ne egyszeri, hanem ciklikus legyen, így a tesztek hosszát egyedül a mérések során generálódott adatfájl nagysága határozta meg. Minden mérés körülbelül 5 perces időtartamot ölelt fel – a feldolgozhatóság miatt.

A tesztelt 3D-s videófolyamok főbb paramétereit a 3. táblázatban olvashatjuk.

Az egyes típusokból többet is teszteltünk, de a hasonló eredmények miatt minden egyes tesztfajtaból csak egyet említünk.

4.1 Háromdimenziós videóátvitel tesztelése hibagenerálás nélkül

A hibagenerálás nélküli tesztkörnyezet felépítése nem tér el a megvalósított rendszertől.

Az első teszt alanya **WMPv9 (VC-1 Simple/Main)** kódolóval kódolt videófájl volt. Az átvitel egy nagy felbontású digitális adás sávszélességének a többszörösét igényli (23,827 Mbit/s volt a középtérték).

A 2. ábrán jól megfigyelhető a sávszélesség ingadozása és a videólejátszás ciklusossága. Ezt a hosszabb, viszonylag kevés adatot tartalmazó szakaszok mutatják a mérés 100-115 s, illetve 170-190 s intervalluma között. A forgalom megszakítás nélkül, zavartalanul történt, de a periodicitás nem volt folytonos.

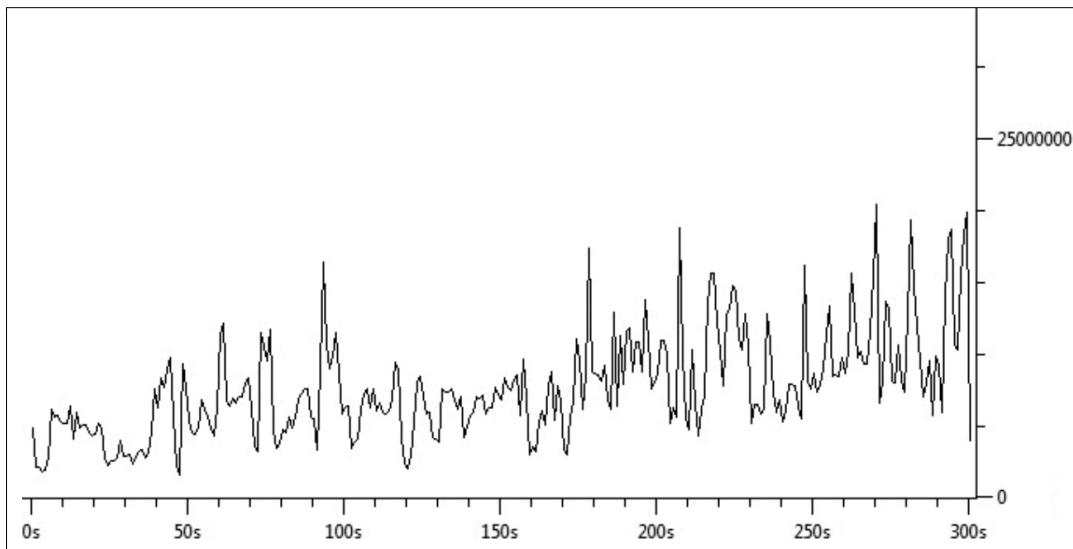
A második teszt alanya az **XviD ISO MPEG-4** kódolóval kódolt videófájl volt. A videóátvitel jelentősen megközelítette a nagy felbontású digitális tv-adás átviteléhez szükséges sávszélességet, de jelentősen kisebb volt, mint a WMPv9 (VC-1 Simple/Main) esetében (7,564

Mbit/s volt középtérték) és sávszélességigény-ingadozás is megjelent, ami szintén megfigyelhető a 3. ábrán. A kép minősége is kicsit gyengébb volt a WMPv9 kódolású videóhoz képest. Az adatátvitel forgalom-megszakítás, csomagvesztés, illetve késleltetés nélkül, vagyis zavartalanul történt.

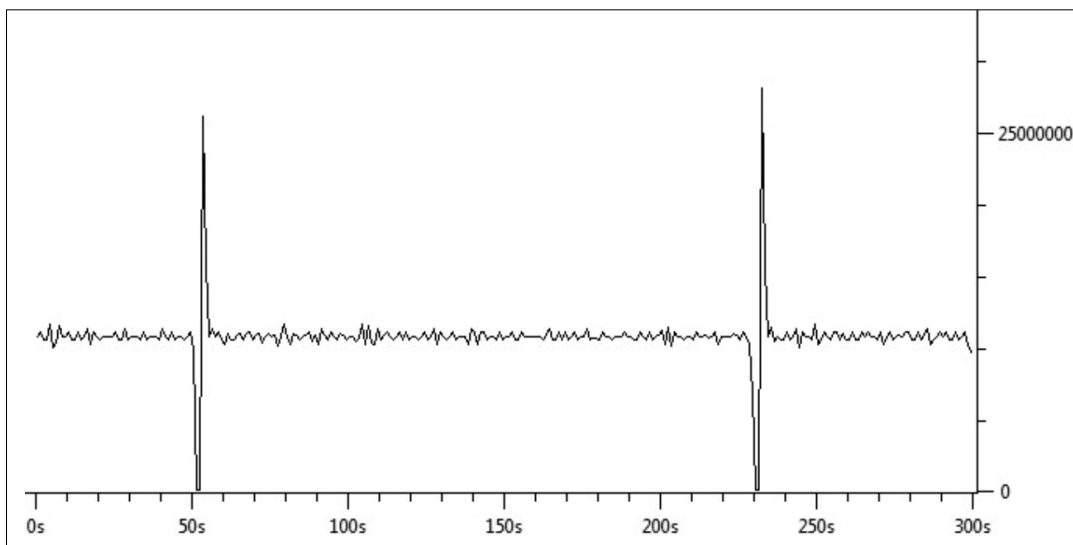
Végül a **H.264/MPEG-4 AVC** kódolóval kódolt videófájl tulajdonságait vizsgáltuk, miközben az átvitelhez igényelt sávszélesség egy nagy felbontású digitális adás közel másfél, kétszerese (10,728 Mbit/s középtérték), de jóval alatta marad a WMPv9 (VC-1 Simple/Main) kódoló esetének. Sávszélesség-ingadozás egyáltalán nem vehető észre, csak a videószakaszokat éles eltérés („tűske”) választja el egymástól (4. ábra). A megjelenítés minősége itt sem közelítette meg a WMPv9 kódolás esetét. Csomagvesztés nem volt, de bizonyos helyeken a ciklusok között késleltetés történt.

4.2 Háromdimenziós videóátvitel tesztelése hibagenerálással

A megvalósított hálózatba egy WANulator hálózatszimulátorral ellátott hibagenerálásért felelős számítógépet kötöttünk, a bővített hálózatot az 5. ábra mutatja.



3. ábra
Az XviD ISO MPEG-4
kódolási mérés
bit/sec grafikonja



4. ábra
Az H.264/MPEG-4
AVC mérés
bit/s-grafikonja

A TCP-folyamok módosításával csomagvesztést, -duplikációt, -felcserélődést és -késleltetést idéztünk elő. A felhasználói oldalon figyeltük a tesztek során generált hibák hatását. Mivel a tesztelési eredmények alapján mind a három különböző kódolású videófolyamra a TCP-alapú hibagenerálás ugyanolyan hatást gyakorolt, így csak a WMPv9 (VC-1 Simple/Main) kódolásra vonatkozó teszt eredményeket ismertetjük.

Késleltetés

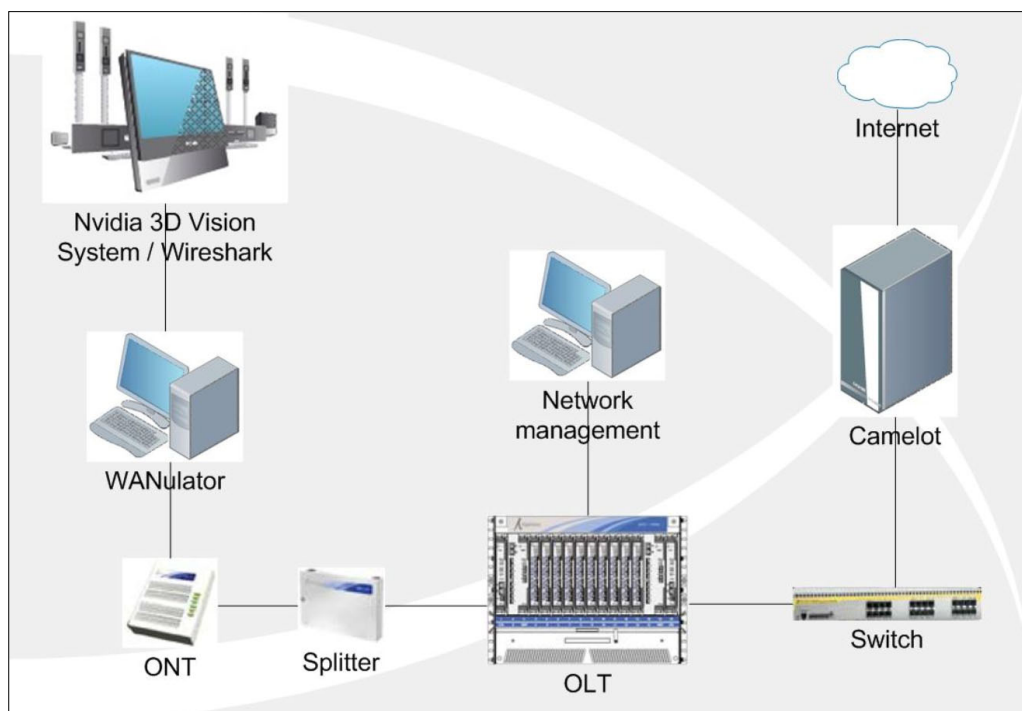
A WANulator segítségével csak az összes csomag késleltetése lehetséges a megadott ideig. Tehát a megadott ideig nemcsak az adott csomagot tartotta fel, hanem az összes utána érkezőt. A WMPv9 (VC-1 Simple/Main) kódolású 3D-s videó tesztelése során az első percben nem jelentkezett késleltetés, később azonban a percenként 100, 200, és 500 ms volt a másodpercenkénti késleltetés.

Ahogy a 6. ábra grafikonján is látható, a harmadik percre, vagyis a 200 ms-os késleltetésig a rendszer mind ezt jól tűrte, azonban a különösen nagy, 500 ms-os késleltetés esetén már erős sávszélesség-ingadozás, a megjelenő képen pedig akadozás mutatkozott.

Csomagvesztés

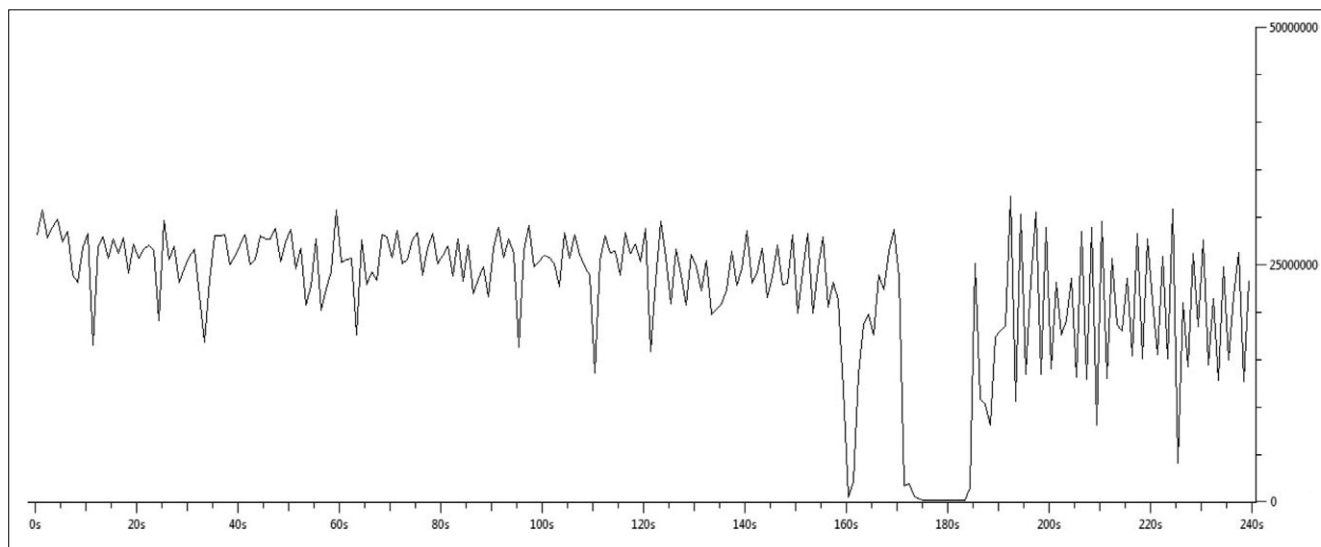
Ezen tesztelés során 0-tól kezdve percenként 1-gyel növeltük a csomagvesztések számát. Ehhez a normál méresemből megállapított másodpercenkénti csomagszámra is szükségünk volt, melynek értéke kb. 3200 csomag/sec.

A 7. ábrából kiolvasható, hogy körülbelül a 180. másodpercig 0, 1, illetve 2 volt a másodpercenkénti TCP csomageldobás. Három csomag eldobálásánál már a megjelenő kép akadozott, a sávszélesség erőteljesen ingadozott, néha közel nullára csökkent. Amikor 4, illetve 5 csomagot dobtunk el, akkor a videóképet teljesen szét-esett, élvezhetetlenné vált.



5. ábra
A hibagenerátorral ellátott
tesztkörnyezet
felépítése

6. ábra
A késleltetés
bit/sec grafikonja



Csomagduplikáció

A TCP duplikációnak nem szabad hatással lennie a fogadott folyamra. Az első percben a hibamentes mérésben tapasztalt sávszélességen ment az átvitel. Majd lényegében minden második csomag duplikálása mellett, már jelentősebben nőtt a sávszélességigény, de a duplikáció nem okozott semmilyen minőségi hibát.

Csomagfelcserélődés

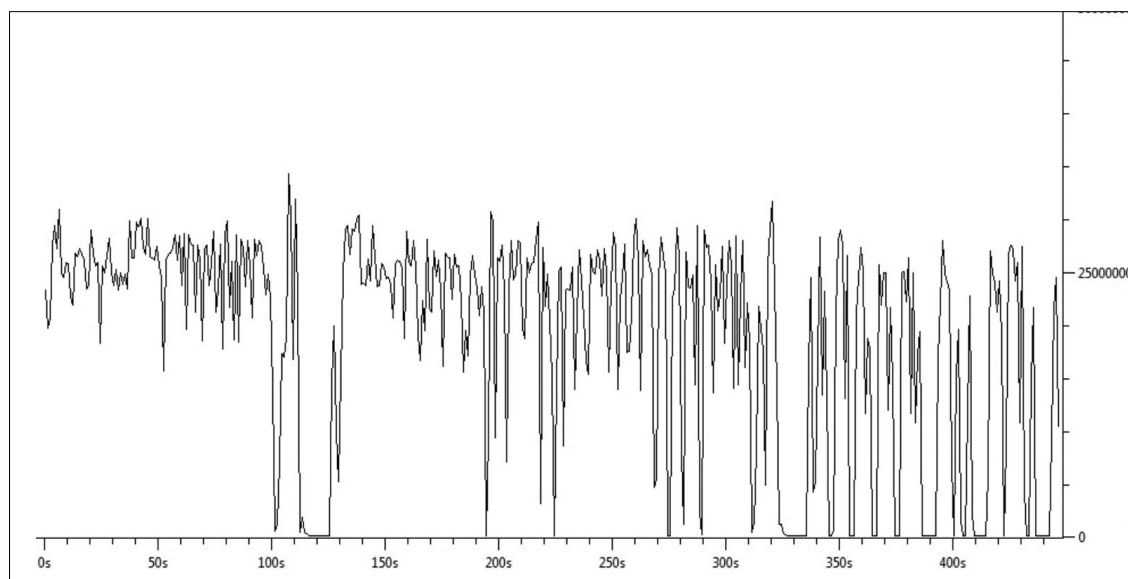
A csomagfelcserélődés során szintén másodpercenként generáltunk hibákat. A mérés során beállítottuk a burst nagyságát. Ha a burst hossza kettő, a távolság pedig három, és a sorrend eredetileg így nézett ki: 0-1-2-3-4-5, akkor az 1-es csomagnál bekövetkező hiba esetén a sorrend a következőképpen módosult: 0-3-4-5-1-2. A mérésekből kiderült, hogy a burst nagysága volt a meghatározó tényező. Tehát ha a hibagenerálás során másodpercenként, vagyis 3200 csomagonként 0-tól kezdve percenként növeltük a burst nagyságát egészen 5-ig, és minden csomagot 10 hellyel később tettünk vissza az adatfolyamba, a 8. ábra eredményét kaptuk.

Megállapítható, hogy a rendszer hasonlóképp reagált, mint a csomagvesztés esetében. Minél nagyobb volt a burst nagysága, annál jobban ellehetetlenült a felhasználói oldalon a minőség, ami a sávszélesség erőteljes ingadozásában, helyenként a minimumra csökkenésében, majd az átvitel szinte teljesen szünetelésében mutatkozott meg, illetve a videókép többször lefagyott.

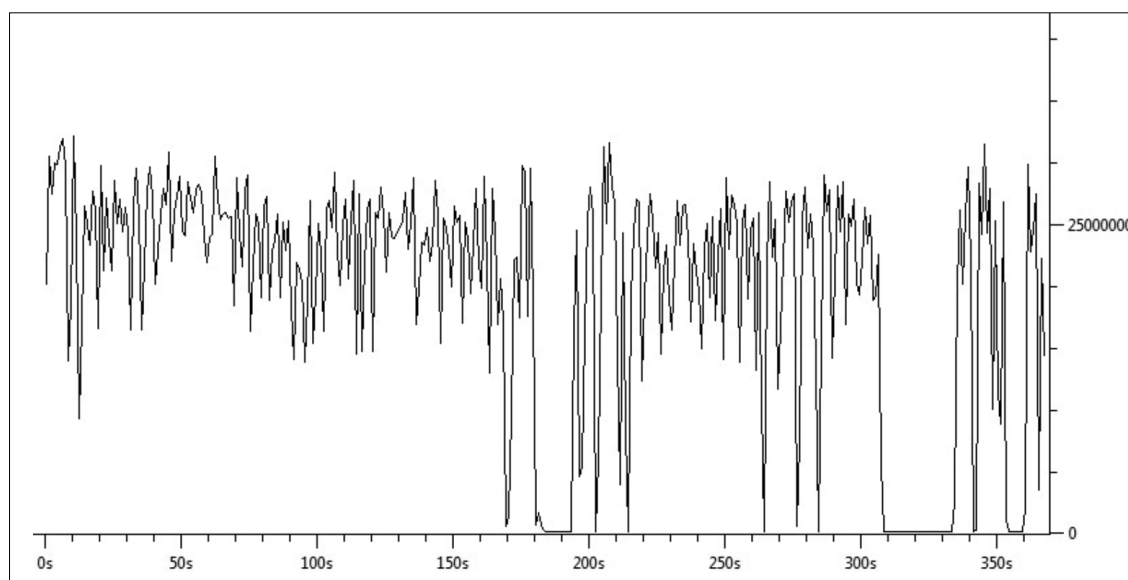
Sávszélesség korlátozása

A NetLimiter programmal sávszélességkorlátot is beállítottunk. Először a lefelé irányuló forgalmat mértük, majd limitáltuk a sávszélességet 2 Mbit/s-re. A csökkenő TCP-forgalom miatt kevesebb nyugtacsomagra volt szükség, így a felfelé irányuló adatforgalom is lecsökkent. A videóátvitel minősége rosszabbodott, a megjelenítés során akadozás lépett fel.

Később a felfelé irányuló adatforgalmat korlátoztuk le, hogy kiderüljön, hatással lesz-e a videóvételre. A kezdetben 12 kbit/s körüli felfelé irányuló sávszélességet a videólejátszás újraindulása után 10 kbit/s-ra, majd 5 kbit/s-ra korlátoztuk. Az uplink sávszélességének a csök-



7. ábra
Csomagvesztés
bit/sec-
grafikonja



8. ábra
Sorrend-
helytelenség
bit/sec-
grafikonja

kenésével a dowlink forgalma is csökkent. Tehát a nagy letöltési sávszélesség ellenére a felirányú szűk sávszélesség befolyásolta a TCP ACK nyugtacsomagok átvitelét és a videófolyam átvitele is csökkent, így nem tudtuk kihasználni a rendelkezésre álló sávszélességet.

4.4 Az eredmények feldolgozása, kiértékelése

A megfelelően konfigurált laboratóriumi GPON-hálózaton keresztül egy felhasználói kliensen teszteltük a 3D-s videófolyamok megjelenítésének minőségét és teljesítményét – hibamentes és hibás (WANulator szimulátorral generált eltérések) hálózati átvitel mellett.

