

Hálózatok forgalmi stabilitásáról*

DR. CSIBI SÁNDOR

Budapesti Műszaki Egyetem
Híradástechnikai Elektronika Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

Hálózati szolgáltatások gyakorlati kérdéseiből kiindulva mutatunk rá a tömegkiszolgálási módszerek és — ezeken belül — a forgalmi stabilitás vizsgálatának jelentőségére. Helyi hálózati szolgáltatások példáján illusztráljuk hogyan jelentkeznek, miért érdekesek és hogyan tisztázhatók szabad hozzáférési adat- és beszéd szolgáltatások stabilitási kérdései. Ennek az utóbbi évtizedben felmerült témakörnek a problémái kapcsán emlékezünk vissza Kozma László egy 1947-ben közreadott laboratóriumi jegyzetére [1].

1. Gyakorlati kiindulópontok

Hálózati szolgáltatások gyakorlati értelmét elsősorban az adja, mennyire tudják ezek potenciális felhasználóik igényeit tömegesen, fennakadás nélkül kielégíteni.

Ennek a tömegkiszolgálási feladatnak egy fontos vonatkozására — nevezetesen várakozással bíró kiszolgálások stabil működési feltételeire — kívánunk rámutatni ebben az írásban.

Főleg azt szeretnénk röviden illusztrálni, egyáltalán hogyan merül fel, mikor fontos és időszerű ez a kérdés, és milyen összefüggésekre támaszkodva lehetséges a stabil kiszolgálás feltételeinek előzetes garantálása.

Példaként azt az utóbbi években előtérbe kerülő hálózati feladatot tekintjük, amikor elszórt felhasználók távbeszélési és telematikai igényeit együtt kell kielégíteni.

Ma már világszerte mindinkább a figyelem középpontjába kerül ez a kérdés. Pontosabban az, hogyan lehet egy-egy telephely, település vagy vidék telefonkészülékeit és személyes számítástechnikai eszközeit — közös felhasználók közeli technikára támaszkodva — tömegesen, kötetlenül és gazdaságosan kiszolgáltatni (1. ábra).

A következőkben — néhány alapfogalom tisztázása után — ezen a hálózati feladaton fogjuk várakozásokkal bíró kiszolgálások stabilitási kérdéseit is áttekinteni.

2. Tömegkiszolgálás:

takarékoskodás kockázatvállalással

Tömegkiszolgálási feladatok megoldásakor végeredményben mindig annak a ténynek a kiaknázására törekszünk, hogy a potenciális felhasználók tömegének egyidejűleg csupán egy kis töredéke igényli a szolgáltatást.

DR. CSIBI SÁNDOR

Az MTA levelező tagja (1979), egyetemi tanár (1973). A BME Híradástechnikai Elektronika Intézetének igazgatója (1975—). Távközlési Kutató Intézetben (1951—1973), tud. mts.

főmts., ov., főoszt. vez. A HTE elnökségi tagja. Gépészmérnök (1951), műsz. l. kandidátusa (1961), mat. tud. doktora (1973). Szakterülete: az információközlés és a feldolgozás statisztikai módszerei.

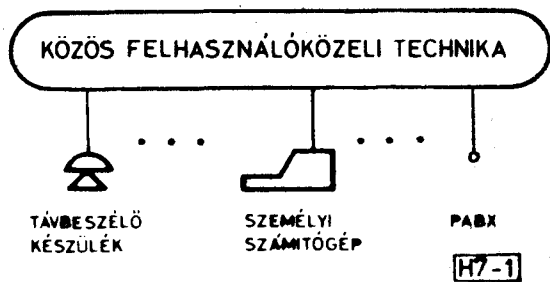
Ezt a tényt aknázza ki már régóta a távbeszélőközpontok gyakorlata akkor, amikor m előfizető csupán $n < m$ közös eszköz felhasználásával szolgál ki. (2. ábra),

A 2. ábrán látható séma azonban egyúttal jó szemléltető példája a mikroelektronika új, digitális távközlési lehetőségeinek is. Ez érthető, hiszen a mikroelektronikai eszközök fejlődésével vált csak igazán gazdaságossá a forgalomkoncentráció és a kapcsolási funkciók egy részének elosztása és előfizetőközeli elhelyezése: végeredményben, az egyéni előfizetői vonalak hosszának és az előfizetőnkénti ráfordításnak drasztikus lecsökkentése.

Természetesen, mihelyt valaki él a részleges egyidejűség megtakarítási lehetőségeivel, számolnia kell azzal, hogy a kiszolgáló rendszer esetleg túlterhelődik: ennek a lehetősége sincs most már kizárva. Végső fokon a megtakarítás és a kockázatvállalás ésszerű kompromisszumának a megtalálása a kiszolgáló rendszer tervezésének fő feladata.

3. Igények azonnali és késleltetett kielégítése

A tömegkiszolgálás tervezésének kulcskérdése az, hogy a felhasználó — az igény bejelentését követően — milyen gyorsan jut hozzá a szolgáltatás használatához. (3. ábra.)



1. ábra. Integrált távbeszélő- és személyes számítástechnikai szolgáltatás közös felhasználók közeli eszközökkel (PABX: alközpont-típusú nyilvános hálózati csatlakozás)

* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1984. november 1-i tudományos ülésén

Természetesen, bizonyos mértékig a mindenkori érdeklődésünktől függ, hogy pontosan mettől számítjuk egy új igény fellépését, és pontosan mit is tekintünk a szolgáltatás egyfolytában való igénybevételének.

Távbeszéléskor τ lehet, például, a hívószám lehívásának befejezési pillanata, $\theta^{(1)}(\tau)$ a hívási folyamat kezdő pillanata és $\theta^{(2)}(\tau)$ az a pillanat, amikor a hívó fél a kézibeszélőt újra visszateszi a helyére.

Párbeszédés adatszolgáltatás esetén τ jelentheti, például, azt az időpontot, amikor a felhasználó leüti a billentyűt a képernyő egy szövegsorának — vagy e sor egy részének — továbbítása céljából, $\theta^{(1)}(\tau)$ a sor tartalmát továbbító üzenetsomag tényleges leadásának kezdete és $\theta^{(2)}(\tau)$ az adás vége.

Persze, ha nem a szolgáltatás egészét, hanem valamilyen hálózati eljárás belső tulajdonságait vizsgáljuk, ettől többé-kevésbé eltérő definíciókkal is célszerű lehet élni. A továbbiakban egy-egy adatigény felmerülését mi magunk is csupán attól a pillanattól fogjuk számításba venni, amikor az éppen beírásra kerül a hálózat felhasználói csatlakozási pontján elhelyezett adattárba. Hiszen ebben az esetben nem a teljes szolgáltatás, hanem kizárólag csak a hálózat késleltetéseire leszünk kíváncsiak.

A telefónia történetének kezdetén a 2. ábra szerinti sémát főleg az „azonnal vagy soha”-feltétel mellett vizsgálták: feltételezték, hogy ha egyidejűleg n igénynél több jelentkezik, az n küszöböt meghaladó igénytöbblet egyszerűen elvész, torlódás esetén veszteség lép fel.

Ezzel a torlódáskezelési szabállyal a 2. ábra sémája a várakozást kizáró — tisztán veszteséges — tömegkiszolgálás iskolapéldájává válik.

Feltehetően már kezdetben sem gondolt azonban senki sem komolyan arra, hogy a túlcsoordulásba került felhasználók eleve lemondanak minden további hívásról. A telefónia első tervezői — józan ésszel — nyilván arra számoltak, hogy a hívás megismétléssel a túlcsoorduló, kielégítetlen igénylők minden különösebb intézkedés nélkül is elfogadható időn belül kiszolgálásra kerülnek, feltéve, hogy a telítés elég ritkán következik be és elég rövid ideig tart.

Mindezzel — végeredményben, már ebben a tisztán veszteséges esetben is — eljutottak ahhoz a kérdéshez, vajon a vizsgált kiszolgáló rendszer hosszú működés után is távol tudja-e magát tartani a szakszatlan telítéstől, vajon képes-e tartós működés során is a használható működési tartományon belül maradni, tud-e ebben az értelemben stabilan működni.

4. Mennyire viselhető el a késedelmes kiszolgálás?

Mindannyian — saját mindennapi tapasztalatainkból is — tudjuk, hogy a távbeszélés hívásfolyamataiba automatikusan közbeiktatott várakozások jóformán észre sem vehetők akkor, ha időtartamuk nem haladja meg egy-két számjegy tárcsázásához, vagy egy-két billentyű lenyomásához szükséges kézmozdulatok idejét. Az is tudott dolog, hogy egy-egy — ritkán felmerülő — újrAhívás még bőven elviselhető.

Valójában tehát a távbeszélésben is van a felhasználónak egy bizonyos tűrőképessége némi késleltetés

elviselésére, az igény felmerülése és a kiszolgálás kezdete között.

Ezért érthető, hogy a távbeszélőközpontok tervezésében már a korai időktől kezdve mertek élni várakozások közbeiktatásával, és kíváncsiak voltak arra is, hogyan lehet várakozásos kiszolgálások késleltetési idejét meghatározni.

Végeredményben, a távbeszélőközpontok gyakorlatában is már régóta egyaránt közhasználatban vannak veszteséges és várakozásos kiszolgáló rendszerek [2, 3, 4, 5, 6].

Sőt — egy idő óta — már az ismételt hívások módszeres vizsgálatának is sokoldalú gyakorlata és irodalma van [7].

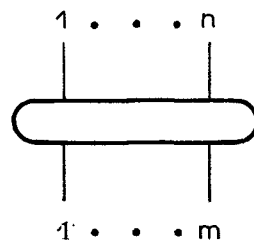
Míg azonban a telefóniában a várakozásos kiszolgálás már — többé-kevésbé — a beható vizsgálódások körébe tartozik, egészen más a helyzet, például, párbeszédés adatterminálok kiszolgálásakor. Ebben az esetben ugyanis egyáltalán nem ritka dolog az, ha a késleltetéssel kapcsolatos kérdések tisztázása már a kiszolgálás alapelveinek az első átgondolásakor kulcskérdésként merül fel; csak ezzel együtt kapunk megfelelő képet arról, hogy a szóban forgó módszer egyáltalán életrevaló-e.