Három eltérő kódolású (WMPv9, XviD ISO MPEG-4, H.264/MPEG-4 AVC), hasonló paraméterekkel rendelkező 3D-s videófolyamok átvitelét teszteltük. A WMPv9 kódolású videó adta a legélesebb képet, azonban ~24 Mbit/s-os sávszélesség igényével a hálózatot is, de főleg a megjelenítő számítógépet jelentősen terhelte. Ezzel szemben az XviD ISO MPEG-4 kódolású videó csak 7,5 Mbit/s, míg az H.264/MPEG-4 AVC videó átvitele 10,7 Mbit/s sávszélességet igényelt. Bár ennél a két utóbbi videónál megjelenő kép nem volt olyan éles, de a HD felbontású adáshoz képest alig igényeltek több sávszélességet.

A hibagenerálás eredményét a WMPv9 kódolású háromdimenziós videón mutattuk be, mivel kódolástól függetlenül, a TCP-alapú átvitel határozta meg a hibagenerálás hatását. Az átvitel érzékeny volt a nagyobb, 500 ms-os hálózati késleltetésre. A csomageldobást a rendszer a másodpercenkénti 2 TCP csomag elvesztéséig jól tűrte, azonban nagyobb számú csomag elvesztése során akadást, majd teljes megállást mutatott a megjelenítés során. A csomagduplikáció nem volt hatással a minőségre. A csomagfelcserélődés akkor okozott problémát, ha a mérés során 5, vagy annál több csomag került hátrébb a TCP-folyamban. Ilyen probléma például eltérő átviteli út használata során jöhet létre. A felfelé irányuló sávszélesség korlátozása szintén akadást eredményezett a videó megjelenítésében, mivel hiába volt elegendő letöltési sebesség, a felfelé irányuló sebesség korlátozása eredményeként ritkult a TCP ACK csomagok átvitele, ami miatt csökkent a leirányú sebesség is. Így nem volt jól kihasználható a rendelkezésre álló leirányú sávszélesség.

5. Összefoglalás

A vizsgálatokat egy klienssel végeztük. A rendszer bővíthető további háromdimenziós videófolyamokat megjeleníteni képes számítógépekkel. A multimédia szerveren jelenleg található videófolyamok pedig a VLC streaming szerver segítségével könnyen beállítható a többszörös alapú tartalomszórás. Így további hatékonyabb tesztek végezhetők a QoE – élmény nyújtotta minőségi paraméterek vizsgálatára 3D-s videófolyamok műsorszórásos átvitele mellett.

A jövő Internetre számára a háromdimenziós multimédia tartalmak már előmlésztik a világhálót, és a TV-adások is 3D technológiával készülnek majd, így ezen-

túl nemcsak magára a tartalomra és a szolgáltatásminőség paramétereire kell nagy hangsúlyt fektetni, de más kutatási irányok is előtérbe kerülnek, úgymint: hatékonyabb tartalomkézbesítési architektúra, gazdaságosabb keresés és böngészés, valamint minél jobb élménymínőség (QoE) biztosítása [1]. A tartalomátvitel és megjelenítés mellett komoly hangsúlyt kell fektetni magára a háromdimenziós képek, filmek, tartalmak létrehozásának a technológiájára is. Jó minőségű 3D-s filmek felvételéhez nyújt segítséget a Stereoscopic Analyzer (STAN) [6]. Az elkészített felvétel valósidejű analizálásával a rendszer meghatározza a kamerák optimális állását, detektálja és korrigálja a felvételen létrejött egyenlőtlenségeket és torzulásokat. Mivel a közeli és távoli tárgyak pontos pozícióját is megállapítja a felvett jelenetből, ez elősegíti az optimális sztereó alapkonfiguráció beállítását.

A sztereoszkópikus megjelenítés, összehasonlítva az autosztereoszkópikus típussal, „vizuális kényelmetlenséggel” is járhat. A zavaró jelenségek meghatározásához szubjektív és objektív mérések elvégzésére és kiértékelésére is szükség van [8]. A 3D-s sztereoszkópikus megjelenítés korlátait kiküszöbölő megoldásokat kereső kutatások is folynak napjainkban. Ezek közé tartozik a „fénymező elmélethez” (light-field theory) kapcsolódó megközelítés, ahol a kijelzőt egy „térfogatos fényforrás” (volumetric light source) váltja fel [4]. Másik megközelítés a mozgások és megjelenítési mélységek érzékelésének vizsgálata a minőség tükrében.

A háromdimenziós megjelenítés nemcsak a mozifilmek és videótartalmak világában, hanem a 3D-s teleimmervíz együttműködést megvalósító valósidejű rendszerek fejlődésében is fontos szerepet kap. A fő hangsúly a valósidejűben (30 ms alatt) létrehozott megfelelő háromdimenziós környezet létrehozásán van – a [10]-ben található kutatási eredmények bizonyítják, hogy az újszerű adatábrázolás és a kifejlesztett gyors 3D-s rekonstrukció-algoritmus, flexibilis, pontos és gyors eredményt biztosít.

Az EU 7. Keretprogramban futó „2020 3D Media” kutatási projekt [11] fő célja a sztereoszkópikus és immervíz tartalmak magas színvonalú megjelenítése. A kutatási területek: a workflow és térbeli média a hálózatban – ahol fontos szerepet kap a metaadatok definiálása és megfelelő tömörítése, új generációs kamerák fejlesztése, amelyek tökéletesebben rögzítik a mélységeket – háromféle megközelítésben folynak a kutatások a „time of flight” a „trifocal” és a „structure-light” elvekre építve. A már felvett 3D anyagok minőségének utómunkálatokkal való javítása a következő terület, végül egy olyan hálózat-centrikus elosztó rendszer kifejlesztése, amely megfelelő módon, formátumban és sebességgel lesz képes a 3D-s és immervíz tartalmakat a szórakoztatóközpontokba és a felhasználók otthonába továbbítani.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az NKTH-OTKA CNK77802-es számú projektje támogatta.

A szerzőkről



KULIK IVETT a Kassai Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet 1987-ben. A Kassai Műszaki Egyetem Számítástechnikai Központjának volt a munkatársa 1987 és 2000 között. 2001 óta a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatika Karának Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén tanszéki mérnökként dolgozik. Oktatási területe a hálózati rendszerek és protokollok vizsgálata. Kutatási területe a multimédia rendszerek vizsgálata. A HTE tagja.



TRINH ANH TUAN a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett műszaki informatikus diplomát 2000-ben. Jelenleg a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék tudományos munkatársa. Informatikai tudományokból doktori fokozatát 2005-ben védte meg. Kutatási és oktatási területe a távközlési protokollok teljesítményelemzése, játékelmélet távközlési alkalmazása. Rendszeresen publikál nemzetközi szakmai konferenciákon illetve folyóiratokban.



BALLA PÉTER a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, a TMIT Infokommunikációs hálózatok és szolgáltatások szakirányán szerzett BSc diplomát 2011 januárjában. Ezt a szakirányt folytatva, jelenleg a TMIT Hálózatok és szolgáltatások szakirányú MSc képzésének hallgatója. Az MSc képzés elkezdése óta gyakorló mérnökként dolgozik a Magyar Telekom Nyrt. Vezetékes hálózat fejlesztési ágazat, Hozzáférési technológiák fejlesztési osztályán.

Irodalom

- [1] Zahariadis T., Daras P., Laso-Ballesteros I., „Towards Future 3D Media Internet”, Network & Electronic Media – Summit, St. Malo, France, October 2008.
- [2] Casas P., Belzarena P., Vaton S., „End-2-End Evaluation of IP Multimedia Services, a User Perceived Quality of Service Approach”, 18th ITC Specialist Seminar of Quality of Experience, Karlskrona, Sweden, May 2008, pp.13–23.
- [3] Mrak M., Grgic M., Kunt M., High-Quality of Visual Experience, Chapter 3., You J., Xing L., Perkis A., „Quality of Visual Experience for 3D Presentation – Stereoscopic Image”, Signals and Communication Techn., 2010, I., pp.51–77.
- [4] Kroeker L. Kirk, „Looking Beyond Stereoscopic 3D's Revival”, Communications of the ACM, Vol. 53, Issue 8, August 2010, pp.14–16.
- [5] Xing L., You J., Ebrahimi T., Perkis A., „Estimating Quality of Experience on Stereoscopic Images”, ISPACS 2010 – International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Chengdu, December 2010.
- [6] Zilly F., Müller M., Eisert P., Kauff P., „The Stereoscopic Analyzer – An Image-Based Assistance Tool for Stereo Shooting and 3D Production”, ICIP 2010, IEEE International Conference, Hong Kong, September 2010.
- [7] Häkkinen J., Kawai T., Takatalo J., Leisiti T., Radun J., Hirsaho A., Nyman G.,

„Measuring Stereoscopic Image Quality Experience with Interpretation Based Quality Methodology”, IS&T/SPIE's Int. Symposium on Electronic Imaging, San Jose, California, USA, January 2008.

- [8] Lambooi M., Ijsselstein W., Heynderickx I., „Visual Discomfort in Stereoscopic Displays: A Review” Journal of Imaging Science and Technology, May/June 2009, Vol. 53, Issue 3, pp.030201–(14).
- [9] Shibata T., Kurihara S., Kawai T., Takahashi T., Shimizu T., Kawada R., Ito A., Häkkinen J., Takatalo J., Nyman G., „Evaluation of stereoscopic image quality for mobile devices using Interpretation Based Quality methodology”, Proceedings of SPIE, Vol. 7237 (2009).
- [10] Vasudevan R., Zhou Z., Kurillo G., Lobaton E., Bajcsy R., Nahrstedt K., „Real-time stereo-vision system for 3D teleimmersive collaboration”, Multimedia and Expo (ICME), IEEE Int. Conference, Suntec City, July 2010, pp.1208–1213.
- [11] Fort S., „2020 3D Media: New directions in Immersive Entertainment”, SIGGRAPH 2010 – International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques, Los Angeles, USA, July 2010.

Színuszos oszcillátor amplitúdó- és fáziszajának meghatározása

LADVÁNSZKY JÁNOS, KOVÁCS GÁBOR

Ericsson R&D

janos.ladvanszky, gabor.g.kovacs@ericsson.com

Lektorált

Kulcsszavak: Jelfeldolgozás, zaj, kvadratúra demoduláció, zajszoknya

A Matlab program felhasználásával amplitúdó- és fáziszajt nyerünk ki színuszos oszcillátor mért időtartománybeli kimeneti jeléből. Megvizsgálva a meghatározott zajok auto- és keresztkorrelációját, megtudjuk, hogyan kell az oszcillátor zaját modellezni. Bebizonyítjuk, hogy a zajszoknya oka a korreláció, nem pedig a fáziszaj, ahogyan széles körben elterjedt. Rámutatunk, hogy munkánk az ergodikus hipotézis érvényességére is bizonyítékot nyújt.

1. Bevezetés

A fáziszaj a kommunikációs rendszerek tulajdonságait jelentősen befolyásolja. A legtöbb, ezzel foglalkozó szakcikk [1-4] a fáziszaj spektrumát néhány mérés alapján próbálja közelíteni, ezért az érvényességi körük korlátozott. Néhány további cikk szigorú elméleti alapokon nyugszik és így valódi megértést tesz lehetővé [5-7]. Rendszertervezési célokra az általában alkalmazott közelítések (például az, hogy a rendszer vezérosszcillátorában csak fáziszajt tételezünk fel, az amplitúdószajt elhanyagoljuk) nem elégségesek. Ahhoz, hogy precízen modellezzük egy oszcillátor zajának hatását a rendszer paramétereire, a zaj tulajdonságainak pontos ismeretére van szükség.

Ebben a cikkben egyszerű módszert adunk meg színuszos oszcillátorok zajának pontos meghatározására. Kísérleti adatok alapján rámutatunk, hogy egy valódi oszcillátor jele mindig tartalmaz mind amplitúdó-, mind pedig fáziszajt, melyek jelentősen auto- és keresztkorreláltak. Ideális, zajmentes fáziszárt hurok Matlab szimulációjával a mért oszcillátorjel frekvenciáját pontosan meg tudjuk határozni. Az amplitúdó és a frekvencia ismeretében, és a kvadratúra demoduláció ismert elvét felhasználva, kinyerjük az oszcillátor amplitúdó- és fáziszaját az időtartományban. Az auto- és keresztkorrelációt és a hozzájuk tartozó teljesítmény-spektrumokat szintén meghatározzuk.

Cikkünkben az az újdonság, hogy a kvadratúra demodulációt szokatlan módon alkalmazzuk. Az amplitúdó- és fáziszajt modulációnak tekintjük és felhasználjuk azt, hogy a Matlab-ban zajmentes fáziszárt hurkot tudunk szimulálni.

Munkánk második szakaszában részletesen leírjuk az eljárást. A következő szakaszban a pontosságot vizsgáljuk, szimulált bemeneti adatok alapján. A negyedik szakaszban közöljük mérési eredményeinket, meghatározzuk az auto- és kereszt-korrelációt és a spektrumokat. Az ezt követő *I. Függelékben* rámutatunk, hogy nem tudjuk az amplitúdó- és fáziszajt a korreláció vagy

a spektrum tulajdonságai alapján elkülöníteni. A *II. Függelékben* bebizonyítjuk, hogy a zajszoknya oka a korreláció, nem pedig a fáziszaj, ahogyan ez jelenleg széles körben elterjedt. A *III. Függelékben* előző eredményeinket igazoljuk szimulációval, az ergodikus hipotézis alkalmazása nélkül, és ezzel a hipotézis helyességét támasztjuk alá.

2. A zaj meghatározásának algoritmus

Színuszos jelet vizsgálunk, amplitúdó- és fáziszajjal:

$$v(t) = A(1 + \xi(t)) \cdot \cos(\omega_c t + \varphi(t)) \quad (1)$$

ahol $\varphi(t)$ és $\xi(t)$ jelöli a fázis- és a relatív amplitúdószajt. Mindkettő dimenzió nélküli. Feltételezzük, hogy a várható értékük nulla:

$$\mu_\xi = E[\xi(t)] = 0 \quad (2)$$

$$\mu_\varphi = E[\varphi(t)] = 0 \quad (3)$$

és azt, hogy a varianciájuk, σ_ξ^2 és σ_φ^2 szintén nem függ az időtől:

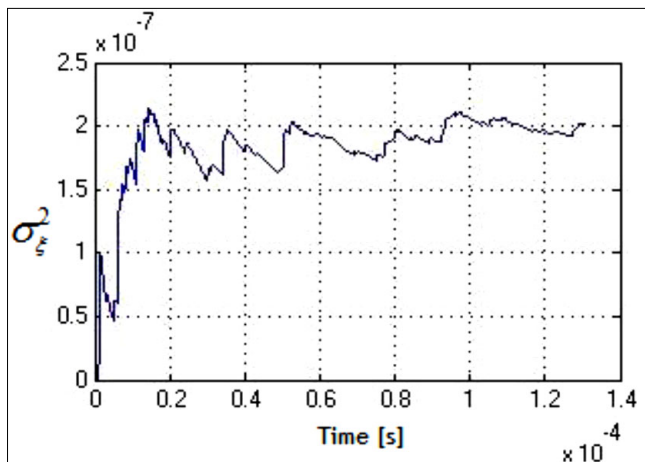
$$\sigma_\xi^2 = E[\xi^2(t)] \quad (4)$$

$$\sigma_\varphi^2 = E[\varphi^2(t)] \quad (5)$$

Feltételezzük, hogy az itt felmerülő minden $f(t)$ kvázi-periodikus jel ergodikus (itt ez azt jelenti, hogy középértékben ergodikus, [8]):

$$E[f(t)] = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_c t}^{\omega_c t + 2\pi} f(t') d\omega_c t' \quad (6)$$

Tudjuk, hogy $v(t)$ szigorú matematikai értelemben nem ergodikus (kivéve, ha az átlagolás időtartama a harmonikus komponens periódusidejének egész számú többszöröse), mert a tetszőleges, hosszú időre vett időátlag különbözhet a várható értéktől. Azonban mérnöki intuíciónk alapján a továbbiakban feltételezzük, hogy (6) fennáll. Ezt az utat követjük, és a periódusra vett időátlagot alkalmazzuk mint várható értéket.



1. ábra A detektált amplitúdó-zaj σ_{ξ}^2 varianciája, amelynek nullának kellene lennie ebben a példában.

Ez az ábra a numerikus hibát mutatja.

Vízszintes tengely: az idő másodpercben, függőleges tengely: σ_{ξ}^2 . Mivel csak fáziszajt alkalmaztunk, $\sigma_{\xi}^2 \ll \sigma_{\varphi}^2$.

Az (1) egyenlet alapján

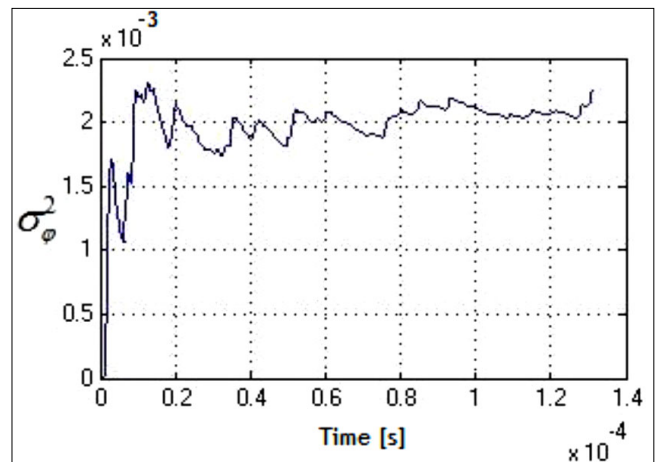
$$\begin{aligned} v(t) &= A(1 + \xi(t))[\cos \varphi(t) \cos \omega_c t - \sin \varphi(t) \sin \omega_c t] \\ &= \alpha(t) \cos \omega_c t + \beta(t) \sin \omega_c t \end{aligned} \quad (7)$$

A mért $v(t)$ alapján pontosan meg tudjuk határozni A és ω_c értékét. Ezután a zajmentes $\cos(\omega_c t)$ és $\sin(\omega_c t)$ jelet szimuláljuk. A $v(t)$ jelet ezekkel megszorozva és a periódusra integrálva, megkapjuk $\alpha(t)/2$ és $\beta(t)/2$ értékét. Ebből

$$1 + \xi(t) = \frac{\sqrt{\alpha^2(t) + \beta^2(t)}}{A} \quad (8)$$

$$\tan \varphi(t) = -\frac{\beta(t)}{\alpha(t)} \quad (9)$$

Fel szeretnénk hívni a figyelmet, hogy (8) és (9) felírásában csak azt a közelítést alkalmaztuk, hogy a zajok a periodikus jelhez képest lassú folyamatok. Ezért a vázolt algoritmus várhatóan nagyon pontos. A pontosságot vizsgáljuk a következő szakaszban.



2. ábra A detektált fáziszaj σ_{φ}^2 varianciája

Vízszintes tengely: az idő másodpercben, függőleges tengely: σ_{φ}^2 . A görbe jól közelíti az előzőleg megadott $2 \cdot 10^{-3}$ értékhez.

A relatív pontosság körülbelül 10^{-4} .

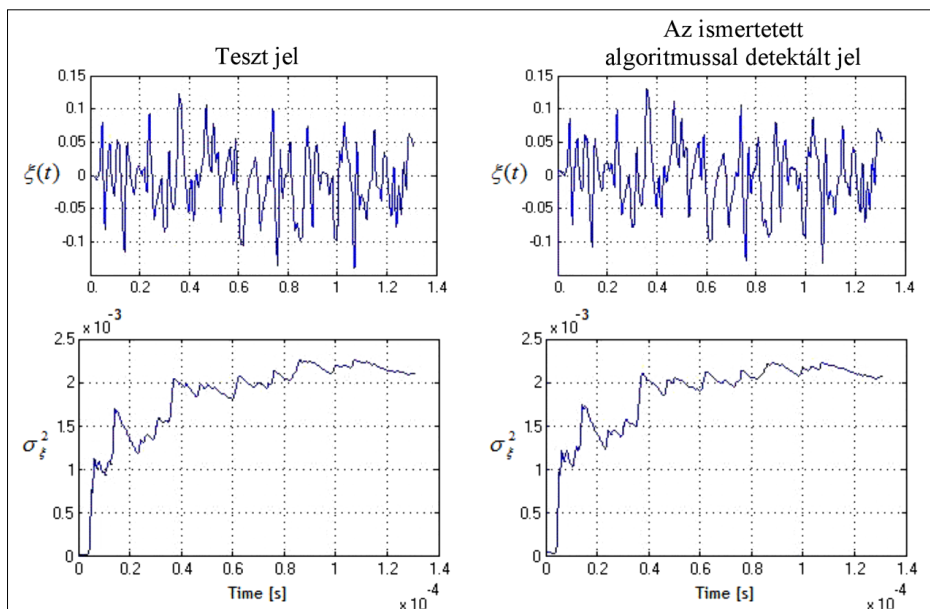
3. Az algoritmus pontosságának vizsgálata

Az utóbbi néhány műveletet Matlab/Simulink programmal végezzük el. Ebben a szakaszban az algoritmust teszteljük szimulált tesztlejek segítségével. Az első szimulált jel csak gaussi fáziszajt tartalmaz, $\sigma_{\varphi}^2 = 2 \cdot 10^{-3}$ (az (1) egyenlet következtében a variancia dimenzió nélküli). Az eredmények az 1. és 2. ábrán láthatók.