Ennek a hangsúlybeli eltérésnek az az oka, hogy — legalábbis az adattovábbítás mindennapi körülményei között — a tervezőnek lényegesen több lehetősége van késleltetések közbeiktatására, mint ami a telefóniában egyáltalán szóba jöhet.

Gondoljunk csak arra, hogy egy képernyősor tartalmának a továbbításához — akár 1,2 vagy 2,4 Kbit/s sebesség mellett is — 0,4...0,8 szekundum idő elegendő, és ennek az időnek csak kis töredékére van szükség már akkor, ha 16, 32 vagy 64 Kbit/s sebességű, több felhasználós rendszert tekintünk. Ezzel szemben a képernyő előtt ülő felhasználót még jóformán semmit se zavarja az, ha a kurzor akár csak 2 szekundumnyi késedelemmel ugrik a következő sor elejére [8].

Mindezekből következik, hogy — különösen sok adatfelhasználó együttes kiszolgálásakor — bőven megengedhető lehet akár az egyfolytában továbbított üzenet teljes időtartamát messze meghaladó késleltetés is.

Az ezzel kapcsolatos kérdések az utóbbi évtizedben — a számítástechnika újszerű, úgynevezett szabad hozzáférésű hálózataival kapcsolatban — merültek fel először igazán élesen. Különösen akkor, amikor rájöttek arra, hogy egészen problémamentesnek tűnő eljárások is — valóban nagy forgalom esetén — lehetetlenülébe mehetnek, és ezért kiegészítő szabályzásra szorulnak.



[H7-2]

2. ábra. m előfizető kiszolgálása n közös eszközön át. ($n < m$)

Ez az oka annak, hogy a késleltetések felhalmozásával — a kiszolgálás ebben az értelemben vett stabilitásával — kapcsolatos kérdéseket a továbbiakban mi magunk is éppen az ilyenfajta adatszolgáltatások egy jellegzetes példáján fogjuk illusztrálni.

5. A késleltetések stabilitása

Természetesen, azt a tulajdonságot is, hogy az idő múlásával a késleltetések nem halmozódnak fel, különféle alapossággal lehet vizsgálat tárgyává tenni.

A következőkben — a késleltetés egyfajta globális jellemzőjeként — kizárólag a

$$D = \lim_{\tau \rightarrow \infty} E(\delta_\tau | \tau) \quad (1)$$

aszimptotikus átlagos késleltetést tekintjük [9, 10, 11, 13]. ($E(\cdot)$ a feltételes várható érték jele.)

Ezen a nyelven beszélve, akkor nevezzük a kiszolgáló rendszert stabilnak, a késleltetésekre nézve, ha

$$D < \infty. \quad (2)$$

Az ebben az értelemben vett stabilitás vizsgálatának, természetesen, csak akkor van egyáltalán értelme, ha a kiszolgálás késleltetéseit semmi sem korlátozza.

Itt az olvasó mindjárt felvetheti a következő kérdést: voltaképp kell-e a gyakorlatban egyáltalán korlátlan késleltetésű rendszerekkel foglalkozni? Hiszen a való életben a δ_τ késleltetés nyilván nem lehet akármekkora (vagy azért, mert valójában csak korlátolt tárkapacitásokkal dolgozhatunk, vagy mivel — a felhasználók korlátolt tűrőképessége miatt — eleve nincs értelme akármekkora késleltetésű kiszolgáló rendszerekkel foglalkozni).

Hamar be lehet látni azonban, hogy még a korlátozásokkal bíró kiszolgáló rendszereknek is a legtermészetesebb vizsgálati módja a korlátozás nélküli kiszolgálásra épül. Nevezetesen, célszerű, ha

- első lépésként csupán korlátlan késleltetésű kiszolgáló rendszert képzelünk el,
- próbáljuk tisztázni, hogy a vizsgált rendszer a forgalom korlátozásával stabil késleltetésűvé tehető-e,
- amennyiben a válasz pozitív, a forgalmat a stabil működési tartományon belül úgy korlátozzuk tovább, hogy a D aszimptotikus átlagos késleltetés a tűréshatár alatt legyen,
- végül a késleltetés gyakorlati korlátozását most már az így szerzett ismeretek alapján határozzuk meg.

Hasznos lehet ez a szemlélet még akkor is, ha a kiszolgáló rendszer bonyolult volta miatt csak szimulációval vagy működő mintarendszeren végzett kísérletezéssel tudjuk a hálózat forgalmi lehetőségeit és stabilitási kérdéseit vizsgálni.

A következőkben mi magunk azt mutatjuk meg, hogy gyakorlati szempontból fontos adatátviteli feladatokban is lehet a késleltetések felhalmozódását egyszerű összefüggésekre támaszkodva tisztázni, mégpedig akár együttes beszéd- és adatátvitel esetén is.

6. Szabad hozzáférés a közös hálózathoz. — A példa bevezetése

Példaként az 1. szakaszban már említett hálózati feladatot választjuk. Ennek megfelelően telefonkészülékek és számítástechnikai eszközök együttes kiszolgálását tekintjük, mégpedig a felhasználóközeli, helyi hálózatok jellegzetes körülményei között.

Tételezzük fel, hogy a felhasználók telefonkészülékeikkel vagy személyes számítástechnikai eszközeikkel a közös C csatornához tudnak fordulni. (4. ábra.)

Legyen a C csatorna két irányú, de egyidőben legfeljebb csak egyetlen felhasználó üzenetét legyen képes zavartalanul továbbítani. (Ebben az értelemben a C csatorna egycsatornás tömegkiszolgálást valósít meg.)

Ne érdekeljen most bennünket az, hogy pontosan milyen nagy a potenciális felhasználók száma. Sőt azt se zárjuk ki, hogy ez a populáció változik az időben: a potenciális felhasználók cserélődnek, újak érkeznek, mások esetleg örökre eltávoznak. Sőt, korábban egyáltalán nem regisztrált terminálok becsatlakozását se tiltsuk meg.

Csupán az érdekeljen bennünket, hogy azok a felhasználók, akik valóban a C csatornához fordulnak, mindenkor megfelelően kiszolgálásra kerüljenek.

Mindez a szabadság szokatlan lehet a nyilvános távközlés kialakult — és a jövőben is elsődleges jelentőségű — gyakorlatához képest. Mindez azonban egészen természetes és mindennapi abban a tömegkiszolgálási világban, amelyben, például, az utca üzletei és áruházai régóta nap mint nap dolgoznak.

Egészen magától értetődő, hogy a kiszolgáló a boltban a korábban ismeretlen vásárlók kiszolgálását is minden további nélkül elkezdi. Más kérdés, hogy a kiszolgálás csak akkor nyer sikeres befejezést, ha a vásárló a kiszolgálási folyamat közben megfelelően tisztázza magát: fizet vagy hitelképességét igazolja.

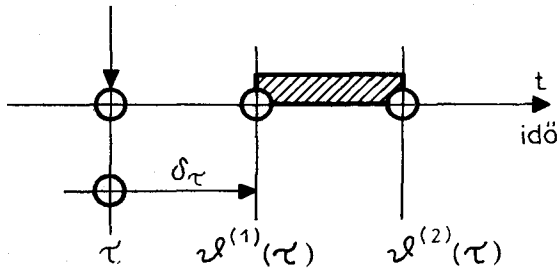
Ilyenfajta szolgáltatási kötetlenség esetén mondjuk azt, hogy a felhasználóknak szabad hozzáférésük van a hálózathoz.

7. A beszéd továbbítása előre kijelölt ütemben

Példánkban — a beszéd átvitelével kapcsolatban — a következő módszert vesszük alapul.

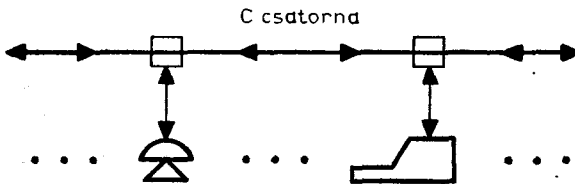
Minden egyes — éppen foglalt — telefonkészülékről 10 milliszekundumonként legfeljebb egy üzenetcsomagot továbbítunk; de kizárólag csak akkor, ha az nemcsak éppen vonalban van — azaz foglalt —, hanem tényleg beszél is; ahogy mondani szokás, éppen aktív. (Tehát nemcsak foglalt telefonkészülék híján, hanem beszédközi szünetekben sem továbbítunk beszédcomagot.)

Ez lényegében az az eljárás, amelyet mondhatni minden beszédszünetben való adatátvitel — az úgynevezett piggy-backing — követ, sajátosan csomagkommunikáció esetén. Szabad hozzáférésű helyi hálózatokat tekintve, az általunk ismert körben először Szabó Csaba, Dallos György és Gyórfi László vetett fel — és valósított meg kísérleti fokon — ilyenfajta, előre ütemezett beszédátvitelt.



H7-3

3. ábra. A τ időpontban felmerült igény a $[\varrho^{(1)}(\tau), \varrho^{(2)}(\tau)]$ intervallumban teljesül. ($\delta\tau$ a késleltetés)



H7-4

4. ábra. Telefonkészülékek és személyes számítástechnikai eszközök szabad hozzáférése a közös C csatornához

Tételezzük fel, hogy egy-egy 10 milliszekundumos időkeretben legfeljebb N foglalt telefonkészülék csomagjait lehet továbbítani. (Pl.: $N=10$.)

Óvatosságból azonban tételezzük fel, hogy még N egyidejűleg aktív beszélő sem tölti ki teljes egészében az időkeretet beszédcsomagokkal.

Tételezzük fel azt is, hogy a foglalt telefonkészülékek — minden egyes 10 milliszekundumos időkeretben — sorszámozással bírnak. (Ezt természetesen módosítani kell minden olyan alkalommal, amikor egy újabb telefonhívás lép fel, vagy amikor egy korábbi hívó fél visszateszi a kézibeszélőt a helyére.)

Tételezzük fel, hogy az éppen foglalt telefonkészülékek ennek a sorszámozásnak megfelelő sorrendben helyezik el aktív beszédcsomagjaikat a 10 milliszekundumos időkeretbe: a keret elejétől közvetlenül egymás után.

A beszédátvitelnek legyen prioritása. Eleve tiltsuk meg adatcsomag továbbítását olyan időszakokban, amelyek aktív beszédcsomagoknak vannak fenntartva; természetesen csak akkor, amikor valóban van továbbításra kész, aktív beszédcsomag.