A következő példában algoritmusunkat olyan szinuszejre alkalmazzuk, amely egyidejű, egymástól független, gaussi amplitúdó- és fáziszajt tartalmaz. A varianciák rendre $2 \cdot 10^{-3}$ és $4 \cdot 10^{-4}$. A 3. és 4. ábra mutatja, hogy a bemenő és kimenő jelek közti egyezés nagyon jó.

4. Mérési eredmények

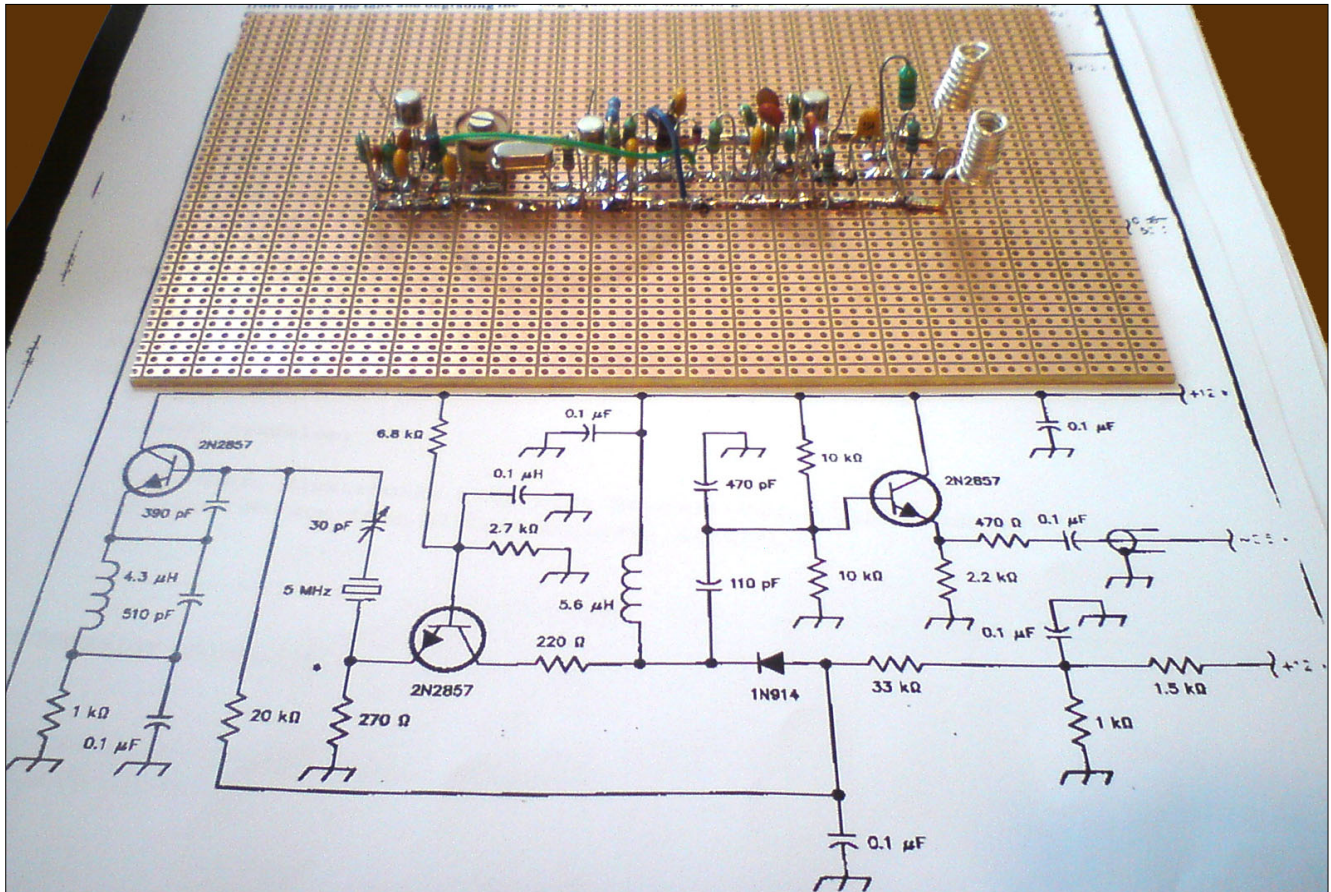
Ebben a szakaszban azt mutatjuk be, hogyan alkalmaztuk az algoritmust mért adatokra.



3. ábra

A bemenő és a kinyert amplitúdó-zaj összehasonlítása

A σ_{ξ}^2 variancia nem függ az időtől, az ábra azt mutatja, hogy a Simulink hogyan közelítette az idő függvényében.



5. ábra A próbapanelen megépített oszcillátor

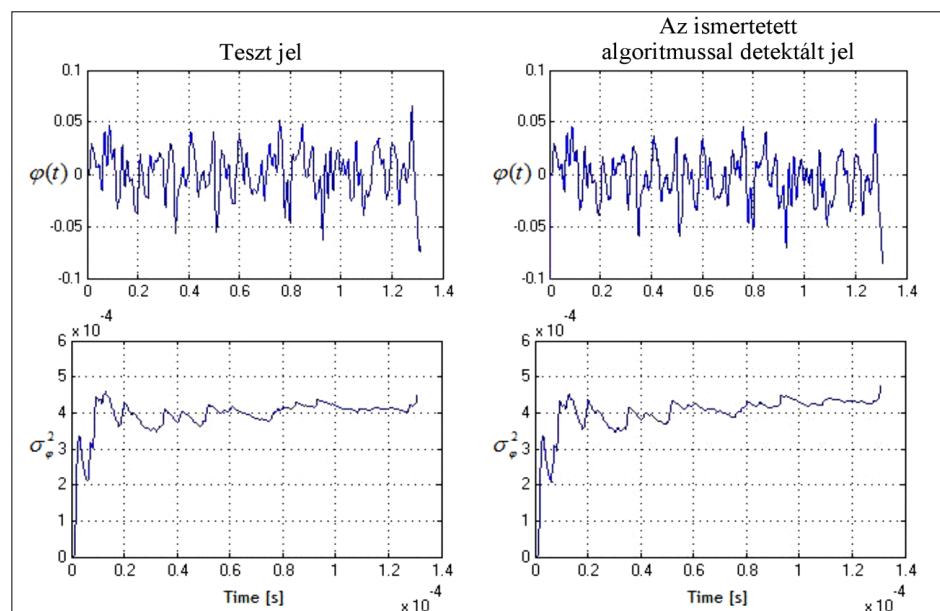
10 MHz-es kvarcoszcillátort építettünk [9] (5. ábra).

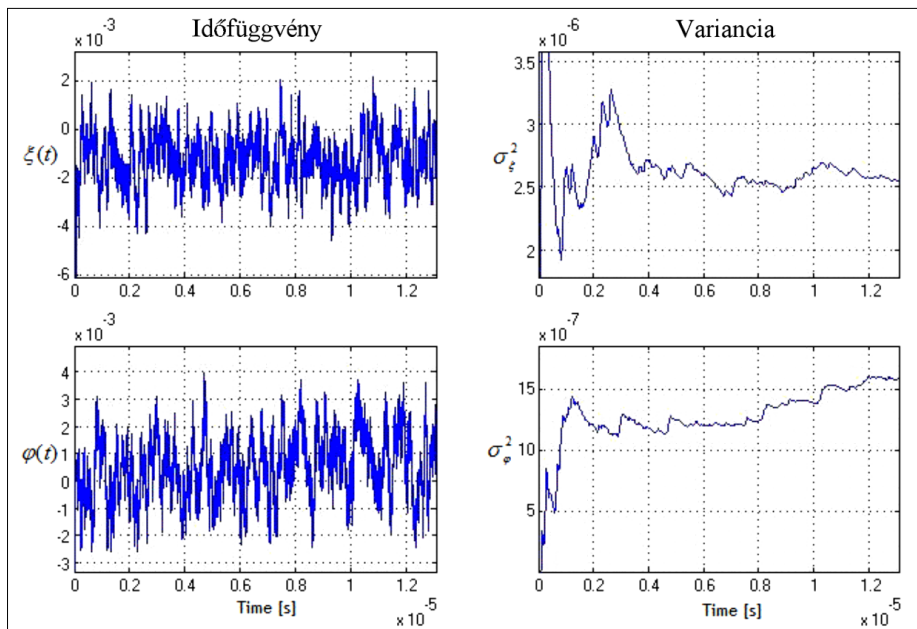
A kimeneti jelet Agilent 54854A típusú oszcilloszkóppal mértük (40 GS/sec opció). A minták száma 524287 volt, a lehető legnagyobb, az időlépés 25 psec. Az amplitúdót a $v(t)$ jel lehető legtöbb teljes periódusra vett varianciájából határoztuk meg. A vivőfrekvencia meghatározásához szimulált, zajmentes fáziszárt hurkot használtunk fel, és a VCO frekvenciát mértük. A fáziszárt hurrok sávszélessége 100 kHz volt, nem kritikus, a sávszé-

lesség 30-300 kHz-es tartományában a VCO frekvencia csak 260 Hz-et változott. A kinyert amplitúdó- és fáziszaj a 6. ábrán látható. A varianciák rendre $2.5 \cdot 10^{-6}$ és $1.5 \cdot 10^{-6}$.

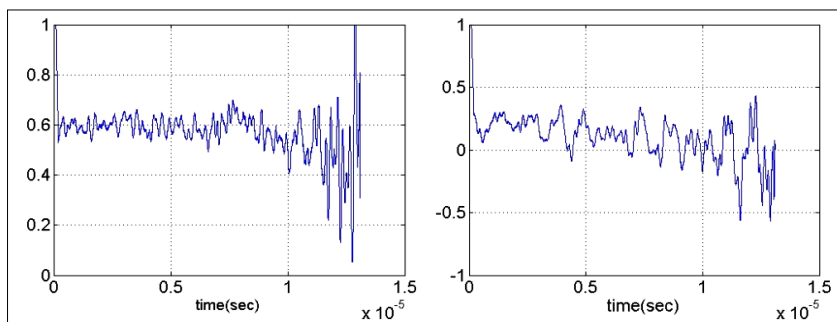
Az amplitúdózaj sokkal erősebben korrelált, mint a fáziszaj (7. ábra). A távoli autokorreláció-értékek esetén megnövekszik a mérési hiba. A hosszú idejű korreláció az $1/f$ zaj jellemzője, ezért várható, hogy az amplitúdózaj jelentős $1/f$ összetevőt tartalmaz.

4. ábra
A bemenő és a kinyert
fáziszaj összehasonlítása.
A σ_{φ}^2 variancia nem függ az időtől,
az ábra azt mutatja, hogy a Simulink
hogyan közelítette az idő függvényében





6. ábra
Az épített kvarcoszcillátorral mért
eredmények:
a kinyert amplitúdó és fáziszaj



7. ábra
Az amplitúdó- és fáziszaj auto-korrelációja, szűrés nélkül

A 8. ábra szerint az amplitúdó- és fáziszaj keresztkorrelációja jelentős, ahogy vártuk. Ennek az az oka, hogy az amplitúdó- és a fáziszaj ugyanabból a zajforrásból származik, az áramköri nemli-nearitások AM-PM konverziójának segítségével.

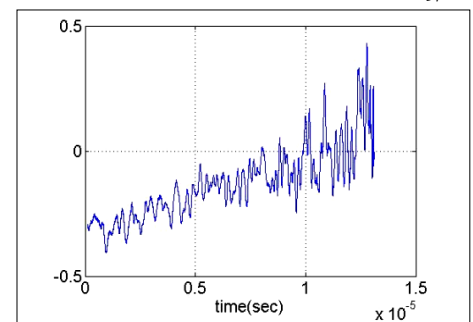
Végül közöljük a kinyert zajok auto- és keresztkorrelációjának gyors Fourier-transzformáltját is, melyeken jól látszik az $1/f$ zajösszetevő.

5. Következtetések

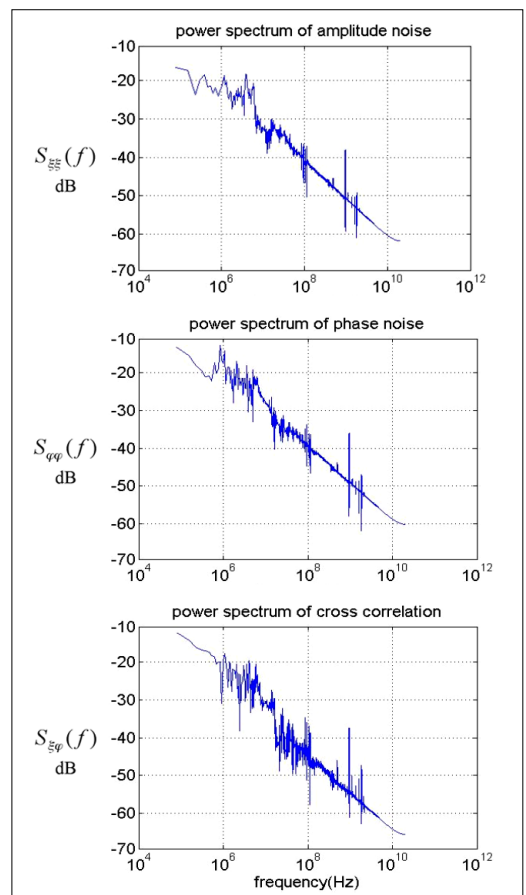
Mért adatok alapján sikeresen határoztuk meg az amplitúdó- és fáziszajt, kvadratúra demoduláció segítségével. A meghatározott amplitúdó zaj sokkal erősebben korrelált, mint a fáziszaj, és a kettő közti keresztkorreláció is jelentős. Megmutattuk, hogy korrelálatlan zaj esetén nincs zajsoknya. Az eredmények gyakorlati értéke az, hogy megtudtuk, hogyan kell a zajt modellezni rendszeranalízis számára: Figyelembe kell venni mind az amplitúdó-, mind a fáziszajt, melyeknek jelentősen auto- és keresztkorreláltaknak kell lenniük.

Ennek a munkának a folytatásaként tervezzük az algoritmusunk részletes összehasonlítását más, kísérleti módszerekkel.

9. ábra
A teljesítményspektrumok



8. ábra
Az amplitúdó- és fáziszaj
keresztkorrelációja, $R_{\xi\phi}(\tau)$



Köszönetnyilvánítás

A szerzők hálásak az Ericsson R&D vezetőinek és a kollégáknak a kiváló kutatási feltételekért. Külön köszönet illeti Vámos Ábel urat a publikációs engedély megszerzéséért, Dr. Yinggang Li urat, aki vállalta az első kritikus felelősségét, Berceli Tibor, Lajtha György, Kollár István professzor urakat és Dr. Mihály Zsigmond urat az első változat átnézésakor tett megjegyzéseikért.

A szerzőkről



LADVÁNSZKY JÁNOS a BME-n szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát (1978), majd a Magyar Tudományos Akadémián a műszaki tudomány kandidátusa címet (1988). A Távközlési Kutató Intézetben, majd jogutódjánál dolgozott 22 évig (mikrohullámú eszközök mérés-technikája és modellezése, mikrohullámú áramkörök tervezése), ezután az Austriamicrosystems AG-nél 10 évig (rendszertervezés ASIC-hez). Jelenleg az Ericsson R&D-nél rendszermérnök. Szakterülete az elektronikus áramkörök és rendszerek elmélete, főként mikrohullámú alkalmazásokkal.



KOVÁCS GÁBOR a BME-n szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát (2003) és a Drexel Egyetemen (Philadelphia, USA) PhD fokozatot (2009). Az egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán 2007 óta tanít. Ezalatt főként száloptikai átviteli rendszerekkel és optikai-mikrohullámú átvittel foglalkozott, de tapasztalatai kiterjednek FPGA jelfeldolgozás alkalmazására és szilárdtest lézer alapú mikrohullámú jelgenerálás területére is. Jelenleg a budapesti Ericsson R&D-nél rendszermérnök.

FÜGGELÉKEK

I. A kimeneti jel auto-korrelációja

Az oszcillátor komplex kimeneti feszültsége:

$$V(t) = A(1 + \xi(t)) \exp(j[\omega_c t + \varphi(t)]) \quad (10)$$

$$v(t) = \text{Re}(V(t)) \quad (11)$$

A kimeneti feszültség autokorreláció-függvénye

$$R_{VV}(\tau) = \frac{E[V^*(t)V(t+\tau)]}{\sigma_V^2} \quad (12)$$

ahol a csillag konjugálást jelöl és kihasználtuk, hogy a várható érték nulla:

$$\mu_V = 0 \quad (13)$$

Feltételezzük, hogy a fáziszaj kicsi:

$$\varphi(t) \ll 1 \quad (14)$$

$$\exp(j\varphi(t)) \approx 1 + j\varphi(t) \quad (15)$$

Ezzel a kimeneti feszültség:

$$V(t) = A(1 + \xi(t))(1 + j\varphi(t)) \exp(j\omega_c t) \quad (16)$$

A másodrendűen kicsi tagot elhanyagoljuk:

$$V(t) = A(1 + \xi(t) + j\varphi(t)) \exp(j\omega_c t) \quad (17)$$

A (6) alkalmazásával a komplex kimeneti feszültség varianciája:

$$\sigma_V^2 = A^2(1 + \sigma_\xi^2 + \sigma_\varphi^2) \quad (18)$$

Ismét figyelembe véve (6)-ot:

$$\begin{aligned} E[A^2(1 + \xi(t) - j\varphi(t))(1 + \xi(t+\tau) + j\varphi(t+\tau)) \exp(j\omega_c \tau)] &= \\ &= A^2(1 + E[\xi(t)\xi(t+\tau)] + E[\varphi(t)\varphi(t+\tau)] + \\ &+ jE[\xi(t)\varphi(t+\tau)] - jE[\varphi(t)\xi(t+\tau)]) \exp(j\omega_c \tau) = \\ &= A^2(1 + E[\xi(t)\xi(t+\tau)] + E[\varphi(t)\varphi(t+\tau)]) \exp(j\omega_c \tau) \end{aligned} \quad (19)$$

mivel

$$E[\varphi(t)\xi(t+\tau)] = E[\xi(t)\varphi(t-\tau)] = E[\xi(t)\varphi(t+\tau)] \quad (20)$$

A (18) és (19) alapján

$$R_{VV}(\tau) = \frac{1 + \sigma_\xi^2 R_{\xi\xi}(\tau) + \sigma_\varphi^2 R_{\varphi\varphi}(\tau)}{1 + \sigma_\xi^2 + \sigma_\varphi^2} \exp(j\omega_c \tau) \quad (21)$$

$$S_{VV}(\omega) = \frac{\delta(\omega - \omega_c) + \int_0^{2\pi} [\sigma_\xi^2 R_{\xi\xi}(\tau) + \sigma_\varphi^2 R_{\varphi\varphi}(\tau)] \exp[j(\omega_c - \omega)\tau] d\omega\tau}{1 + \sigma_\xi^2 + \sigma_\varphi^2} \quad (22)$$

ahol $\delta(\dots)$ a Dirac delta.

Ez azt jelenti, hogy sem az autokorreláció, sem a spektrum tulajdonságai alapján nem tudjuk az amplitúdó- és a fáziszajt szétválasztani.

II. A zajszoknya oka

A spektrumvonal kis spektrális értékeknél történő fokozatos kiszélesedését zajszoknyának nevezzük, mások ezt zajfüggőnynek is nevezik. Szeretnénk tudni, mi a zajszoknya oka. A (21)-es egyenletből indulunk ki.