Tételezzük fel, hogy a beszéd hívásfolyamatait is adatcsomagok továbbítják: tehát a hívást kezdeményező telefonfelhasználó is először adatfelhasználóként jelentkezik be a C csatornába. (Ez lehetővé teszi, hogy a telefonálni kívánók hozzáférése is ugyanolyan szabad legyen, mint amilyen szabad a hozzáférés adatfelhasználók esetén.)

8. Az adatfelhasználók hozzáférése a csatornához

Az adatfelhasználók minden új adatcsomagja esetén, újra meg újra, szabad hozzáférés megvalósítására törekedjünk. Ennek megfelelően először is eleve számítanunk kell arra, hogy az adatfelhasználók bármikor jelentkezhetnek igényeikkel a C csatorna felé.

Természetesen eleve lehetetlen, hogy ezeket az igényeket minden egyes esetben azonnal kielégítsük. Hiszen már két adatfelhasználó igénye is jelentkezhet olyan szorosan egymás mellett, hogy csomagjaik — azonnali továbbítás esetén — szükségképpen átlapolódnának.

Ezért — adatátvitel esetén — valamilyen előzetes eljárással gondoskodni kell arról, hogy minden egyes, szolgáltatásra igényt tartó adatterminál saját maga tudjon kikeresni magának valamilyen, mások által nem foglalt időköz abból a célból, hogy ott adatcsomagját — több-kevesebb várakozás után — továbbítsa.

Ezt a feladatot többféleképp is meg lehet oldani. A számítástechnika helyi hálózataiban igen elterjedt az a gyakorlat, hogy minden egyes terminál maga figyel, van-e a C csatornán éppen más felhasználó jelen, és addig várakozik esedékes csomagjának leadásával, amíg nem találja a C csatornát üresnek.

Természetesen még ebben az esetben sem lehetünk egészen biztosak abban, hogy nem kerül-e az elküldött adatsomag ütközésbe. Hiszen bizonytalanságot okoz az, hogy a terminálok között a terjedési idő nem nulla. Nem jelentenek azonban az emiatt szükségessé váló újraadások gondot, ha a csomagok ütközése elég ritkán következik be. (Az újraadáshoz természetesen már gondoskodni kell arról, hogy a vevő nyugtázza a csomag eredményes vételét.)

Ezt az eljárást a témakör szakirodalmában — szokásos megvalósítására való tekintettel — vivőérzékelésnek nevezik.

Mi a következőkben nem ezt az eljárást vesszük alapul. Együttes beszéd és adattovábbítás esetén ugyanis amúgy is eleve több jelzési és visszajelzési tennivalónk van. (Javasoljuk, hogy ezeket az olvasó maga gondolja végig a továbbiak során.) Így aligha vezet ügyetlenségre, ha a felhasználói adatsomagok leadási helyét minden egyes — e feladat megoldásában éppen érdekelt — terminál ugyancsak csomagok, nevezetesen rövid adatsomagok, továbbításával jelöli ki.

Ma már az idevágó eljárásoknak szintén gazdag irodalma van. Mi erre a célra az úgynevezett réselés, szegmenskénti eljárások egyikét vesszük alapul, nevezetesen Cübakov és Mihajlov bináris szimmetrikus fa-eljárását, ennek is a faágak végigjárásán alapuló, szekvenciális változatát [11].

A réselés abból áll, hogy eleve egy időbeosztást — réssorozatot — írunk elő. Ennek osztása éppen a rövid adatsomag hosszával egyenlő. (5. ábra.)

A szegmenskénti eljárások lényege az, hogy ezek az adattovábbítás során időben egymás után, egymáshoz csatlakozó szegmenseket jelölnek ki, saját maguk, a ténylegesen megfigyelt tények alapján. (Lényeges, hogy valamennyi — a csatornával éppen kapcsolatot tartó — terminál, saját megfigyelései alapján, ki tudja jelölni saját magának ezeknek a szegmenseknek a határpontjait.)

Minden egyes, újabb igényvel belépő adatfelhasználó legyen tisztában azzal, hogy várnia kell igénye kielégítésére, legalábbis a soron következő szegmens kezdetéig.

A szegmenskénti eljárások az idő mentén eleve lépésenként haladnak előre:

Minden szegmens elején valamennyi — éppen várakozó igényrel rendelkező — felhasználó egy-egy rövid csomagot ad le. Majd a visszajelzésekből megfigyeli, hogy milyen állapotba került a C csatorna, és — ezután — sorsolás eredményétől függően dönti el, hogy adjon-e rövid csomagot a következő, erre a célra rendelkezésre álló időrésben. Minden egyes adó a rés háromféle állapotát tudja megkülönböztetni. Ezek: a) üres, b) a leadott rövid csomagot zavartalanul vették, c) hibás volt a vétel, mivel egynél több rövid csomag került a csatornába.

A részletekkel kapcsolatban az eredeti dolgozatra utalunk [11].

További áttekintésünk szempontjából csak annyit kell tudni, hogy

- ilyen módon valamennyi — a szegmens elejétől várakozó — adatfelhasználó lehetőséget kap rövid adatsomagjának elküldésére;
- valamennyi felhasználó meg tudja figyelni, hogy maga a versenyzőtársak közül hányadikként tudott sikeres továbbításhoz jutni;
- valamennyi versenyző saját megfigyelései alapján el tudja dönteni, hogy még tart-e vagy már véget ért a rövid csomagok adásával kapcsolatos kísérletsorozat.