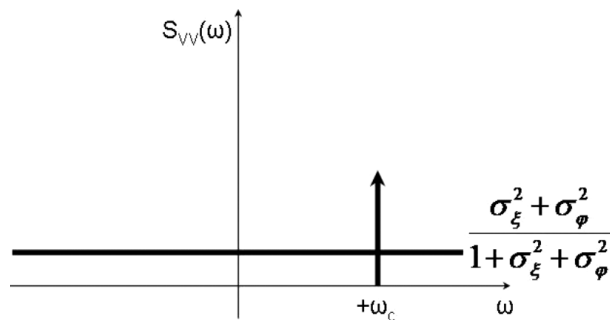
Ha az amplitúdó- és a fáziszaj korrelálatlan, akkor $R_{\xi\xi}(\tau) = \delta(\tau)$, $R_{\varphi\varphi}(\tau) = \delta(\tau)$ (23,24)

Így a kimenőfeszültség autokorrelációja

$$R_{VV}(\tau) = \frac{1 + \sigma_{\xi}^2 \delta(\tau) + \sigma_{\varphi}^2 \delta(\tau)}{1 + \sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\varphi}^2} \exp(j\omega_c \tau) \quad (25)$$

Ismert Fourier-transzformációs összefüggések alkalmazásával a teljesítményspektrum

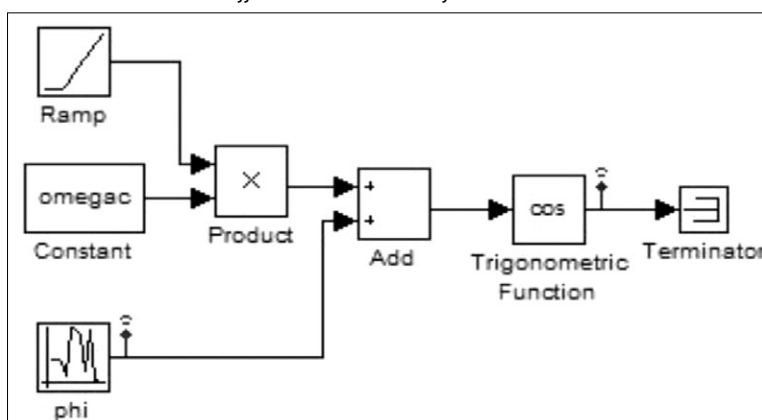
$$S_{VV}(\omega) = \frac{\delta(\omega - \omega_c)}{1 + \sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\varphi}^2} + \frac{\sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\varphi}^2}{1 + \sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\varphi}^2} \quad (26)$$



10. ábra
A zajos szinuszjel teljesítmény-spektruma, (26) alapján

Széles körben elterjedt nézet, hogy a zajszoknya oka a fáziszaj. Ezzel szöges ellentétben, a (26) egyenletből látjuk, hogy korrelálatlan zaj esetén, még akkor is, ha ez fáziszaj, nincs zajszoknya. Továbbá, (22) szerint a korrelált amplitúdó zaj önmagában is zajszoknyát okoz. Ezért a zajszoknya oka az amplitúdó- és/vagy a fáziszaj Dirac-deltától eltérő autokorrelációja, amit (22) segítségével egyszerűen figyelembe vehetünk.

11. ábra
Korrelálatlan fáziszajjal terhelt szinuszjel előállítás

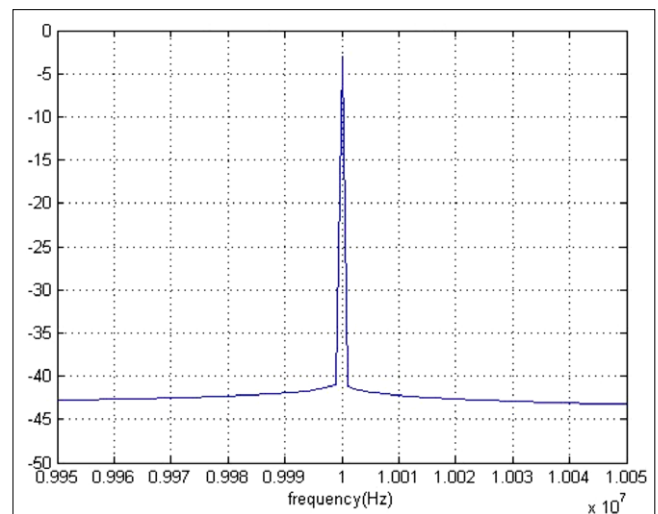


III. Az eredmények igazolása szimulációval

Az előzőekben feltételeztünk (6) tettünk (ergodikus hipotézis), és ennek felhasználásával fontos következtetésre jutottunk a II. Függelékben. Logikailag úgy válik teljessé a vizsgálatunk, ha valahogyan a levont következtetés helyességét, és ezáltal közvetve az ergodikus hipotézis helyességét próbáljuk meg igazolni. Ez a célja ennek a Függeléknek.

Azt fogjuk bemutatni a (6) hipotézis felhasználása nélkül, hogy i) korrelálatlan fáziszaj nem okoz zajszoknyát, ii) az amplitúdó zaj korrelációja fáziszaj nélkül is zajszoknyát okoz. Ehhez a Matlab/Simulink szimuláció lehetőségét használjuk fel. Egyszerűen tudunk korrelálatlan zajt szimulálni. i) Bemutatjuk a korrelálatlan fáziszajjal terhelt szinuszjel spektrumát. ii) Korrelált amplitúdó zajjal terhelt szinuszjel spektrumát vizsgáljuk meg, és megnézzük, hogy a korreláció valóban zajszoknyát okoz-e fáziszaj nélkül is.

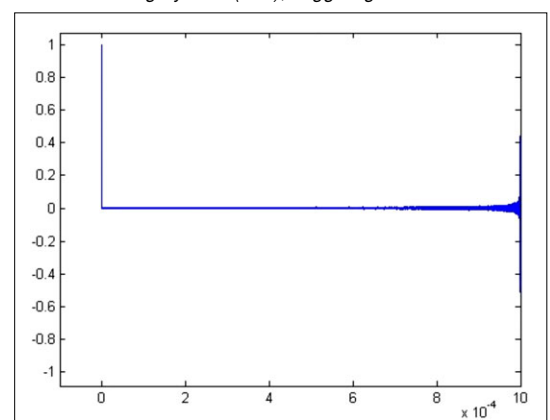
i) **Korrelálatlan fáziszajjal terhelt szinuszjelet** állítottunk elő a 11. ábra szerinti Simulink rendszerrel.



13. ábra A zajos szinuszjel spektruma

Vízszintes tengely: frekvencia (Hz),
függőleges tengely: spektrumkomponens amplitúdója dB-ben

12. ábra
A fáziszaj autokorrelációja a Dirac deltát közelíti



A 13. ábrán láthatjuk, hogy bár volt fáziszaj, mégis zajsoknya (nagyon keskeny, csak az analízis véges, 1 ms-os hossza miatt van), (26)-tal összhangban.

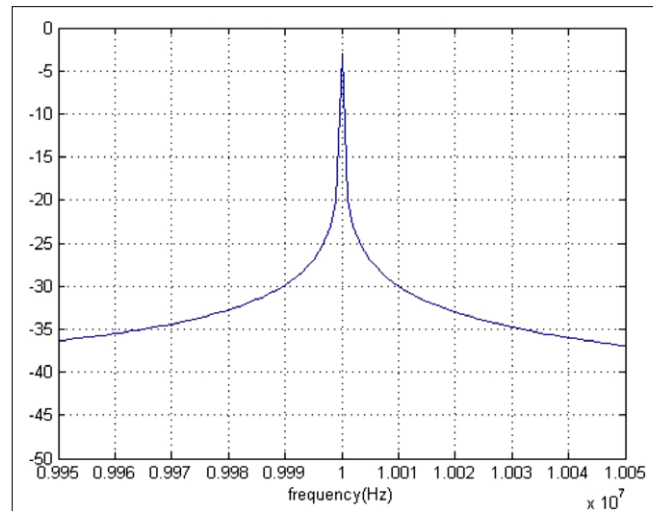
ii) Most megnézzük ugyanezt korrelált amplitúdó-zajjal. A zajos jelet a 14. ábrán látható módon állítottuk elő. A korreláció előidézéséhez bármilyen memóriás áramkör megfelel, itt egy 10 kHz-es aluláteresztő szűrőt alkalmaztunk. A 16. ábrán láthatjuk, hogy (22)-vel összhangban megjelent a zajsoknya, pedig csak amplitúdó-zaj volt a szinuszjelen.

Mivel az ebben a függelékben elért eredményeket a (6) ergodikus hipotézis nélkül értük el, és az előző eredményeinkkel összhangban vannak, ez a hipotézis helyességét támasztja alá.

Irodalom

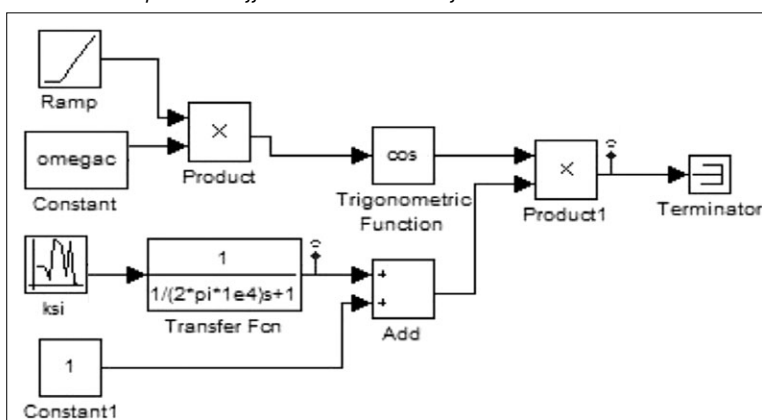
- [1] D.B. Leeson,
„A Simple Model of
Feedback Oscillator Noise Spectrum”,
In Proc. IEEE, Vol. 54, February 1966, pp.329–330.
- [2] M. Iqbal, J. Lee, K. Kim,
„Performance Comparison of Digital Modulation
Schemes with Respect to
Phase Noise Spectral Shape”,
Electrical and Computer Engineering,
Canadian Conf., March 2000, Vol. 2, pp.856–860.
- [3] E. McDonald, R. Speelman, E. Grayver, N. Wagner,
„Real-Time Hardware/Soft-ware Approach
to Phase Noise Emulation”,
IEEE Aerospace Conference, 2007, pp.1–5.
- [4] Y.W. Kim, J.D. Yu,
„Phase Noise Model of Single Loop Frequency
Synthesizer”,
IEEE Trans. on Broadcasting,
Vol. 54, No.1, March 2008, pp.112–119.
- [5] T.H. Lee, A. Hajimiri,
„Oscillator Phase Noise: A Tutorial”,
IEEE Journal of Solid-State Circuits,
Vol. 35, No.3, March 2000, pp.326–336.
- [6] A. Demir,
„Phase Noise and Timing Jitter in Oscillators
with Colored-Noise Sources”,

- IEEE Trans. on Circuits and Systems-I:
Fundamental Theory and Applications,
Vol. 49, No.12, December 2002, pp.1782–1791.
- [7] J. Mukherjee, P. Roblin, S. Akhtar,
„An Analytic Circuit-Based Model for White and
Flicker Phase Noise in LC Oscillators”,
IEEE Trans. on Circuits and Systems-I:
Regular Papers,
Vol. 54, No.7, July 2007, pp.1584–1598.
- [8] A. Papoulis, S.U. Pillai,
„Probability, Random Variables and
Stochastic Processes”,
4th Edition, 2002, McGraw-Hill, p.524.
- [9] ARRL Handbook 2003,
Fig. 14.24.
- [10] J. Ladvánszky, G. Kovács,
„Software Based Separation of Amplitude and
Phase Noises in Time Domain”,
Proc. of the ISCAS'2011,
Rio de Janeiro, Brazil, pp.769–772.

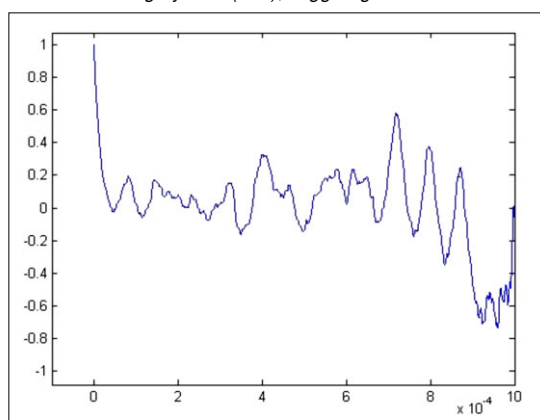


16. ábra
A korrelált amplitúdó-zajjal terhelt szinuszjel spektruma
Vízszintes tengely: frekvencia (Hz),
függőleges tengely: spektrumkomponens amplitúdója dB-ben

14. ábra
Korrelált amplitúdó-zajjal terhelt szinuszjel előállítása



15. ábra
Az amplitúdó-zaj autokorrelációja
számottevően különbözik a Dirac-deltától
Vízszintes tengely: idő (sec), függőleges: autokorreláció



Szereporientált szenzorhálózati architektúra-modell

TÓTH ANDRÁS, VAJDA LÓRÁNT

*Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány – Ipari Kommunikációs Technológiai Intézet
{toth,vajda}@ikti.hu*

VAJDA FERENC

*BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék
vajda@iit.bme.hu*

Kulcsszavak: szenzorhálózati modell, modularitás, szolgáltatásalapú architektúrák, tervezési modellek

Szenzorhálózatok nélkül a manapság megszokott környezeti szolgáltatások nem lennének képesek ellátni feladatukat. Egészségügyi, otthonápolási, közlekedési és sok más fontos terület használja fel ezeket a speciális hálózatokat és eszközöket az alkalmazásaik információinak gyűjtésére. A különböző rendszerek tervezése közben egyre nagyobb hangsúlyt kapnak azok a modellek, amelyek elősegítik a pontos és hatékony rendszerfejlesztést. Legfontosabb szemponttá vált az újrafelhasználhatóság és a tökéletes együttműködés biztosítása.

A következőkben egy olyan modell kerül bemutatásra, amely lehetővé teszi egy adaptív és autonóm szenzorhálózat tervezését.

1. Bevezetés

Az élet sok területén fontos szerepet töltenek be azok az intelligens rendszerek, amelyek a környezet és az abban élők körülményeit feltérképezve valamilyen autonóm szolgáltatást nyújtanak. Manapság egyre elterjedtebbek a kényelmi és életvitelt segítő megoldások is. Egy dologban azonban minden hasonló rendszer megegyezik. Az érzékelők információira támaszkodva képesek a rendszer működtetésére. Az érzékelők, a rendszer számára képesek a környezeti fizikai vagy kémiai jelenségeket és paramétereket értelmezhető, mért értékekké formálni. Fontos, hogy a rendszerek együttműködését biztosítani tudjuk, ezáltal tovább növelve a hatékonyságot és bővíthetőséget a szolgáltatások lehetőségeit.

2. Szenzorhálózatok

A szenzorhálózatok alkalmazásának előnye, hogy egy adott értéket nem csak egy szenzor méréseiből származtathatunk, hanem akár több helyről is következtethetünk rá. Ez a redundancia feleslegesnek tűnik első látásra, de nagyon jó lehetőséget adhat ellenőrzésre és pontosításra. A szenzorok, annak ellenére, hogy esetleg ugyanazt a jelenséget figyelik, különbözhetnek a pontosságukban és a mérési eredmény létrehozásának sebességében.

Abban az esetben, ha egy összetett jelenséget kell megfigyelni, az egyetlen működő megoldás, ha a mérhető részparamétereket külön-külön gyűjtjük össze, majd e mérések részeredményeit kombinálva származtatjuk az összesített eredményt. A szenzorokról feltételezzük, hogy hálózatba vannak szerveződve, így a mért információk innen folyhatnak be. A szenzorhálózatokban az adatgyűjtő és adminisztrátor egységek vezetékes és vezeték nélküli módon csatlakozhatnak. A választott tech-

nológia a mérési környezet és a mérendő paraméterektől függ. A vezeték nélküli technológiák fejlődésével egyre hatékonyabb és egyszerűbb megoldásként alkalmazhatóak a vezeték nélküli szenzorhálózatok.

2.1 Vezeték nélküli szenzorhálózatok

A vezeték nélküli szenzorhálózatok használatával lehetőség van arra, hogy olyan környezetekben is összetett szenzorhálózatokat telepítsenek, amelyekben nehézkes, vagy nagyon drága lenne vezetékes megoldást alkalmazni. Ha az érzékelő szenzorok mobilak a feldolgozó és összegző rendszerhez képest, akkor szintén az egyetlen megoldás a vezeték nélküli technológiák használata. Azonban ezek a megoldások további problémák felmerülésével is járnak. Hálózati szempontból gondot okoznak a folyamatosan változó dinamikus hálózati paraméterek, amelyek növelik a kommunikációhoz szükséges energiaszükségletet és feldolgozási időt. Ezek a hasonló hálózatok legfontosabb paramétereit jelentik. Biztonságkritikus rendszerek esetében ezek a problémák fokozottan figyelembe veendőek [8].

2.2 Általános felhasználási területek

A szenzorhálózatok felhasználása manapság rendkívül széleskörű. Kezdetben minden rendszernek megvoltak a saját szenzoregységei, akár több rendszer is saját szenzorral mérte ugyanazt a jelenséget. Egyre hatékonyabb megoldásokat alkalmazhatók a szenzoradatok összevonására és intelligens elosztására, a rájuk épülő szolgáltatásrendszerek között. Hasonló rendszerek vannak beépítés alatt több területen is, mint például az egészségügy, környezetvédelem, katasztrófák előrejelzése vagy katonai feladatok megbízható és hatékony megoldása.

2.3 Általános kritériumok

A hálózati architektúrák tervezési mintái egyre összetettebb matematikai modell alapján és egyre magasabb

szinten határozzák meg a követendő tervezési irányokat és a kötelező lépéseket. A modellek és tervezési minták azonban többnyire egy kritériumkör köré épülnek, amelyből a legtöbb tényezőt teljesíteni kívánják [3,4].

A mobilitás esetében feltételezhetjük, hogy a kapcsolat két egység között időlegesen tekinthető, például a mozgásból következő átrendeződés miatt.

A megfelelő kommunikációs sávszélesség biztosításához foglalkozni kell az elérhető csatornák osztályozásával. Azonban az, hogy az adott hálózati elem az adott esetben milyen szabad sávszélességgel rendelkezik a saját illetve a más szenzorok adatainak továbbításához, nagyban függ az elhelyezkedésétől is. Egy kisebb sávszélességű technológiával rendelkező egység adott esetben felülmúlhatja a sokszorosan gyorsabb kommunikációs csatornákat bíró modulokat is. A kommunikációhoz megfelelő sávszélesség biztosítása mellett fontos kritérium az alacsony energiafogyasztás, hálózati és egyéni szinten is. A kritériumoknak megfelelő rendszerkialakítás során az optimális döntések egyik legfontosabb befolyásoló tényezője az energiatakarékosság.

Korábban már említésre került az előfeldolgozás, mint kritérium a hálózat alacsonyabb rétegeivel szemben. Egyszerűbb és a komplexebb környezet esetében is a szenzoradatok továbbítása szolgáltatja a legnagyobb forgalmat a kommunikációs csatornákon. Ennek csökkentésére jelent megoldást az előfeldolgozási szerepek kialakítása a szenzoregységekben.

A hálózatot üzemeltető folyamatok számára rendkívül fontos, hogy ne csak a kezdő egységkészlettel legyen képes együttműködni, hanem egyszerűen illeszthetőek legyen új egységek is (kompatibilitás).

A biztonság több szempontból is fontos kritérium a rendszer számára. Egyrészt gondoskodnunk kell a gyűjtött adatok veszteségmentes továbbításáról, valamint az adatlopás elkerülhetőségéről [8].

2.4 Architektúratervezési trendek

Az architektúratervezési folyamatok mindig valamilyen, a szenzorhálózattal kapcsolatban alkalmazott szemléletmódon alapulnak. A kezdeti tervezési struktúrák főleg a szenzorhálózat és annak konkrét alkalmazási területének kritériumait tekintették a modellt befolyásoló tényezőknél. A korszerűbb rendszerek modelljének megalkotása során már az informatika vagy rendszermatematika más területein alkalmazott modellek elméleteit is beépítik a hatékony és sikeres konstrukciók felépítésébe.

A kezdeti rendszerek esetében az elméleti megoldások megvalósításának egyik befolyásoló tényezője a hardveres korlátok voltak. Ezekben az esetekben egy teljesen központosított rendszerről beszélhattünk. Az egységek egy egyszerűsített formában kerültek felhasználásra.

A technológia fejlettsége és a tömeggyártás miatt bekövetkező árcsökkenés miatt a későbbiekben lehetőség nyílt arra, hogy az olcsóbb és széles körben alkalmazott szenzorok mellé is kerülhessen egy alapfeldolgozó munkaegység. Ennek alapján az érzékelők is egy alap-intelligenciával párosultak. Ezek az egységek még nem voltak képesek önálló gondolkodásra, önálló

adattfeldolgozásra vagy magasabb intelligencia szinthez tartozó funkcióra. A hálózatokba már beépítésre kerül az adatbiztonsági protokollok egy alapvető szintje, és az intelligenciát a megbízhatóság és a pontosság növelésére fordították.

A mai vezeték nélküli szenzorhálózatokban a korábban már említett energiafogyasztás nagy részét a kommunikációs üzenetek elküldése adja, így az egyik leghatékonyabb módszer az energiahatékonyság növelése a kommunikációs üzenetek csökkentése. Az átküldött adatok mennyisége előfeldolgozás és szűrés során csökkenthető. Így csökkenthető az egy információs bitre jutó energiaköltség értéke is.

Az alkalmazásgyártók manapság egyre inkább építenek az egységekben található és használható intelligenciára. Ezáltal a rendszerbe újabb komplexitás lép be, amely az egyes rendszerek együttműködésének és vezérlésének megoldásához szükséges.