Lényeges, hogy — a várakozó igények száma alapján — igen éles felső és alsó becslést lehet adni a rövid csomagokkal kapcsolatos kísérletsorozat hosszára [11].

Tudni kell, hogy ebből az eljárásból a sorsolás minden további nélkül elhagyható. Elég — e helyett — az előző szegmenst egymás után felelni, és azt tekintetbe venni, hogy az éppen versenyben levő igény a megelőző szegmensben belül pontosan hol érkezett be. Pontosabban, ez semmi változást nem jelent akkor, ha az adatigények homogén Poisson-folyamat szerint érkeznek be.

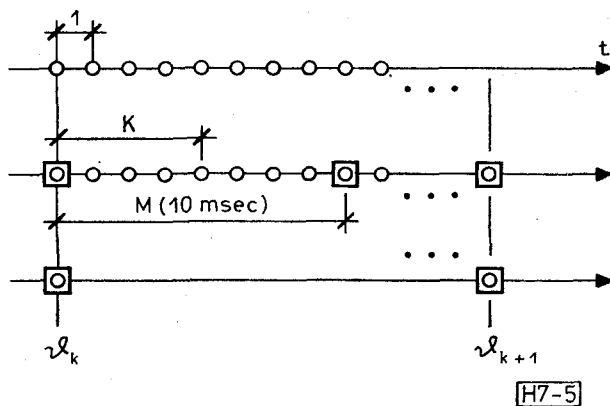
Mi a következőkben ezt a rövid csomagokkal kapcsolatos eljárást arra a célra fogjuk felhasználni, hogy a kísérletsorozat végével sorsozást adjunk valamennyi, éppen versenyben levő felhasználónak. E sorsozás alapján azután — a szegmens további részében — ezek a felhasználók egymás után zavartalanul leadhatják üzenetsomagjukat a csatornán át.

Ilyen módon végeredményben egyfajta helyfoglalásos eljárásra jutottunk [10, 12].

Természetesen a kísérletezés időpazarlással jár. Ennek a hatását azonban jelentéktelenre csökkenthetjük azzal, ha a felhasználói adatsomagok hosszát a rövid adatsomagok hosszánál lényegesen hosszabbra választjuk.

Célszerű mind a beszéd-, mind az adatátvitel hosszú csomagjait azonos hosszúságúnak venni. A továbbiakban, az egyszerűség kedvéért, a rövid csomagok (és így az időrések) hosszát válasszuk az időegységnek. Ezen a skálán a hosszú csomagok hosszúsága legyen: K . (K egész szám, $K \gg 1$. Például: $K=30$.)

Az elvek áttekintésekor célszerű valamennyi csomag hosszúságához mindjárt hozzászámítani azt a rövid időbeli ráhagyást is, amely alatt a csomagot küldő felhasználó más állomások visszajelzéseit — és a különféle további figyelmeztető jelzéseket — venni tudja. A ráhagyás nagyságában természetesen figye-



5. ábra. Időrések, keretek, szegmensek. (ϑ_k a k -adik szegmens kezdete)

lembe kell venni a terjedési időket és az azokkal kapcsolatos bizonytalanságokat is. (Ez a ráhagyás, természetesen, csak elég kis terjedési idők esetén jelent elviselhető idővesztéséget.)

Jegyezzük meg, hogy a réselés és a keretek figyelembe vételéhez nincs a rendszerben okvetlenül szükség központi óra alkalmazására. (Javasoljuk, hogy az olvasó maga gondolja át, hogyan tudják a terminálok saját maguk kijelölni, követni és frissíteni ezeket a beosztásrendszereket e nélkül is, csupán a rendelkezésünkre álló megfigyelésekre támaszkodva.)

9. A két eljárás összeillesztése

A továbbiakban egyszerűen a következő szabályt vesszük figyelembe [13]:

- az adattovábbítási szegmensek mindig a beszéd-továbbítási keretek elején kezdődjenek,
- a hosszú adatsomagok továbbítása pedig szegmensenként csak valamelyik K -adik időrés kezdetén kezdődjék (5. ábra).

Természetesen, ha egy keret elején valóban esedékes aktív beszédcsomagok továbbítása, a rövid csomagok adásával várni kell mindaddig, amíg a beszéd esedékes továbbítása be nem fejeződik.

Vegyük észre, hogy a fenti két szabály betartásához esetleg át kell ugrani időréseket egy-egy szegmens adateljárásai közben, a rövid csomagokkal kapcsolatos kísérletezést illetve a hosszú csomagok leadását követően. Az ebből eredő összes időpazarlás azonban szegmensenként kisebb, mint az időkeret 10 milliszekundumnyi hossza, és így az adattovábbítás számára még elviselhető, 2 szekundumos késleltetések mellett, nyilván, lényegtelen. Egyébként heurisztikusan várható, hogy ha valaki e két szabályt mégsem követi, akkor csak a vizsgálatnál előnyösebb adattovábbítási körülményekre jut.

A vizsgálat egyszerűsítése céljából — csupán e matematikai modellben — még azt is kössük ki, hogy ha egy szegmens annyira hosszú, hogy már több mint L beszédkeretet foglal magába az $(L+1)$ -edik kerettől kezdve a beszédcsomagok továbbítását eleve kizárjuk.