Két fő irányvonal indult el ezeken az alapokon. Az egyik elképzelés szerint a rendszert egy központ irányítja és adminisztrálja. Ezt már nem közvetlenül teszi, hanem a hálózatban szereplő egységeket az utasításokkal vezérli a megfelelő munka elvégzésére és a megfelelő adatok szolgáltatására. A másik nézet esetében az egyes szenzorok már bizonyos mértékű intelligenciával rendelkeznek. Ekkor szintén van egy központi egység, de ennek feladata csak a monitorozás, valamint felügyelet és működési feladatok kiosztása. Itt már a vezérlő nem irányítja a hálózatban végrehajtandó műveleteket, hanem csak figyel és segíti azt. Ebben az esetben az egységeknek átadott ellenőrzött autonómia segítségével nagyfokú hatékonyságnövekedés érhető el mind a működésbiztonság, mind az energiatakarékosság területén [4,5].

3. Szolgáltatásorientált architektúrák

A szolgáltatásorientált architektúrákra jellemző, hogy a hálózatot az aktuális feladatnak megfelelően szervezik át. Az egyes egységek által ellátott szolgáltatás szabadon változhat, eltekintve néhány hardveres okokból eredő korlátozástól. Ebben az esetben hatékonyabb erőforrás-felhasználást lehet elérni ugyanazon működési költség mellett.

Az alapelvek az informatika több területén széles körben elterjedtek már. A nagyobb komplexitás és a számítási erőforrások biztosításával képessé válik a hálózat arra, hogy a struktúrából és hardverből adódó inhomogenitást a rendszer egyre alacsonyabb szintjétől egységesíthessük. Ezáltal egyre nagyobb mértékben jelenik meg az általánosítás igénye, így a szintek tervezési menete felgyorsulhat, áttekinthetőbbé válhat. Másik fontos előnye az újrafelhasználhatóság és kompatibilitás biztosítása, amely lehetővé teszi a szélesebb körű alkalmazást.

3.1 Adatbázis-alapú megoldások

Az adatbázis-alapú megoldások a szenzorhálózatokban olyan igényvezérelt architektúra kiépítését teszik lehetővé, ahol a szenzorhálózat úgy tekinthető a felsőbb

rétegek felől, mint egy adattár. A már jól bevált lekérdezési nyelvek segítségével határozhatóak meg az igényelt információk.

Az irányelv sokkal egyszerűbbnek tűnik, mint korábbi társai, amelyek esetében az egyes szenzorok és a hálózati felépítés egy adott adatszolgáltatási mechanizmus-hoz lett illesztve. Ez a hatékonyság növekedés viszont ebben az esetben is áldozattal jár, hiszen a vezérlés mindig egy adott központból történik, ahol egy összetett leíró nyelv segítségével az egyes lekérdezések a megfelelő vezérlő és adminisztrátori feladatokra fordítódik le. A legtöbb esetben a központnak folyamatos képpel kell rendelkeznie arról, hogy az adott feladatra hol és milyen egységek képesek. A szenzorhálózatokra az elosztott rendszerek korlátai és törvényszerűségei alkalmazhatók. Feltételeznünk kell, hogy egy egység sem rendelkezik valósidejű átfogó információkkal az egész architektúráról.

3.2 Feladatorientált megoldások

Hasonlóan az adatbázis alapú megoldásokhoz ezekben a hálózatokban is dinamikus feladatkiosztás történik. Fő előnye a rendszernek, hogy képes egy adott hálózatban helyfüggő feladatok kiosztására. Azonban az irodalomban található rendszerek többsége közel egyforma tulajdonságokkal és erőforrásokkal rendelkező egységekre épít. Sajnos ez egy átlátszó, elosztott rendszerben nagyon nehezen teljesíthető kritérium [6].

3.3 Szolgáltatás-alapú megoldások

Szolgáltatás-alapú megoldások egyik fontos előnye a korábban említett tervezési szemléletmódokkal szemben az önálló és külső irányítórendszerek együttese [1,2]. Azonban azt, hogy a belső szolgáltatások, milyen módon építik fel a végső eredményt, arról az egyes egységek klaszterekben (összerendelt csoportokban) vagy önállóan döntenek.

Ez a struktúra hatékonyabb dinamikus architektúra esetén. A struktúra változására nem egy központon keresztül reagál a rendszer, hanem a belső információkon keresztül képes az esetleges változásokra választ adni. Az információk egységes értelmezhetősége egy átlátszó elosztott formába öntött hálózatban rendkívül nehézkes. Szükség lehet vezérlő, mérési vagy más jellegű üzenetek esetében is az egyes modulok közt egy köztes forma alkalmazása. Erre egy jó megoldás a WSDL nyelv [2], azonban egy szenzorhálózati alkalmazásban ennek az erőforrásigénye túl nagy az ellátandó feladatokhoz képest. A rendszer kis hálózatok tervezése esetében nehezen alkalmazható.

A szolgáltatás-alapú hálózatok esetében is folyamatosan karban kell tartani azt, hogy az egyes szolgáltatások melyik egységnél elérhetőek. A rendszer képes arra, hogy szükségtelen szolgáltatásokat altassa, majd felélessze, ha szükség van rá [6,7].

3.4 Szerep-alapú megoldások

Az általunk elkészített szerep-alapú szenzorhálózat tervezési modell alapja mindenképpen a szolgáltatás-alapú irányvonal dinamikus modellje. Azonban a fő különbség az a nézőpont, amely a rendszert, mint feladatokat megoldani képes egységek hálózatának tekinti. Így a szolgáltatás-alapú tervezéshez hasonlóan az egyes egységek gondoskodnak a saját feladataik ellátásáról. A klaszterek vezetői, valamint a hálózat vezérlője csak felügyeleti, javítási és feladatvégrehajtási jogkörrel rendelkezik. A hálózat működése érdekében szükség van több adminisztrációs feladat megoldására, amelyek nem csak a hálózat számára kirótt feladatkör része, hanem a hálózat belső folyamatainak vezérléséhez szükséges [7]. Minden ilyen feladat egy szempontból egy viselkedési formának felel meg a hálózatban. Az egy viselkedési formába csomagolt elvégzendő műveleteket együttes néven szerepköröknek neveztem el. A szerepek jelenléte a hálózatban képes biztosítani a hálózat működését és a rajta végrehajtandó feladatok elvégzését.

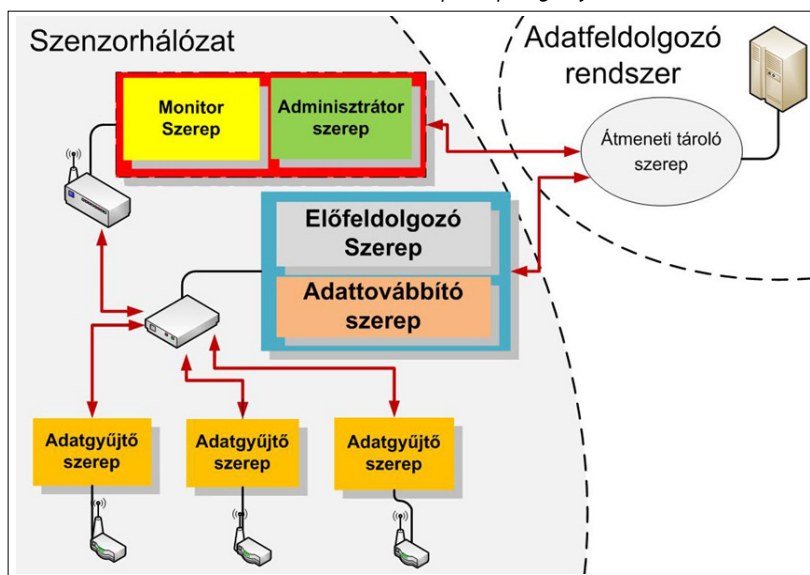
A rendszer csak az alapvető, úgynevezett mag-szerepeket és azoknak is csak a mag-folyamatait definiálja fixen, amely egy alapbiztonságot szolgáltat (1. ábra). Azonban az általános interfészek segítségével lehetővé válik, hogy a rendszer egy adott környezethez és feladathoz igazíthassák az aktuális körülményeknek megfelelő szerepkör-feladatokkal.

A korábban bemutatott tervezési elveken kívül még további rendszertervezési elméletek is használatosak, amelyek legfőképpen egy speciális feladatra vagy speciális mérési eljárásra épülnek, ezáltal korlátozva a modell használhatóságát általános esetekben.

4. Szerep-alapú architektúramodell

A szerep-architektúra egyik legfőbb előnye, hogy az elosztott számítógépes architektúrákban megszokott dinamizmust képesek kölcsönözni a szenzorhálózatok szá-

1. ábra Szerep-alapú igényvezérelt architektúra



mára. Azonban ez az előny másfelől feladatokkal is jár. Ha túl mélyen szeretnénk általánosítani a rendszert és magát a szenzorhálózatot szeretnénk adaptívvá és átlátszóvá tenni, akkor elveszíthetjük a skálázhatóság és a modularitás előnyét. Így a mintaként használt elméleti rendszerek követelményeit a szenzorhálózatokra jellemző tulajdonságok és elvárt kritériumok alapján korlátozzuk, hogy egy optimális kompromisszumot találjunk a tervezés során.

4.1 Alapvető problémák

A szenzorhálózat egységei mind lazán csatolt rendszerben illeszkednek a többi egységhez. Egyik egység sem lát valós idejű teljes képet a rendszerről. Természetesen az adminisztrátor és megfigyelő folyamatok, ha időben eltolva is, de közel teljes képet látnak egy elmúlt időintervallumról. Így az egységek a következőket nem tudják teljesen pontosan magukról:

- Pontos elhelyezkedést a hálózatban az adatgyűjtő hálózathoz képest.
- Nem minden egység tudja a fizikai pozícióját a térben.
- Nem tudják, hogy egy korábban együttműködő egység, nem aludt-e el, vagy nem ment-e tönkre.

Azonban az egységek képesek felmérni azt, hogy ők milyen kérdésnek tudnak eleget tenni. Az ellátható feladatok listáját, vagy a szabad erőforrás lehetőségeit a rendszerbe való belépésekor a környezetüknek jelzik. Ha az elvállalt feladatai az erőforrások korlátait eléri, akkor dönthet az adott szerep feladásáról. Erről a közelben lévő adminisztrátor egység is dönthet egy objektív pontozási rendszeren keresztül. Ehhez azonban a terhelhetőség és a terheltséget pontozó egységeknek ezt a pontozást közel valós időben kell elvégezniük.

4.2 Architektúra-modell

A szerepkörök egy szenzorhálózat adaptív és autonóm működtethetőségéhez szükséges feladatokat ellátását biztosító folyamat modulok. Az egyes szerepkörök és a bennük meghatározott feladatok funkcionális partícionálás alapján kerültek egy adott csoportba (2. ábra).

- **Adatgyűjtő szerepkör:**
A legalapvetőbb szenzor- és érzékelő funkciókat képes ellátni. Mérési eredmények gyűjtésére és konvertálására képes.
- **Adattovábbító szerepkör:**
Feladata csupán csak annyi, hogy a megkapott adatokat egy olyan csomópont felé küldje, ahol azok feldolgozásra kerülnek majd. Ezek lehetnek az érzékelt adatok, mérési eredmények vagy akár vezérlő információk is.
- **Előfeldolgozó szerepkör:**
Képes az adatokat lokálisan feldolgozni és szűrni a hálózati kommunikáció csökkentése érdekében. A feldolgozási lépés csak akkor lehetséges, ha rendelkezik a megfelelő paraméterekkel, különben a beérkezett adatokat továbbküldi.
- **Adatmentő szerepkör:**
A szenzorhálózatokban gyakori, hogy a küldő és

a cél egység között nincsen folyamatos kapcsolat vagy nem érhető el olyan sávszélességű kapcsolat, amely szükséges a küldéshez. Ekkor az adatmentő egység képes egy átmeneti tárolóba menteni az aktuális adatokat.

- **Adtafeldolgozó szerepkör:**

Tipikusan azoknak a csatolóponthoz csatlakozó egységeknek szánt szerep, amely a szenzorhálózatot a végső feldolgozó rendszerbe csatolja.

- **Monitor szerepkör:**

Olyan egység a hálózatban, amelyek a saját környezetüket klaszterekben szervezve képesek terhelés és jelenlét szinten monitorozni. Ezeket az információkat, mint a gyűjtött szenzoradatokat egyszerűsített formában a feldolgozó rendszer egyik monitor-funkciója felé továbbítják.

- **Adminisztrációs szolgáltatáskör:**

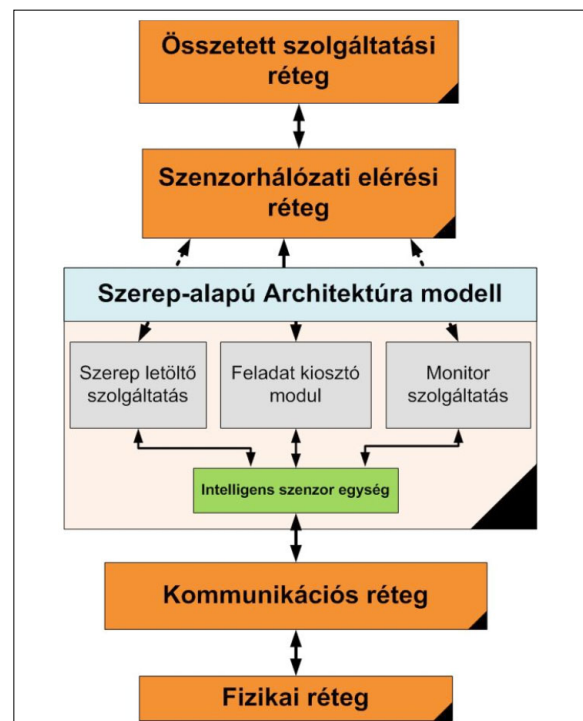
Ide tartoznak azok a feladatok, amelyek a többi szerep és a modulok illeszthetőségét biztosítják, lehetővé teszik a hatékony kommunikációt, az egységek szinkronizációját és felügyeletét.

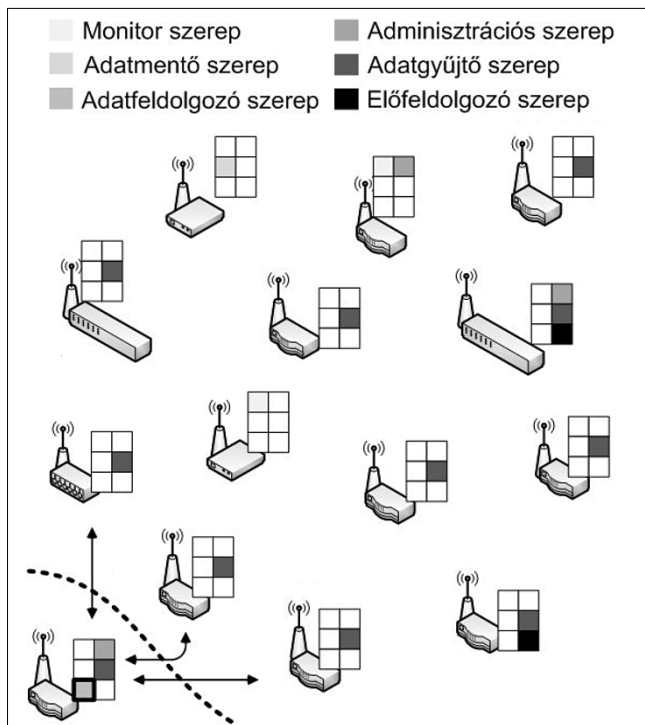
Az itt bemutatott szerepkörök és feladatok, csak egy alapot adnak a modell alapján tervezett konkrét megoldásnak, azonban a tervezőnek ezen kívül több lehetősége nyílik saját szerepek illesztésére a rendszerhez. A rendszer egységei képesek a szerepek dinamikus felvételére akár a rendszer működése közben is.

4.3 A speciális architektúra előnyei

A speciális architektúra nagy előnye a korábban bemutatott rendszerekkel szemben, hogy a szenzorhálózat a feladatait önmaga adaptív módon képes ellátni. A szerepek alapesetben szabadon vállalhatóak a rendszerben. Ha nincs rájuk szükség, akkor az adott szerepet, vagy átvitt

2. ábra Szerep-alapú architektúra rétegződés





3. ábra Mintaelrendezés szerepkör-alapú hálózatokban

értelemben szolgáltatást egyszerűen ki lehet kapcsolni, vagy el lehet tolni a feldolgozó hálózat felé, ahol megfelelő erőforrástámogatás van a szenzorhálózattal ellentétben.

Az új egységek illesztése a rendszerhez egyszerű és könnyen megoldható. Az együttműködés két hasonló modell alapján fejlesztett rendszer esetében vagy egy más szemléletmóddal készített rendszer esetében is megoldható. A modell képes nagy kiterjedésű elosztott szenzorhálózatot kezelni, azonban a szerepek eltolásával és mellőzésével kis és egészen speciális hálózatok is realizálhatóak.

5. Továbbfejlesztési irányok

Az architektúramodell tervezésénél rendkívül sok paraméter pontos meghatározása szükséges. Ilyenek például a szerepkörök cseréjéhez szükséges pontozási rendszer kritériumainak és változtató tényezőinek pontos összefoglalása és azok hatásának vizsgálata. Az egyes egységek paraméter-hatókörének megállapítása is fontos a hatékony és megbízható működés kialakításához.

A jövőben a modell alapján több olyan applikációt szeretnék implementálni, amely esetében a paraméterek és az alkalmazni kívánt algoritmusok hatása könnyen mérhető és igazolható.

A szerzőkről



TÓTH ANDRÁS 2008-ban végzett és szerzett MSc diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatika karán, műszaki informatikusként. Ugyanebben az évben kezdte ugyancsak a BME doktori iskolájában PhD tanulmányait, intelligens rendszerek témában. 2008-tól ösztöndíjas kutató a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány (BZAKA) Ipari Kommunikációs Technológiai Intézetében (IKTI). Főbb kutatási területei az orvosi mérés-technikai rendszerek, in-

telligens betegfelügyelet és szenzorhálózati technológiák. A doktori tanulmányok közben, a BME-n és a BZAKA-ban is több nemzetközi és nemzeti együttműködésben is részt vett.



VAJDA LŐRÁNT 2000-ben végzett és szerzett MSc diplomát a Temesvári Műszaki Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai karán. Ugyanebben az évben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi (BME) egyetemen végezte el a doktori (PhD) iskolát. 2003-ban vendégkutatóként dolgozott a koreai KETI intézetben, Szöulban. 2005-2011-ig a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány (BZAKA) Ipari Kommunikációs Technológiai Intézetében (IKTI) kutatói állást töltött be. Jelenleg a BME Egészségügyi Mérnöki Tudásközpont (BME-EMT) munkatársa. Főbb kutatási területei az otthonfelügyeleti rendszerek és szenzorhálózatok. Úgy a BME, mint a BZAKA berkein belül több nemzeti és nemzetközi együttműködésben is részt vett.



VAJDA FERENC 1998-ban szerzett villamosmérnöki és 2001-ben orvosbiológiai mérnöki diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. PhD fokozatát ugyanitt szerezte meg 2006-ban. Jelenleg docensként dolgozik az egyetem Irányítástechnika és Informatika Tanszékén. Kutatási területe elsősorban az ember-gép interakció, virtuálisvalóság-rendszerek és az AAL kérdésköréhez kapcsolódó kép- és jelfeldolgozás.

Irodalom

- [1] C. Lombriser, R. Marin-Perianu, D. Roggen, P. Havinga, G. Tröster, Modeling Service-Oriented Context Processing in Dynamic Body Area Networks, IEEE Journal, Vol. 27, No. 1, January 2009.
- [2] V. Casola, A. Gaglione, A. Mazzeo, SeNslM-Web: a Service Based Architecture for Sensor Networks Integration, IEEE, 2009.
- [3] Jiong Jin, Wei-Hua Wang, Marimuthu Palaniswami, Application-Oriented Flow Control for Wireless Sensor Networks, 3rd Int. Conference on Networking and Services, 2007.
- [4] S. Han, R. Rengaswamy, R.S. Shea, E. Kohler, M.B. Srivastava, A Dynamic Operating System for Sensor Nodes, In: 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications and Services, June 2005.
- [5] E. Bergstrom, R. Pandey, Composing μ SIC: A Lightweight Service Model for Wireless Sensor Networks, International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2007.
- [6] M. Kushwaha, I. Amundson, X. Koutsoukos, S. Neema, J. Sztipanovits, OASIS: A Programming Framework for Service-Oriented Sensor Networks, IEEE, 2007.
- [7] Yuebin B., Haixing J., Qingmian H., Jun H., Depei Q., MidCASE: A Service Oriented Middleware Enabling Context Awareness for Smart Environment, International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2007.
- [8] V. Foo Siang Fook, J. Maniyeri, A. Phyo Wai, Pham Viet Thang, Jit Biswas, Service Oriented Architecture for Patient Monitoring Application, IEEE Int. Conference on Industrial Informatics, 2006.

Már alkalmazott technológiák és új üzleti intelligencia megoldások összehangolása

GALLI RICHÁRD

*Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Informatika Tanszék
richard@sze.hu*

Kulcsszavak: üzleti intelligencia, döntéstámogatás, integráció, vállalati rendszerintegráció

Nagyvállalati környezetben az üzleti intelligencia, annak bevezetése és a benne rejlő lehetőségek meglehetősen kurrens témának számítanak. Azonban egy ilyen rendszer adoptálása során számos nehézséggel szembesülhet a fejlesztő csapat, az egyik ilyen a már meglévő rendszereknek a bevezetésre kerülő megoldással való illesztése, operációs rendszer és adatbázis-szinten. A cikk arra keres választ, vajon milyen esély van összeférhetetlenségre.

1. Bevezetés

Az üzleti intelligencia szó először 1989-ben került használatba. Legfőbb oka, hogy a szoftvercégek reklámszakemberei jobban eladhatónak érezhették ezt a kifejezést, az addig használatos döntéstámogató rendszer helyett. A két kifejezés között gyakorlati határvonal nincs. Minimális különbségként talán az alkalmazhatóságot lehet felhozni: kellően strukturált-e a megoldandó probléma? Régebben annak kellett lennie, ha döntéstámogató rendszert akart használni a vállalat, mára ez már nem feltétlen követelmény. Üzleti intelligencia rendszereknél több út is járható: a középpontban továbbra is az elemzés áll, de a technológia fejlődése lehetővé tesz komoly automatizálást, tömeges és részletesebb döntéstámogatást.

Számos esetben fordul elő az alábbi szituáció: már meglévő céges infrastruktúrához kell új üzleti intelligencia rendszert kapcsolni. Ideális lenne persze mindezt úgy megoldani, hogy a meglévő rendszereket és üzleti folyamatokat a lehető legkisebb mértékben (vagy egyáltalán ne) érintse a bevezetés.

A cikk második szakaszában kerül kifejtésre, hogy miért is okoz alkalmanként problémát az üzleti intelligencia rendszerek bevezetése erőforrás szempontból, továbbá bemutatásra kerülnek azok a pontok, ahol az üzleti intelligencia rendszerek illesztése kritikus lehet. A harmadik szakasz tartalmazza a vizsgálat eredményeit, górcső alá véve az elérhető üzleti intelligencia rendszereket és azok működési környezetét. A negyedik szakasz egy kitekintést tartalmaz egy új megoldás (irányzat), a valós idejű üzleti intelligencia rendszerek felé.

Vizsgáljuk meg, lehetséges-e a legújabb üzleti intelligencia megoldások adaptálása olyan környezetbe, ahol már meglévő hardver- és szoftverinfrastruktúra üzemel.

2. Üzleti intelligencia rendszerek és már meglévő környezetük

A feltételezés azért aktuális, mivel számos tanulmány lát napvilágot olyan témákkal, hogy hogyan célszerű,

hogyan költséghatékony egy vállalati informatikai rendszer felépítése, komoly üzleti intelligencia (BI, Business Intelligence) megoldások alkalmazása mellett. Ugyanakkor a tanulmányok nagy része figyelmen kívül hagyja azokat a tényezőket, melyek igencsak jellemzőek a vállalati rétegre. Az első tényező, miszerint a vállalat már régóta üzemel, és az üzlet intelligencia bevezetése alatt is üzemelnie kell – általában egyáltalán nem, vagy csak rendkívül korlátozott mértékű leállás engedhető meg. A második tényező az, hogy a vállalati rendszerek meglehetősen heterogének hardver és szoftver megoldások terén, azaz sokféle hardver dolgozik együtt és sokfajta szoftver van használatban. Ennek oka általában a vállalatok evolúciós fejlődésében található, ugyanis sok cégnél megtartják a régi rendszereket – vagy mert muszáj, annak célja miatt, vagy mert nincs pénz illetve erőforrás annak kiváltására.

Az üzleti intelligencia bevezetési projektek tervezésekor ezeknek a tényezőknek külön figyelmet kell szentelni – mely a szoftvermérnököket gyakran válaszüti elé állítja. A jóval költségesebb megoldás az, ha a bevezetés egyben bizonyos szintű átszervezést és modernizálást is jelent, ekkor az alkalmazott megoldások átgondolása is szerepet kap [1]. A költségkímélőbb megoldás az, ha megvizsgáljuk, hogy a már meglévő infrastruktúra képes-e ellátni a neki szánt többletfeladatot és ha igen, akkor ráültethető az üzleti intelligencia megoldás. Ám ha nem, akkor meg kell vizsgálni, milyen lehetőségek vannak világszerte, melyeket segítségül lehetne hívni.

Ahhoz persze, hogy a tervező csapat számolni tudjon az infrastruktúrával szembeni elvárásokkal, már a tervezés korai szakaszában ismerniük kell azokat a követelményeket, melyeknek a készülő üzleti intelligencia rendszer meg kell feleljen. A megvalósítandó funkciók (elvárások) ismerete esetén számolni lehet azok erőforrásigényével. Általánosan elmondható, hogy erőforrásigény alapján a funkciók a következőképpen csoportosíthatóak:

Alacsony erőforrás-igényű funkciók: Ide tartoznak azok a funkciók, melyek időszakosan működnek (tehát nem folyamatosan, így megfelelő ütemezéssel egymáshoz

igazíthatóak a terhelési hullámok). Ilyenek a hagyományos statisztikai módszerekben alapuló számítások.

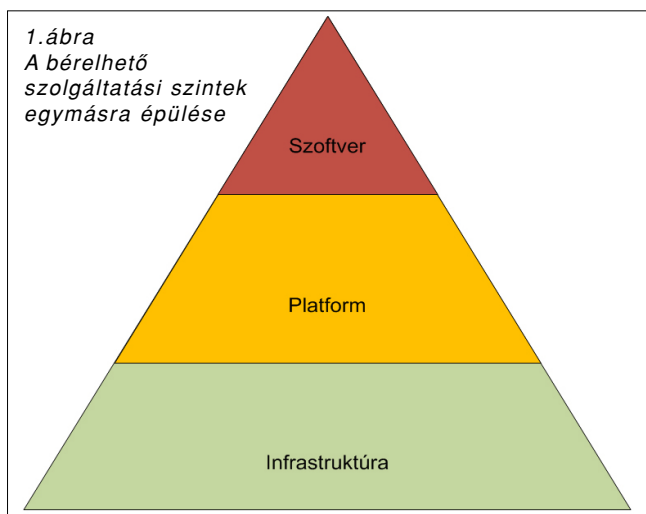
Nagy erőforrás-igényű funkciók: Azok a funkciók, melyek vagy folyamatosan működnek, vagy valós idejű működési feltételeknek kell eleget tenniük. Tipikusan nagy erőforrás-igényű a valós idejű üzleti intelligencia, a valós idejű CRM, valamint minden olyan döntési alkalmazás, melyben az épp adódó döntési helyzet kiértékeléséhez az összes eddigi döntési helyzet vizsgálata szükséges. A feldolgozandó/megvizsgálendő adatmennyiséggel arányosan nő a számítási igény is.

Amennyiben a bevezetéssel kapcsolatos követelmények közt nem szerepelnek nagy erőforrás-igényű funkciók, akkor tapasztalati úton megállapítható, hogy az üzleti intelligenciával kapcsolatos infrastruktúra-igény fedezhető a már meglévő infrastruktúra használatával. Ehhez persze szükséges a bevezetés előtti terhelési hullámok ismerete (ez felderíthető a bevezetési projekt helyzet-elemzési fázisában), majd ennek tudatában a rendszeres funkció-végrehajtás időzíthető az addigi hullámvölgyekre, egy olyan állapotot elérve, hogy ne legyenek túlterheléses időszakok (mivel akkor a végrehajtás sokszorosan lassabb lesz).

Abban a valószínű esetben viszont, ha igenis van igény nagy erőforrás igényű feladatok végrehajtására, át kell gondolni, hogy milyen lehetőségek elérhetőek [2]:

- Infrastruktúrát bérelni szolgáltatásként: az IT infrastruktúra teljes kiszervezettsége mellett annak bérletét jelenti.
- Platformot bérelni szolgáltatásként: a fejlesztői platform bérletét jelenti (az infrastruktúrával együtt).
- Szoftvert szolgáltatásként igénybe venni: a szoftver szolgáltatásként történő igénybevételét jelenti, egyfajta használati arányos bérleti modellel egybekötve. (Hozzá tartozik az infrastruktúra szolgáltatása is.)

A három szolgáltatási szint felfogható piramisként is (1. ábra), ahol a legrészletesebb szolgáltatási szintet a szoftvert szolgáltatásként modell képviseli, míg a legalacsonyabb szintűt az infrastruktúra szolgáltatásként való igénybevétele/nyújtása jelenti.



Gyakorlatilag a tervezési fázisban kell eldönteni, hogy melyik modellt lenne célszerű igénybe venni – jó hozzáállás lehet a három szolgáltatási szintet a Kesselring-algoritmus bemeneteként kezelni.

Ma 50-60 körüli tehető azon szoftverrendszerek száma, melyek üzleti intelligencia szolgáltatást kínálnak. (Megjegyzendő persze, hogy vannak összetettebb, sokrétű szolgáltatást nyújtó rendszerek, illetve egyszerűbb, csak egy-egy részfeladat elvégzésére képes szoftverek – ilyen részfeladat lehet az adatok összegyűjtése, migrálása, elemzések készítése, a riportkészítés, az adatvizualizáció.) Bár nyilvánvalóan az összetettebb rendszerek vannak jelen kisebb számban, a két szintet elválasztó vonal meghatározása igen nehéz feladat, mivel a piac sokszereplős, sok megoldással tarkítva.

A már meglévő/kifejlődött vállalatirányítási rendszerhez való illesztés két ponton lehet kritikus:

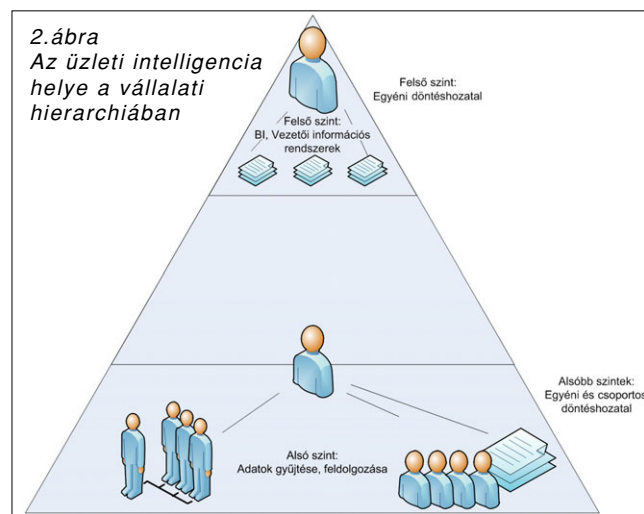
- az egyik a már működő operációs rendszer (megoldja az alatta fekvő hardverrel való kommunikációt),
- a másik a meglévő adatbázisokhoz való illeszkedés.

Így a meglévő vállalatirányítási vagy más rendszerek mellé (helyesebben inkább fölé – 2. ábra) történő illesztés előtt figyelembe kell venni, hogy melyik rendszerek képesek a meglévő operációs rendszeren működni, valamint képesek a már meglévő adatbázisokból adatok kinyerésére. Ezek után kell megvizsgálni, hogy a szűrés után fent maradt megoldások közül melyek képesek a funkcionális igények kielégítésére.

Annak az állításnak az eldöntésére, miszerint az üzleti intelligencia rendszerek tetszőleges konfiguráció (már-mint a meglévő platform és a szükséges adatbázis kapcsolat) mellé telepíthetők, meg kell vizsgálni a piacon elérhető rendszereket. A vizsgálat 54 üzleti intelligencia funkcionális rendszerre terjedt ki. A vizsgált rendszerek nagy része kereskedelmi forgalomban kapható, de a valóságnak megfelelően tartalmaz a vizsgálat ingyenes, illetve nyílt forráskódú termékeket.

3. A vizsgálat eredményei

A vizsgálat egyfelől bebizonyította, hogy ebben a szektorban is folyamatban van a klasszikus kliens-szerver



architektúra elhagyása és webes architektúrára áttérés. Azok a rendszerek, amelyek vagy a klasszikus kliens-szerver architektúrára, vagy desktop környezetre épülnek, (kliensoldalt tekintve) leginkább az elterjedt keretrendszereket alkalmazzák, amit a JAVA technológia vagy a .NET keretrendszer nyújt. A megállapítás pozitív oldala az, hogy mivel mindkét keretrendszer elérhető az elterjedt operációs rendszereken, így ezen az oldalon nem jelentkezhethet probléma a használatot illetően.

A meglévő szervereken futó operációs rendszerek tekintetében (amennyiben új hardver illetve operációs rendszer bevezetésekor, az nagyobb árkategóriába sorolja ugyan a beszerzést, ám nem is jelentkezik a megkötés a rendszer architektúrájának tervezése során) a termékek rugalmassága más képet fest. Ebben a tekintetben könnyedén osztható két részre a „mezőny”, a csoportosításnak jó alap az, hogy szerveroldalon több operációs rendszer támogatott-e.

A nagyobb, összetettebb rendszerek (főként azok, melyek tekintélyes több évtizedes múltra tekintenek vissza), evolúciójuknak köszönhetően általában támogatják az iparban elterjedt szerver operációs rendszereket.

Ezek a következők:

- **z/OS:** Az IBM mainframe gépeinek operációs rendszere. Nagy előnye az elsőrendű visszafelé kompatibilitás, a nagyméretű memóriák és a mainframe technológiák támogatása. A rendszer a legendás OS/390 követője.
- **Unix/Linux:** Az 1969-es Unix kifejlesztése óta – mely az első hordozható operációs rendszer volt – számos Unix-szerű operációs rendszer látott napvilágot (BSD, Linux). A mindenki számára elérhető, ingyenes, nyílt forráskódú változat a Linux, persze a kategórián belül is találhatók kereskedelmi forgalomban lévő változatok.
- **Solaris:** A Sun Microsystems által fejlesztett SPARC és x86 támogatással rendelkező Unix-szerű operációs rendszer szerverekhez és munkaállomásokhoz egyaránt.
- **Suse Linux:** A legrégebb óta létező nyílt forrású Linux-változat. Elérhető a támogatott, vállalati változat is.
- **Red Hat Enterprise Linux:** A vállalati környezetben megtalálható, másik jelentős részesedéssel bíró változat.
- **Windows:** A Microsoft cég szerveroldali operációs rendszeréből három változat terjedt el ebben a szegmensben nagyobb mértékben: A Windows NT, mely megalapozta a cég szerveroldali térnyerését, a Windows Server 2003, illetve a Windows Server 2008 – utóbbiból elérhető az R2 változat is. Az olyan webes BI-rendszerek tipikus szerveroldali operációs rendszere, melyek a .NET keretrendszer igény miatt IIS web szerveret igényelnek.

A másik csoportba a nem összetett, funkcionálisukat tekintve szegényesebb szoftverrendszerek tartoznak, melyek csak egy-egy részfeladat megoldására alkalmasak és nem rendelkeznek ekkora rugalmassággal sem

telepíthetőség tekintetében. Ezek a kisebb rendszerek legtöbb esetben nem rendelkeznek szerveroldali telepítési és számítási lehetőségekkel, így desktop szoftvereknek minősülnek. Mivel ezeket a rendszereket célszerűbb és gyorsabb valamilyen magas szintű nyelven implementálni, kivitelezésük során a JAVA nyelv és a .NET keretrendszert támogató nyelvek jöhetnek szóba. Az ilyen megvalósítás előnye, hogy a későbbiekben a szoftverek működtetéséhez elegendő a számítógépre a JAVA futtatókörnyezet, vagy a .NET keretrendszer előzetes telepítése. A legelterjedtebb operációs rendszereken ezek elérhetőek.

A vizsgált megoldások 25,9%-a íródott JAVA nyelven, míg 48,1%-uk a Windows-os környezetre készült. A két halmaz közt itt átfedés nincs, de megemlítendő, hogy az ingyenes és nyílt forráskódú rendszerek mindegyike JAVA platformra készült.

A JAVA futtatókörnyezet elérhetőségét az 1. táblázat mutatja.

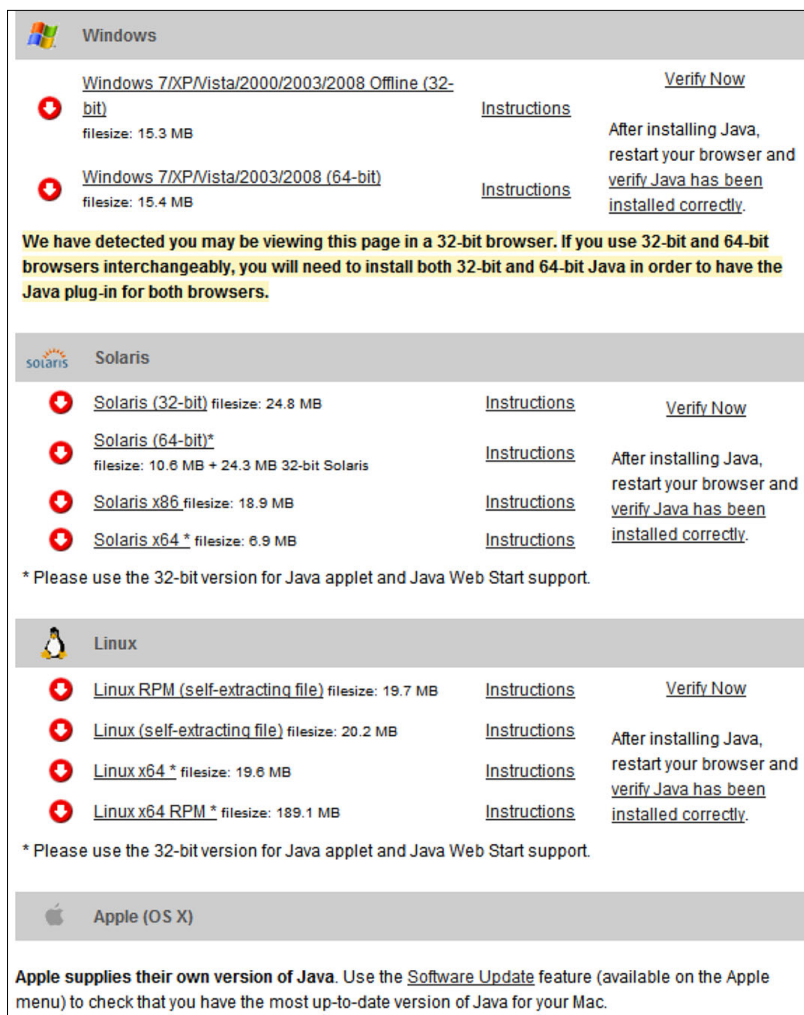
	32-bites változat	64-bites változat
Microsoft Windows 7	•	•
Microsoft Windows XP	•	•
Microsoft Windows Vista	•	•
Microsoft Windows Server 2003	•	•
Microsoft Windows Server 2008	•	•
Microsoft Windows 2000	•	
Sun Solaris	•	•
Linux	•	•
Apple OS X	van, saját verzió	

1. táblázat Java elérhetőség

A .NET keretrendszer a Microsoft operációs rendszerein elérhető (adott változatokban előre telepítve megtalálható bizonyos verzió, a felett tetszőlegesen frissíthető), Linux rendszerekre pedig a MONO Projekt keretében fejlesztik a keretrendszert (Mac OS X és Solaris operációs rendszerekre is elérhető). Általában a legfrissebbnél egyvel régebbi változat elérhető a MONO keretben belül.

Szakmai (és online) fórumokon gyakran heves vitát vált ki, hogy melyik elgondolás a jobb befektetés: az ingyenes operációs rendszerek és szoftverek használata, melyek működtetéséhez (általában) drágább szakemberek kellenek, vagy célszerű inkább drágább, de egyszerűbben használható szoftvereket alkalmazni, melyek nem rendelkeznek akkora szakemberigénnyel.

Az adatbázisokhoz való kapcsolódás a másik fontos technológiai tényező. Itt azt kell megvizsgálni, hogy a piacon fellelhető üzleti intelligencia megoldások milyen adatbázis típusokat képesek adatforrásként használni, illetve azt, hogy ezek a lehetőségek milyen mértékben garantálják a széleskörű kompatibilitást.



Windows

Windows 7/XP/Vista/2000/2003/2008 Offline (32-bit) file size: 15.3 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

Windows 7/XP/Vista/2003/2008 (64-bit) file size: 15.4 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

We have detected you may be viewing this page in a 32-bit browser. If you use 32-bit and 64-bit browsers interchangeably, you will need to install both 32-bit and 64-bit Java in order to have the Java plug-in for both browsers.

Solaris

Solaris (32-bit) file size: 24.8 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

Solaris (64-bit)* file size: 10.6 MB + 24.3 MB 32-bit Solaris [Instructions](#) [Verify Now](#)

Solaris x86 file size: 18.9 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

Solaris x64 * file size: 6.9 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

* Please use the 32-bit version for Java applet and Java Web Start support.

Linux

Linux RPM (self-extracting file) file size: 19.7 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

Linux (self-extracting file) file size: 20.2 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

Linux x64 * file size: 19.6 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

Linux x64 RPM * file size: 189.1 MB [Instructions](#) [Verify Now](#)

* Please use the 32-bit version for Java applet and Java Web Start support.