10. A felhasználók magatartásának tekintetbe vétele

Tételezzük fel, hogy az adattovábbítási igények homogén Poisson-folyamat szerint érkeznek λ_D hívás-sűrűséggel. Azt mondjuk, az átlagos adatforgalom: $S_D = \lambda_D K$.

A foglalt telefonkészülékek beszédjeleivel kapcsolatban csupán az aktív időszakok és a szünetek egymásutánjai érdekesek, ezek is csupán a beszédcsomagoknak megfelelő időbeli felbontásban.

Egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy minden egyes foglalt telefonáló — az egymást követő 10 milliszekundumos intervallumok sorozatában — független és azonos eloszlású valószínűségi változó sorozatnak megfelelően váltogatja aktív és passzív állapotait.

További jellemzéseinkben csupán az $S_S = KN/M$ maximális beszédforgalomra lesz szükségünk, valamint az $S = S_S + S_D$ mennyiségre, amelyet röviden integrált forgalomnak fogunk nevezni. (Az eredeti dolgozatban [13] az átlagos beszédforgalom mérlegelésével is foglalkozunk.)

11. Az adatszolgáltatás alakulását meghatározó folyamat

Tételezzük fel, hogy a k -edik szegmens elején ξ_k igény várakozik. Legyen α_k ugyanebbe a szegmensbe befoglalt aktív beszédminták aktivitási vektora. Magában az analízisben — egyszerűség kedvéért — az α_k vektor hosszát NL -re korlátozzuk. Nevezetesen, a beszédcsomagok továbbítását az $L+1$ -edik kerettől kezdve eleve kizárjuk akkor, ha az éppen vizsgált szegmens L -nél több beszédkeretet foglal magába. (Ez csak a valósághoz képest jelentéktelen számú beszédcsomag elvesztését jelenti akkor, ha L értékét elég nagyra választjuk.)

Ezt tekintetbe véve a beszélők aktivitása a k -edik szegmens alatt legfeljebb L bináris értékű aktivitási jelzőszámmal tekintetbe vehető: α_k lehetséges értékei legfeljebb LN bitből álló, bináris vektorok.

A k -edik szegmens állapotát a

$$\zeta_k = (\xi_k, \alpha_k)$$

kettős, az adatkiszolgálás időbeli alakulását a

$$\zeta = \{\zeta_k; k=0, 1, \dots\}$$

folyamat határozza meg.

Be lehet látni, hogy (a) ζ homogén Markov-lánc, valamennyi átmenetét nézve pozitív átmeneti valószínűségekkel, (b) mégpedig olyan Markov-lánc, amely az alábbi sajátossággal bír:

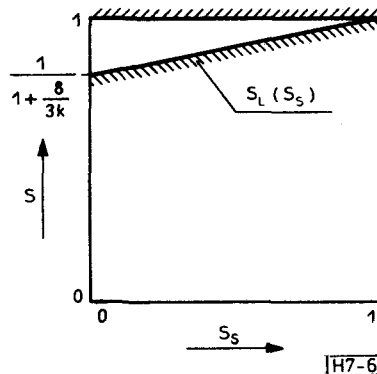
$$E(\xi_{k+1} | \zeta_k) = A \xi_k + B. \quad (6)$$

Itt

$$A = \frac{S - S_S}{1 - S_S} \left(1 + \frac{8}{3K} \right) \geq 0 \quad (7)$$

és

$$B = \frac{S - S_S}{1 - S_S} \frac{M}{K} \geq 0. \quad (8)$$



6. ábra. S_L alsó korlát a stabil késleltetésekkel megvalósítható integrált forgalom szuprémumára

Kritikus kérdés, természetesen, hogy a ζ Markov-lánc az idő előrehaladásával pozitív határvalószínűségekhez tart-e, vagy szétterül az állapottéren. Az előbbi eset akkor következik be, ha ζ ergodikus. A kiszolgáló rendszer működési szabályai biztosítják, hogy ergodikus ζ esetén a (2) stabilitási feltétel szükségképpen teljesül [13, 11].

A D késleltetéssel kapcsolatos stabilitás feltételeinek a tisztázásához tehát azt a kérdést kell eldönteni, milyen körülmények között is biztosítható a ζ Markov-lánc ergodicitása.

12. Mi a legnagyobb még stabilan kiszolgálható forgalom?

Be lehet bizonyítani [13], hogy a ζ Markov-lánc ergodikus, és így az adatszolgáltatás a D késleltetést tekintve stabil akkor, ha

$$A < 1. \quad (9)$$

(9)-ből és (7)-ből következik, hogy adott S_S beszédforgalom esetén $A < 1$, és így ζ ergodikus (tehát az adatszolgáltatás a késleltetésre nézve stabil), ha

$$S < \frac{1 + (8S_S/3K)}{1 + (8/3K)}$$

Tehát tetszőleges L értékre (így akár $L = \infty$ esetén is)

$$S_L = \frac{1 + (8S_S/3K)}{1 + (8/3K)}.$$

egyfajta alsó korlát a stabil késleltetésekkel még megvalósítható integrált forgalom szuprémumára (6. ábra).