Apple (OS X)

Apple supplies their own version of Java. Use the [Software Update](#) feature (available on the Apple menu) to check that you have the most up-to-date version of Java for your Mac.

3. ábra Java keretrendszer elérhetőségei (www.java.com)

A vizsgálat során a következő adatbázis-kapcsolati lehetőségeket találtuk:

Gyártóspecifikus adatforrások:

Azon termékekre jellemző, amik olyan nagy gyártótól érkeznek, akik képesek ügyfeleik számára a teljes technológiai stack nyújtására (Microsoft, Oracle) és a saját adatbázis kezelő termékek kiemelt támogatása és integrációja révén próbálják ügyfeleiket arra ösztönözni, hogy a szükséges komponenseket is tőlük szerezzék be.

A vizsgált rendszerek 44,4%-a képes valamilyen gyártóspecifikus adatforrás hasznosítására.

SQL (Simple Query Language):

A szabványosított lekérdező nyelv, melyet szinte minden adatbázis kezelő motor ismer [5]. Gyártóspecifikus eltérések persze vannak az alap szabványtól, mint a Microsoft által használt MS-SQL, vagy az Oracle által használt PL/SQL.

Az összes vizsgált megoldás képes az SQL-utasítások feldolgozására, azonban megjegyzendő, hogy bizonyos esetekben (saját programozási nyelv miatt) az SQL-kódrészleteket be kell burkolni.

XML:

A W3C szöveges formátuma, melyet kifejezetten az internetes anyagok terjesztésére lett specifikálva. Tá-

mogatja az unicode karaktereket, így minden nyelven használható, és jól használható webszervízek készítésénél, illetve adatforrások előállítása során [6]. Használatához speciális API szükséges, ám ez már minden programozási nyelven rendelkezésre áll.

A vizsgált rendszerek 72%-a képes XML forrás hasznosítására.

ODBC (Open DataBase Connectivity):

Az adatbázisoktól, programozási nyelvektől és operációs rendszerektől függetlennek fejlesztett interfész [7]. Segítségével a szoftvereknek elegendő az ODBC által definiált szintaxis ismerete, onnantól a driver feladata ezen szintaxis konkrét adatbázis kezelő rendszer számára értelmezhető nyelvre fordítása [8].

A vizsgált megoldások 54%-a képes ODBC-adatforrások hasznosítására.

JDBC (Java DataBase Connectivity):

A Java programozási nyelvhez tartozó, relációs adatbázisok eléréséhez szükséges API [9]. A JDBC-ODBC híd segítségével Java nyelvből is elérhető az ODBC funkcionalitása. A .NET keretrendszerben a megfelelője az ADO.NET [10].

Minden vizsgált JAVA-alapú rendszer képes JDBC-adatforrások alkalmazására.

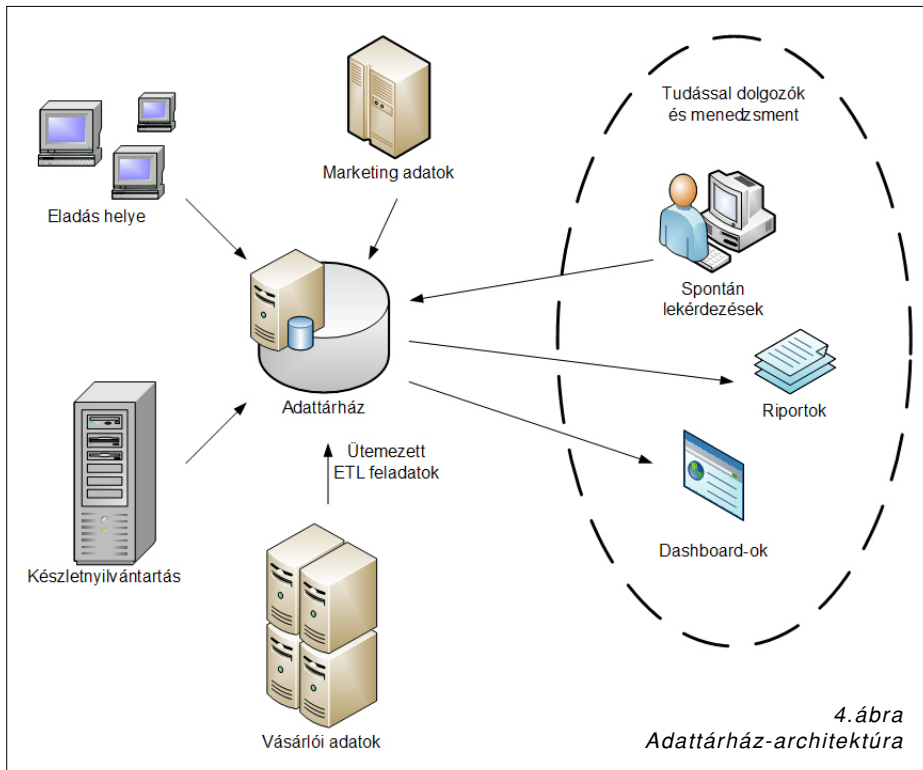
Az üzleti intelligencia rendszerek fejlesztése közben a fenti szabványos technológiák alkalmazásának köszönhetően

(persze részben köszönhető ez a fejlesztéshez alkalmazott nyelvnek) a vizsgált szoftverek képesek tetszőleges adatbázissal való munkára. Kivételek persze adódhatnak, ezekhez a speciális esetekhez célszerű más kapcsolati megoldás után nézni – ha bizonyítottan szükséges.

4. Más kapcsolati megoldások és valós idejű üzleti intelligencia rendszerek

A mai versengő gazdasági környezetben – ahol igen magasak a vásárlói elvárások – a döntések legfrissebb adatokra alapozása tovább javíthatja a vásárlói kapcsolattartást, növelheti a bevételeket, és az operatív hatékonyságot is maximalizálhatja. A technológia fejlődése és az adatfeldolgozási sebesség jelentős növekedése lehetővé teszi a klasszikus, jól bevált adattárház rendszerek valós idejűvé tételét. Ennek eredménye a valós idejű üzleti intelligencia (RTBI, Real Time Business Intelligence).

Minden üzleti tranzakció már létrejövetelkor bekerül abba a valós idejű rendszerbe, mely a vállalat állapotáért felel. Így az RTBI rendszer nem kizárólag a mára klasszikusnak mondható stratégiai funkciókat valósítja meg (mint az adattárházazás vagy információk és tudás előállítása a múlt adataiból), hanem valós idejű



Az adattárház-koncepció (4. ábra) egy olyan informatikai rendszert jelent, mely a vállalat minden adatának repozitóriuma olyan formában [4], hogy azon elemzéseket lehessen készíteni, riportokat lehessen generálni a menedzsment és más tudással dolgozók számára. Ha ez a cél adott, számos kihívással kell szembe nézni:

- Az adatokat számos egymással nem kompatibilis rendszerből kell összegyűjteni.
- Ugyanaz az információ különböző rendszerekben, különböző formában lehet tárolva, ráadásul el is térhetnek egymástól. Meg kell határozni, hogy az adott adat melyik és milyen formában helyes.
- Meg kell határozni, hogy a folyamatosan változó adatokat milyen gyakran frissítsék az adattárházakban.

taktikai támogatást is nyújt, aminek eredményeként a vállalat azonnal képes lesz reagálni az eseményekre. Jól használható tehát a klasszikus adattárház rendszerek kiváltására és a vállalati rendszerek integrációjára (EAI, Enterprise Application Integration) is.

Az RTBI másik neve eseményvezérelt üzleti intelligencia. Ahhoz ugyanis, hogy valós időben lehessen reagálni, az események bekövetkezésekor azonnali beavatkozásra van szükség, itt nem engedhetők meg órák vagy percek késései sem. Az RTBI-megközelítés használatával a vállalat olyan hosszú távú stratégiát valósíthat meg, mely segíti a műveletek optimalizálását és egyidejűleg képes lesz az eseményekre azonnal reagálni [3].

Valós idejű rendszerektől (mint minden más kontextusban, itt is) megkövetelt valamilyen szigorú válaszidő betartása.

Tíz éve még elegendő információnak számított az, ha felismerhető volt, hogy melyik termék iránti kereslet a legnagyobb, így abból kellő mennyiség volt folyamatosan raktározható. A mai agresszív marketing környezetben ez már nem elegendő. Ma inkább az lehet a követendő példa, ha a vásárlók korábbi vásárlásai alapján kiegészítő terméket ajánl az üzlet, esetleg árengedménnyel, így egyszerre valósulhat meg a nagyobb haszon, a vásárlási kedv növekedése és a vásárlási élmény javulása. Ebben a komoly elvárásokkal teli, versengő környezetben még a műveleti hatékonyság is javítható.

Az információtechnológia fejlődésével a vállalatok egyre több rendszerüket automatizálták. Azóta ezekben a rendszerekben nagy mennyiségű kihasználatlan adat van. Az eladási, könyvelési, termelési, HR-rendszereken kívül ugyancsak sok szignifikáns történeti, aktuális vagy prediktív adat lelhető fel.

- Meg kell határozni, hogy a hatalmas adatmennyiség hogyan reprezentálható használhatóan és egyszerűen.

Ahhoz, hogy ezek az igények kielégíthetőek legyenek, számos támogató alkalmazás kifejlesztésére volt szükség, ezek a következők:

- ETL-folyamatokat megvalósító alkalmazások, melyek az adatok mozgatásáért felelősek (az adattárházba).
- Adatbányászati és elemző szoftverek, melyekben lehet egyedi módszereket definiálni és ezek elvégezhetőek az adattárház tartalmán.
- Egyszerű, de lényegre törő megjelenítést támogató riportkészítő eszközök.

5. Összefoglalás

Végezetül általános megállapításként elmondható – az üzleti intelligencia rendszerek hatékonyságának és szükségességének megkérdőjelezése nélkül – hogy egy meglévő, üzemelő vállalatnál komoly szoftverfejlesztési kihívás a már meglévő rendszerekhez történő üzleti intelligencia rendszer illesztése.

Ennek a kihívásnak pedig nem egyszerű megfelelni: ugyanúgy készülni kell rá, mint minden más szoftvercélú projektre (létezik hozzá ajánlható módszertan is, mely szigorú lépésekre bontja a folyamatot) és legalább ugyanakkora – ha nem nagyobb figyelemmel kell eljárni.

Az egyik kezdeti lépés a később alkalmazandó termék kiválasztása: itt fontos szempont az, hogy képes-e a választandó rendszer együttműködni a már meglévő (üzemelő) rendszerekkel, adatbázisokkal és adatforrásokkal.

A szerzőről

GALLI RICHÁRD főiskolai és egyetemi diplomáit 2007-ben szerezte meg a Széchenyi István Egyetem gazdasági informatika szakán és a közlekedésmérnöki szakán, majd felvételt nyert az Egyetem Regionális és Gazdaságtudományi Doktori Iskolájába. Kutatási témának informatikai vetületűt választott, készülő disszertációja „Vállalatvezetést támogató üzleti intelligencia alkalmazások sikerkritériumai” címet viseli. 2008-tól a Széchenyi István Egyetem Informatika tanszékén dolgozik tanársegédként, az általa oktatott tárgycsoportok a Szoftvertechnológia, a Vállalati/Vezetői Információs rendszerek, illetve a Banki Informatika tantárgy.

Irodalom

- [1] Moss, Larissa Terpeluk, Atre Shaku, Business intelligence roadmap: the complete project lifecycle for decision-support applications. Addison-Wesley, 2003.
- [2] Toby Velte, Anthony Velte, Toby J. Velte, Robert C. Elsenpeter, Cloud Computing: A Practical Approach. McGraw Hill Professional, 2009.
- [3] Malu Castellanos, Umesh Dayal, Timos Sellis, Business Intelligence for the Real-Time Enterprise. Springer, 2009.
- [4] Jarke, Matthias, Fundamentals of data warehouses. Springer, 2003.
- [5] Andrew J. Oppel, SQL demystified. McGraw-Hill/Osborne, 2005.
- [6] Elliotte Rusty Harold, W. Scott Means, XML in a nutshell. O'Reilly Media, Inc., 2004.
- [7] Kyle Geiger, Inside ODBC. Microsoft Press, 1995.
- [8] SAS Institute, SAS/Access 9.1 Supplement for ODBC (SAS/Access for Relational Databases). SAS Publishing, 2004.
- [9] Bernard Van Haecke, JDBC 3.0: Java database connectivity. John Wiley&Sons, 2002.
- [10] Michael Otey, Denielle Otey, ADO.NET: the complete reference. McGraw-Hill/Osborne, 2003.

Húszéves a magyarországi internet

Jubileumi kötetet adott ki az Internet Szolgáltatók Tanácsa

A magyarországi internet kezdetének meghatározásával kapcsolatban még az abban érintett szakemberek körében sincs feltétlenül egyetértés: van, aki már a 80-as évek nemzetközi elektronikus levelezési lehetőségét is az internet előfutárának tekinti, és van olyan, aki a kereskedelmi szolgáltatók vagy az internetes média itthoni megjelenéséhez kapcsolja ezt az időpontot.



Történt azonban valami – egészen pontosan 1991 októberében –, ami egzakt kapaszkodót jelent az indulás időpontjának meghatározásakor: ugyanis ekkor érkezett az első internet-adatcsomag Magyarországra, az internetre ekkor kapcsolódott az első hazai számítógép (a 192.84.225.1 „történelmi” IP-címen, sztaki.hu néven), amely az első magyarországi domén név-szerver, a .hu legfelső szintű domén kiszolgálója is volt egyben. Az Internet Szolgáltatók Tanácsa innen számítja a magyarországi internet hivatalos kezdetét.

A szolgáltatókat tömörítő szervezet a kerek évfordulót egy jubileumi kiadvány megjelentetésével ünnepli meg. A „20 éves a magyarországi internet – Ahogy a szakemberek megélték, megélik” című kötet a korszaknyitáskori technológia és tartalom elemeit kutatja az azokon a szakterületeken munkálkodó szakemberek 2011 nyarán rögzített visszaemlékezéseire építve.

Az egyes fejezetekben – IT-újságírók közreműködésével – megszólalnak az internet hazai megjelenésén dolgozó akadémiai-egyetemi szféra képviselői éppúgy, mint a kezdeti kereskedelmi szolgáltatások létrehozásában meghatározó szerepet játszó internetszolgáltatók vezetői, munkatársai, valamint az internetes tartalmak előállításának úttörői. Az alcímnek megfelelően tehát a kötet leginkább egyfajta személyes múltidézésre törekszik – belátható ugyanis, hogy a korszak részletes, kronologikus feldolgozásához, végleges formába öntéséhez hosszú évek kutató-feltáró-szintetizáló munkájára lenne szükség.

A jubileumi kiadvány a hagyományos könyvárusi forgalomban nem érhető el, a szakmai közönség tiszteletpéldányt igényelhet az Internet Szolgáltatók Tanácsánál.

További információk: Martos Balázs
(20eves@iszt.hu)

A projektfinanszírozás múltja és jelene

SZALAI ZSOLT

Dél-dunántúli Regionális Bank Zrt.
szalaizs@drbbank.hu

Kulcsszavak: projektmenedzsment, projektfinanszírozás

Aktuális kérdés-e ma Magyarországon a projektfinanszírozásról, mint önálló beruházásfinanszírozási konstrukcióról beszélni? A kérdésre kérdéssel válaszolunk: Szükséges-e ma Magyarországon bármiféle (ipari, közlekedési, egészségügyi, idegenforgalmi, erőművi, környezetvédelmi, mezőgazdasági stb.) infrastruktúra fejlesztése? Úgy gondoljuk, hogy igen, és ha igen, akkor a projektfinanszírozásnak mindenképpen van jelene és jövője. Cikkünk összefoglalja a projektfinanszírozás kialakulásának körülményeit, bemutatja főbb jellemzőit és struktúráját, valamint ismerteti azon területeket, ahol a mai Magyarországon is feltétlenül szükséges a projektfinanszírozás konstrukciójának alkalmazása.

1. A projektfinanszírozás kialakulása

A II. világháborút követően a háború pusztításainak következményeképpen, majd főleg az 50-es és 60-as években a fejlett nyugati demokráciákban tapasztalható élet-színvonal-növekedés velejárójaként erőteljes igény mutatkozott a gazdasági infrastruktúra jelentős fejlesztésére.

A növekvő létszámú és igényű népesség elkerülhetlenné tette a közellátást biztosító infrastruktúra fejlesztését és bővítését. Ide tartozott az erőművi kapacitások bővítése, korszerű ivóvíz, áram- és gázellátó hálózatok kiépítése, a gyorsforgalmi úthálózat és egyéb közlekedési infrastruktúra (repülőterek, kikötők, vasúti és folyami úthálózat stb.) fejlesztése. Emellett, illetve ennek következtében ugyancsak szükségessé vált a természeti erőforrások (olaj, gáz, szén) kiaknázásának bővítése, illetve ipari gyártó kapacitások (acélipar, vegyipar, alumínium ipar) megerősödése. Később a telekommunikáció (fix és mobil telefónia, internet, kábeltévé stb.) rohamos fejlődése indokolta a nagy összegű beruházásokat.

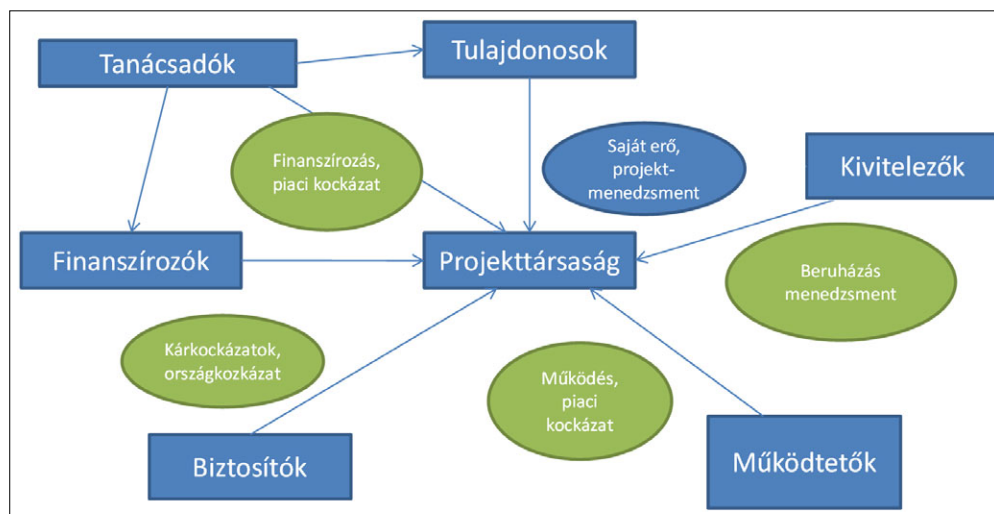
A fejlesztések háttérében álló szereplők előtt hamarosan világossá vált, hogy kizárólag állami forrásból, illetve multilaterális intézmények (pl. Világbank, regionális fejlesztési bankok) bevonásával nem lehet finanszírozni a növekvő és időben egyre sürgetőbben jelentkező fejlesztési igényeket, mindenképpen szükséges a magántőke bevonása a folyamatba. A magántőke szerepével előtérbe került az az igény, hogy egy jelentős összegű beruházás megvalósításával és működtetésével kapcsolatos kockázatok megfelelő módon legyenek kezelve. Természetesen egy állam vagy önkormányzat által finanszírozott projekt esetében is szükséges a kapcsolódó kockázatok optimalizálása, ugyanakkor a magántőke megjelenésével ez az igény erőteljesebbé és kifinomultabbá vált.

Ennek ésszerű evolúciója lett a projektfinanszírozás, mint önálló beruházásfinanszírozási konstrukció kialakulása.

2. A projektfinanszírozás jellemzői

2.1 A struktúra

Legelőször is azt érdemes megvizsgálni, hogy egy tipikus projektfinanszírozási ügyletnek mely szervezetek a főbb szereplői és milyen módon kapcsolódnak egymáshoz. Az 1. ábra egy ilyen tipikusnak mondható projektfinanszírozási struktúrát mutat be.