Az, hogy ez az alsó korlát gyakorlati szempontból nem túl tág, az 1. táblázat példájából látható. Hiszen — jellegzetes csomaghossz esetén — még ezzel számolva is az egységnyi forgalomhoz igen közeli becslésekre jutunk.

Megnyugtató, hogy már ennek az alsó korlátnak a beszédforgalomtól való függése is elég jól tükrözi azt a tényt, hogy minél nagyobb a beszédforgalom aránya, annál kevésbé érvényesülnek a véletlen adathozzáférés időpazarlásai: az $S(S_S)$ függvény monoton nő. (Vegyük észre, hogy a szabványos PCM-távközlésben: $S=1$).

Példa (A hosszú csomagok hossza: $K=30$)

S_S Maximális beszédforgalom	S_L Alsó korlát a stabil késleltetésekkel még megvalósítható integrált forgalom szuprémumára
0	0,92
0,6	0,97
1	1

Természetesen a valóságban a kiszolgáló rendszert megfelelő biztonsággal a stabilitási határ alatt kell működtetni. Pontosabban, a stabilitási tartományon belül is, a késleltetésre vonatkozó felhasználói tolerancián belül kell maradnunk. (A vizsgálat ebbe az irányba való folytatásával kapcsolatban a [11] és [13] hivatkozásra utalunk.)

A rendszer megengedett legnagyobb S terhelésének a meghatározásakor arra is gondolni kell, hogy a D késleltetés kis mértékű forgalmi túlterhelés esetén se növekedjék lehetetlen értékre.

Mindent egybevetve, végeredményben számolni kell azzal, hogy például, $S_S=0,6$ esetén jól elviselhető késleltetésre csak mondjuk $S \leq 0,7$ alkalmazásával jutunk.

13. Miért választottam éppen ezt a témát a Kozma-emlékülésre?

Az ötvenes évek elején került a kezembe Kozma László laboratóriumi jegyzete a telefonforgalom méretezési kérdéseiről [1]. Ez az írás az — akkor még éppen csak újjáéledő — hazai ipari életben igen figyelemre méltó törekvést képviselt. Kozma László — akkor még mint ipari vezető — a távbeszélő-technika hazai fejlesztőmérnökeit ezzel, és más akkori kiadványaival is, szakterületük módszeres művelésére kívánta ösztönözni.

Ezzel a mostani írással Kozma Lászlónak erre az — ipari iskolatevékenységet felkaroló — tevékenységére kívánok visszaemlékezni, mély érzelmekkel és tisztelettel.

Egy újkeletű hálózati-tömegkiszolgálási feladat kapcsán azt kívántam érzékeltetni, hogy a telefoniai forgalomtervezés munkaterülete idő közben hogyan terebélyesedett tovább, és az új törekvések hogyan is illeszkednek bele a távközlés sajátos — és klasszikus problémáiban is egyre gazdagodó — világának egészébe.

IRODALOM

- [1] Kozma László: Telefonközpontok méretezése Sokszorosított jegyzet. Standard. Budapest, 1947.
- [2] Kozma László és Frajka Béla: Távbeszélő technika I. 2.5. szakasz. Tankönyvkiadó, 1971.
- [3] Frajka Béla és Ruppenhal Péter: Távbeszélő központok kapcsolástechnikája. 2.3 szakasz. J5-1188. Tankönyvkiadó, 1976.
- [4] Lajtha György: Távközlő hálózatok elmélete és tervezése. Műszaki Könyvkiadó, 1971.
- [5] Sallai Gyula (szerk.): Távközlő hálózatok forgalmi tervezése. Közlekedési Dokumentációs Vállalat, 1980.
- [6] Horváth Gyula: A telefonforgalom matematikai modellje. 5.13. szakasz. Izsák Miklós (szerk.): Távközléstechnikai kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, 1979.
- [7] Gosztöny Géza: Traffic problems in subscriber-to-subscriber dialog. Proc. XVII., 1—45. ITU. Teletraffic Engineering Seminar. Istanbul, 1980. Magyarul: Híradástechnika, 31. évf. 10. sz. 387—397, 1980.
- [8] Dallos, G., Szabó, Cs.: Simulating electronically the performance of a low rate multiple access radio channel. Proc. Sixth. Coll. on Microwave Com. Publ. House. Hung. Ac. Sc., Vol. 1., J-3/18.1., 1978.
- [9] Kleinrock, L.: Sorbanállás kiszolgálás. 2.1. szakasz. Műszaki Könyvkiadó, 1979.
- [10] Dallos, Gy. és Szabó Cs.: Hírközlő csatornák véletlen hozzáférési módszerei. Az elektronika legújabb eredményei. Akadémiai Kiadó (megjelenésben).
- [11] Цыбаков, Б. С., Мухайлов В. А.: Свободный синхронный доступ пакетов в широкополосный канал с обратной связью. Проблему передачи информации, Том 14, вып. 4., 32-59, 1978.
- [12] Цыбаков, В. С., Михайлов, В. А.: Множественный доступ с резервированием. Проблемы передачи информации, том XVI. вып. 1., 50-76, 1980.
- [13] Csibi, S.: On the stability of random access data communication during the time left by speech packets. Preprint. BME-HEI 1984. (Submitted to Problems of Control and Information Theory.)