1. ábra
Tipikus projektfinanszírozási struktúra

Szereplő	Szerep
Projektársaság	A projekt központja, ez a társaság adja a szervezeti és jogi (társasági) keretet a projekt megvalósulásának és ez a társaság áll közvetlen kapcsolatban a projekt összes többi szereplőjével
Tulajdonosok	A finanszírozáshoz szükséges saját tőkét /őnerőt (projektől függően jellemzően a teljes beruházási költség 15-30%-a), valamint a projektársaság működési feltételeit és a projektmenedzsmentet biztosítják. A tulajdonosok lehetnek kizárólag magánbefektetők, vagy állami/önkormányzati és magánbefektetők közösen.
Kivitelezők	A projekt megépítésével megbízott, az adott területen megfelelő szakreferenciával rendelkező vállalkozások, vagy jellemzően azok konzorciuma, beleértve számos kapcsolódó alvállalkozót.
Finanszírozók	A projekt „hiteljellegű” finanszírozási részét biztosítják. Lehetnek kereskedelmi és fejlesztési bankok, multilaterális intézmények (pl. EBRD, EIB, Világbank), kötvénybefektetők, vagy az előbbieket kombinációja. Emellett a finanszírozók teszik lehetővé a pénzügyi jellegű kockázatokhoz kapcsolódó védelmet.
Biztosítók	A projekt megvalósítása és működtetése során felmerülő káreseményekhez kapcsolódó különböző kockázatok fedezetét biztosítják.
Tanácsadók	A finanszírozók illetve a tulajdonosok/projektársaság részére adnak jogi, pénzügyi, műszaki és piaci jellegű tanácsot a projekt előkészítése, megvalósítása és működtetése során. A műszaki tanácsadó műszaki ellenőri minőségben folyamatosan figyelemmel kíséri a projekt megvalósításának és üzembehelyezésének folyamatát és a külső, hiteljellegű finanszírozás szakaszos igénybevétele számos esetben az általa kiadott igazoláshoz/jelentéshez kapcsolódik.
Működtetők	A projekt jellegétől függően a megvalósult beruházás működtetését végezheti maga a projektársaság, vagy egy arra szakosodott társaság (pl. autópálya üzemeltetők). Előfordul az is, hogy a működtető kisebbségi tulajdonosként megjelenik a projektársaságban.

1. táblázat Főbb szereplők és szerepkörök

2. táblázat A szereplők kockázatvállalása

Szereplő	Vállalt kockázat
Tulajdonos és projektársaság	Tőkebefektetési kockázat: a tulajdonos a projekt saját tőke igényét biztosítva vállalja a tőkebefektetés kockázatát, mely szerint szélsőséges esetben akár teljes befektetett tőkéjét elveszítheti. Működtetési kockázat: amennyiben a projekt működtetését a projektársaság végzi, úgy a tulajdonos fellelőssége a projektársaság megfelelő humán erőforrással való ellátása, jól működő ellenőrzési rendszer kialakítása.
Kivitelező, fővállalkozó	Jótéjesítés: a kivitelező elsősorban a megvalósítás megfelelő műszaki tartalmáért felel, melyre általában jótéjesítési garanciát ad. Határidő: a projekt megvalósulása szempontjából fontos a határidők betartása, melyre a kivitelező késedelmes teljesítés esetén levonandó kötbért ad. Szavatosság, jótállás: a megvalósított projekt működésének első éveiben esetlegesen felmerülő minőségi és működési problémák elhárítására és fedezetére szolgáló garancia.
Finanszírozók	Finanszírozási futamidő: jellemzően a megtakarított pénzzel rendelkező piaci szereplők megtakarítási hajlandósága rövid illetve középtávú, míg egy projekt finanszírozási igénye hosszútávú, a finanszírozók (bankok, tőkepiacok) ezt a rést hivatottak saját kockázatuk révén beállítani. Kamatláb változása: a kamatlábak projekt futamideje alatti emelkedésének kockázatára célszerű a hiteljellegű finanszírozás – egy részének, vagy egészének – kamatlábát rögzíteni, mely ugyancsak pénzügyi szereplők közreműködését igényli. Árfolyamváltozás: amennyiben a projekt működése során keletkező árbevétel devizanemének egy része, vagy egésze eltér a finanszírozás devizanemétől, úgy célszerűvé válhat az árfolyamváltozásból eredő kockázatok árfolyam csere (swap) ügyletek formájában történő lefedése.
Biztosítók	Felelősségbiztosítás: A projekt megvalósítása és működtetése során harmadik felek által okozott károk biztosítása. Vagyonsbiztosítás: a projekt vagyontárgyaiban bekövetkező károk fedezete. Üzemszünet biztosítás: a projekt működésében bekövetkező, előre nem látható leállások fedezete. Országkockázat: a projekt országának politikai és gazdasági kockázatára nyújt fedezetet. Hitelképesség: a projektársaság nem fizetéséből adódó kockázatra nyújthat fedezetet egy hitelbiztosító.
Működtetők	Piaci kockázat átvállalása: a projekt sikeres működésének alapvető fontosságú része a megfelelő piaci jelenlét biztosítása és a projekt által előállított termékek és szolgáltatások megfelelő szintű értékesítése. Külső működtető igénybevétele esetén a működtető szerződésben rögzített anyagi (pl. működési díj levonás) felelőssége ennek biztosítása. A projekt rendeltetésszerű működése: ugyancsak anyagi felelőssége a működtetőnek a projekt szakszerű működésének biztosítása.
Tanácsadók	Felelősségbiztosításuk révén esetleges helytelen tanácsukért vállalnak felelősséget és pénzügyi biztosítékot.

A főbb szereplők és szerepkörükhöz kapcsolódó funkcióik az 1. táblázat szerint alakulnak.

2.2 Kockázatok – kockázatok megosztása

A projektfinanszírozási konstrukció sarokköve a projekt megvalósítása és működtetése során felmerülő kockázatok szereplők közötti megfelelő felosztása és kezelése. A kockázatmegosztás elve szerint egy adott kockázatot az a szereplő vállaljon fel, amelyik azt legjobban tudja kezelni. Például a kivitelezés időben és megfelelő műszaki tartalommal való befejezését legjobban a fővállalkozó tudja biztosítani és ő tud erre megfelelő garanciákat (jótéjesítési garancia, kötbér) adni. Egy kamatlábváltozásból eredő kockázatra legjobban egy pénzügyi szereplő tud fedezetet nyújtani. A 2.1 pont alatt részletezett szereplők kockázatvállalással és megosztással kapcsolatos megközelítését a 2. táblázat foglalja össze.

A táblázatban közölt összefoglalásból is jól látható, hogy egy projekt megvalósítása és működése során nagyon sokrétű és típusú kockázat merül fel. Ugyanakkor az is biztos, hogy mindig meg lehet találni azt a szereplőt, amelyik legalkalmasabb arra, hogy az adott kockázatra pénzben mérhető fedezetet nyújtson.

2.3 A Cash Flow

A 2.2 pontban összefoglalt kockázatok megfelelő kezelése mellett mind a tulajdonosok, mind a finanszírozók szemszögéből hasonló fontossággal bír a projekt cash flow-jának stabilitása. Sőt, a kockázatok megfelelő kezelése egyenes arányban áll a projekt cash flow-stabilitásával. Ebből a szempontból a projekt cash flow-ja és a kockázatok szoros összefüggésben és kölcsönhatásban vannak egymással, a projekt szabad cash flow-termelő képessége nagymértékben függ a megfelelő kockázatkeze-

léstől. Például ha egy projekt árbevétele forintban keletkezik, de a finanszírozás euróban történik, akkor egy forintgyengülés negatív hatással van a szabad cash flow-ra, szélsőséges esetben akár a projekt finanszírozhatóságát és működését is veszélyeztetheti.

Mind a tulajdonosok, mind a finanszírozók a szabad cash flow stabilitásában érdekeltek. Szabad cash flow alatt a működésből fennmaradó szabad pénzáramot értjük, mely szabadon fordítható adósságszolgálatra és tulajdonosi kifizetésre. Ugyanakkor a tulajdonosok és finanszírozók között lehet némi érdekellentét is. A tulajdonos hasznának maximalizálásában érdekelt, ezért a működést adott esetben kitolhatja a műszaki optimum hatáira. Ez végső soron növelheti a meghibásodást és ezáltal a cash flow-termelést. A finanszírozó viszont abban érdekelt, hogy stabil legyen a működés, és a szabad cash flow megfelelő fedezetet nyújtson az aktuális adósságszolgálatra. Ezt az ellentmondást szokás az upside-downside ellentétnek is nevezni: a finanszírozó nem húz hasznát a projekt rövid távon hatékonyabb, de adott esetben kevésbé biztonságos működéséből, de a projekt leállásából komoly kára keletkezhet. Bár a tulajdonosnak is lehet kára a projekt leállásából, ugyanakkor ő hasznát is húzhatja a hatékonyabb működésből. Ennek okán a tulajdonos és a finanszírozó eltérő ingerküszöbvel rendelkezik a hatékony működés műszaki tartalmának megítélésében, amit a finanszírozáshoz kapcsolódó dokumentációnak mindenképpen kezelni kell.

A 3. táblázat röviden összefoglalja egy projekt szabad cash flow-termelésére ható főbb tényezőket:

A táblázatban részletezett tényezők mindegyike fedezhető valamilyen szereplő, vagy adott esetben jól kialakított struktúra révén. Erre egy kiváló példa a pakisztáni távközlési társaság fejlesztésének 90-es években megszervezett finanszírozása. Abban az időben Pakisztán országkockázata nem volt elfogadható a fejlett országok pénzpiaci szereplői számára és intézményi oldalról sem volt elérhető biztosítás, ezért egy olyan struktúrát kellett találni, mely „kikerüli” az országkockázatot. Sok pakisztáni állampolgár dolgozott az Arab-öböl menti országokban vendégmunkásként és távol lévén otthonról, jelentős telefonforgalmat bonyolítottak le a családtagokkal. Így a telefonszolgálatnak jelentős külföldről származó árbevétele keletkezett. Ezt az árbevételt lehetett egy Pakisztánon kívüli számlán gyűjtve a finanszírozáshoz kapcsolódó adósságszolgálatra is felhasználni. Ennek révén a pakisztáni országkockázat, azaz egy esetleges államcsőd esetén felmerülő devizamoratórium kiküszöbölhető volt és így a távköz-

lési társaság is hozzájuthatott a fejlesztéseihez nélkülözhetetlen finanszírozáshoz.

2.4 Finanszírozás

Röviden érdemes megemlíteni a projektfinanszírozáshoz kapcsolódó jellemző finanszírozási feltételrendszert is. A 4. táblázat egy banki ajánlati minta elemeit felhasználva mutatja be a finanszírozás jellemző paramétereit.

2.5 A projektfinanszírozás jellemző területei

Megismerve a projektfinanszírozás főbb jellemzőit, célszerű áttekinteni, hogy a projektfinanszírozás – mint jellemző beruházás-finanszírozási konstrukció – milyen főbb területeken és iparágakban terjedt el. Gyakorlatilag a projektfinanszírozás használható minden olyan esetben, amikor az alábbi feltételek egyike legalább teljesül egy beruházás kapcsán:

- A beruházás önálló projektfinanszírozásban valósul meg, vagy meglévő társaság kapacitásainak jelentős növelésére kerül sor.
- A beruházás révén létrejött termék vagy szolgáltatás átvételi (piaci) oldalán fennáll egy

Tényező	Hatás
Árbevétel	• A projekt terméke vagy szolgáltatása iránt csökken a piaci kereslet, vagy nő a piaci ányomás; • Politikai változás miatt az állami vagy önkormányzati megrendelő nem tart igényt a projektre, vagy jelentős árcsökkenést kezdeményez;
Működési költségek	• Alapanyagárak és energiaköltségek növekedése; • Bérköltség és bérterhek növekedése; • Amortizációs kulcsok kedvezőtlen változása; • Adóterhek növekedése;
Pénzügyek	• Kamatláb emelkedése; • Árfolyamváltozás, amennyiben a projekt cash flow és finanszírozás devizaneme eltérő; • Kamatfelár növekedése országkockázat és/vagy piaci likviditási okok miatt;
Megvalósítás	• Beruházási költségek növekedése; • Beruházási határidő kitolódása; • Beruházás minőségi problémái;
Biztosítási események	• Vagyonkár; • Országkockázat romlása; • Felelősségbiztosítási események;

3. táblázat A szabad cash flow termelésére ható tényezők

4. táblázat A finanszírozás jellemző paramétereit

Futamidő	Jellemzően 8-30 év, a projekt tárgyának élettartamától és a projekt piaci pozíciójától függően. Állami, hosszútávú átvételi szerződésekkel rendelkező projektek esetében jellemző a 20-30 éves időszak, míg piaci kiterjedésű projekteknél 5-10 év szokásos.
Kamatláb	Referencia kamat és kamatfelár. A finanszírozó biztosíthatja a referencia kamatláb fix kamatlábra történő cseréjét (kamat swap).
Devizanem	Jellemzően a projekt árbevételének meghatározó devizaneme a természetes fedezettség elérése érdekében.
Díjak, költségek	Egyszeri folyósítási díjak, tanácsadói és szakértői költségek.
Biztosíték	A projekt eszközei, árbevétele, pénzügyi és jogi kötelezettségvállalásai.
Irányadó jog	Nemzetközi ügyletek esetén az angol jogot szokás választani, de a biztosítéki szerződések tekintetében az érvényesíthetőség miatt a helyi jog lehet alkalmasabb. Helyi ügyleteknél a helyi jog alkalmazása célszerű.

jelentős állami vagy önkormányzati vevő hosszútávú átvételi szerződéssel, vagy sok kis vevő egy megfelelően szórt piaci portfólió alapján.

- Fennáll az ország- vagy szektorkockázat kezelésének kérdése.

A fenti feltételek alapján a projektfinanszírozás legjellemzőbb területei:

- 1) Infrastruktúra-beruházások
 - a) Közlekedési, távközlési
 - b) Nyersanyag és energiahordozó kitermelési
 - c) Idegenforgalmi
 - d) Közzolgáltatási
 - e) Egészségügyi
- 2) Ipari beruházások jelentős kapacitásbővítéssel
- 3) Energiatermelési beruházások
- 4) Mezőgazdasági termelő és infrastruktúra beruházások

3. A projektfinanszírozás mai aktualitása

Amint a Bevezetőben már említettük, úgy gondoljuk, hogy a projektfinanszírozás, mint önálló beruházás-financezírozási konstrukció létjogosultsága nem kérdőjelezhető meg. Magyarországon számos területen komoly fejlesztési igények merülnek fel, melyek megkövetelik külső finanszírozási források bevonását. Bár jellemzően egyedileg nem nagy összegű beruházásokról van szó, de programszerűségük alapján és a beruházó méretéhez viszonyítottan már jelentős finanszírozási igényekről lehet beszélni. Sok esetben zöldmezős vagy olyan jellegű fejlesztésekről van szó, melyek igénylik a körültekintő finanszírozási megközelítést mind a projekt tulajdonosa, mind a finanszírozó részéről. Amennyiben állami, vagy önkormányzati megrendelésről, vagy az Európai Unió által támogatott projektről van szó, a közpénzekre és a közérdekre tekintettel is fontos, hogy a beruházás sikeresen valósuljon meg, hiszen ez a támogatás végső igénybevételének feltétele is. A sikerhez pedig egy projektfinanszírozáson alapuló megközelítés és hatékonyan működő, magas színvonalú projektmenedzsment jelentős mértékben hozzájárulhat.

Az Európai Unió által támogatott fejlesztések területén érdemes megemlíteni egy egyre gyakoribb jelenséget. Sok esetben a pályázó energiája és figyelme kimerül abban, hogy a pályázati pénzt elnyerje, melynek eredményeként ugyan egy nyertes, de sok tekintetben már szűk mozgástérrel rendelkező projekttel lép a finanszírozó elé. Emellett előfordulhat, hogy a beruházás piaci megalapozottsága is hagy kívánnivalót maga mögött. Ugyanakkor ezen tényezők sokszor negatívan befolyásolhatják egy projekt hiteljellegű finanszírozását, különösen igaz ez a mai óvatos finanszírozói magatartás mellett. Érdemes tehát egy projekt ötletének megszületésekor konzultálni lehetséges finanszírozó partnerekkel a várható finanszírozási lehetőségekről. Emellett fokozott figyelmet kellene fordítani a beruházások piaci megalapozottságára, hiszen egy szépen megvalósult projekt értékesítési lehetőségek növekedése

nélkül hamar „kiüresedhet” és a saját forrást biztosító tőkebefektető, de akár a finanszírozó is jelentős veszteséggel tudja csak lezárni az ügyletet.

Ma Magyarországon az alábbi, általában támogatott területeken érdemes megfontolni a projektfinanszírozási konstrukció adta lehetőségeket:

- Idegenforgalmi fejlesztések;
- Mezőgazdasági fejlesztések;
- Megújuló energia beruházások;
- Önkormányzati, helyi infrastruktúrafejlesztések;
- Közlekedési infrastruktúrafejlesztések.

4. Összefoglalás

A cikket kettős kérdéssel indítottuk: van-e ma létjogosultsága a projektfinanszírozásnak, mint önálló beruházásfinanszírozási konstrukciónak és szükséges-e ma Magyarországon jelentős fejlesztés és hozzá kapcsolódó finanszírozási forrás? A projektfinanszírozás bemutatása alapján továbbra is úgy gondoljuk, hogy a válasz egyértelmű igen. Ugyanakkor a projektfinanszírozás önmagában még nem jelentheti a teljeskörű megoldást, a siker biztosítása mindenképpen az, hogy ez a finanszírozási konstrukció társuljon korszerű menedzsment- és projektmenedzsment-ismeretekkel és gyakorlattal.

A szerzőről



SZALAI ZSOLT a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetemen szerezte okleveles közgazdász és egyetemi doktori címét. Jelenleg a Dél-Dunántúli Regionális Bank Zrt. elnök-vezérigazgatói teendőit látja el. Korábbi munkája során különböző nemzetközi bankok strukturált és projektfinanszírozási részlegeit vezette és részt vett számos jelentős magyarországi beruházás finanszírozásának megszervezésében.

Self-organizing structureless routing architecture

Keywords: routing architecture, structureless addressing, self-organization, social networks

In this paper we present a new structureless routing architecture, which builds links between nodes in a way resembling to social networks, and creating communication routes so that none of the nodes is required to know the global topology of the network. The realization of the architecture is simple and it works in a self-organizing fashion, wherein the users assist actively in the way of routing. We will show the system efficiency through simulations, which were evaluated on a dynamic model of a campus Wi-Fi network with routers and mobile users.

Classification of communications protocols: challenges and possibilities

Keywords: communication protocol, flow control, protocol functions, classification of protocols

Our paper analyses various classification methods of communication protocols, reflecting on possibilities, aspects and difficulties of this process. We briefly review the evolution of communication protocols, present the most important protocol functions; and we also outline possibilities and challenges which might assist choosing a certain protocol to resolve a given problem. Lastly, we present some important trends regarding the future of communication protocols.

State-of-the-art multicarrier transmission techniques for cognitive radio applications

Keywords: cognitive radio, white space, multicarrier modulation schemes, wireless communications, OFDM

As a result of the analogue-to-digital change-over of TV broadcast which is upcoming in Hungary as well, certain frequency bands will become available. According to recent plans, these frequencies might be used by opportunistically communicating, intelligent radio systems aiming data transmission applications. As the primary (incumbent) user of these frequencies will still be the broadcast sector, data communication systems operating in these frequencies must incorporate sophisticated intelligence and fast spectrum sensing capabilities to prevent interference. In this paper we introduce and compare four different multicarrier modulation techniques which might be suitable candidates for cognitive radio-based applications.

3D videostream testing on GPON based network

Keywords: GPON based network, 3D multimedia, stereoscopic visualization, QoE, subjective evaluation

The increase of 3D videostream traffic on the Internet brings many challenges for Internet Providers. The Quality of Service (QoS) has been always important but is not sufficient nowadays for the huge multimedia content. The Quality of Experience (QoE) investigation has also come to the front. The 3D stereoscopic technologies have developed significantly in recent years and measuring stereoscopic image quality experience

have been made by difference methodologies. Our results indicate that Gigabit Passive Optical Network (GPON) transport network is capable for 3D multimedia content transmission but the quality of watching is sensible to delivery changes.

Extraction of amplitude and phase noises from the measurement of a sinusoidal oscillator

Keywords: noise, signal processing, noise skirt, quadrature demodulation, sinusoidal oscillator

Using the modern analysis tool Matlab, amplitude and phase noises have been extracted separately from the measured time domain output voltage of a sinusoidal oscillator. Analyzing the auto and cross correlations of the extracted amplitude and phase noises, now we know how oscillator noise can be modeled for system analysis. We also point out that the reason of the noise skirt is correlation and not phase noise, as it is often believed. This work also offers a possibility to check validity of the ergodic hypothesis.

Role-oriented architectural model of sensor networks

Keywords: sensor network model, modularity, service-oriented architectures, design models

Nowadays, sensor networks are very important for supporting the environmental intelligent services. Medical, home care, traffic monitoring systems and a lot of other applications are using these special networks and devices to collect environmental information. It becomes more important to integrate theoretical models into the system planning phase. With them, the system development can be more precise and effective. The most relevant aspect in the system development is, to make the results reusable, and assure the interoperability between each other. In this paper we introduce a sensor network development model which is designed for planning and implementing adaptive and autonomous sensor networks.

Co-ordination of already implemented technologies with new business intelligence solutions

Keywords: business intelligence, decision support, integration, enterprise application integration

Business intelligence, its introduction and the inherent opportunities count as a very current topic in enterprise environment. When adopting a solution like business intelligence, the developer team could encounter several challenges, one of them being the integration of the new solution with the databases and platforms already in-use. This article investigates the compatibility issues.

Past and present of project financing

Keywords: project management, project financing

This article gives an overview of the project financing, presents its main characteristics and structure, and the areas in Hungary where it is necessary to implement the construction of project financing.

