

## Mobil hálózatok véges forrású modellezése spectrum renting és handover hívások használatával

### A queueing model for Spectrum Renting and handover calls in Mobile Cellular Networks

Tamás Bérczes<sup>a</sup>, János Sztrik<sup>a</sup>, Jinting Wang<sup>b</sup>, Xuelu Zhang<sup>b</sup>, Fang Wang<sup>b</sup>, Ádám Horváth<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem

{berczes.tamas, sztrik.janos}@inf.unideb.hu

<sup>b</sup> Beijing Jiaotong University

jtwang@bjtu.edu.cn, zhang\_xuelu@163.com, 12118402@bjtu.edu.cn

<sup>c</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem

horvath@inf.nyme.hu

**Absztrakt:** Az elmúlt időkben a mobil hálózatok terheltségének növekedésével párhuzamosan egyre növekedett a téma kutatásának fontossága is. Jelen publikáció keretében mobil hálózatok egy véges forrású modelljét mutatjuk be spektrum bérlés használatával. A modell elkészítésénél véges forrású rendszert használtunk, mely a hálózatot használó populációt szemlélteti. A modellünk figyelembe veszi az úgynevezett handover hívásokat is, ami a cellák között mozgó, éppen hívást bonyolító felhasználókat jelenti. A numerikus eredményeket a MOSEL-2 programcsomag segítségével számítottuk ki. Külön vizsgáltuk spektrum renting esetében az hasznát a frekvenciák bérlési költségének figyelembevételével is.

**Kulcsszavak:** mobil hálózatok, véges forrású rendszerek, visszatérési rendszerek

**Abstract:** Following the common practice applied in the theory of retrial queues for performance evaluation, this paper proposes a finite-source retrial queueing model to consider spectrum renting in mobile cellular networks, in which service providers may rent each other's unutilized frequency bands. The model incorporates switching servers on and off in groups, considers the finite size of the subscribers' population, their impatience, and has a queue for the subscribers who requested outbound service. We present a novel way to take into account the renting fee, which can be used to fine-tune the operation of the spectrum renting procedure. Numerical results show that, at high loads, it is still desirable to initiate a spectrum renting request, even if no discount is offered by the frequency bands' owners.

**Keywords:** mobile cellular networks; retrial queues; finite-source

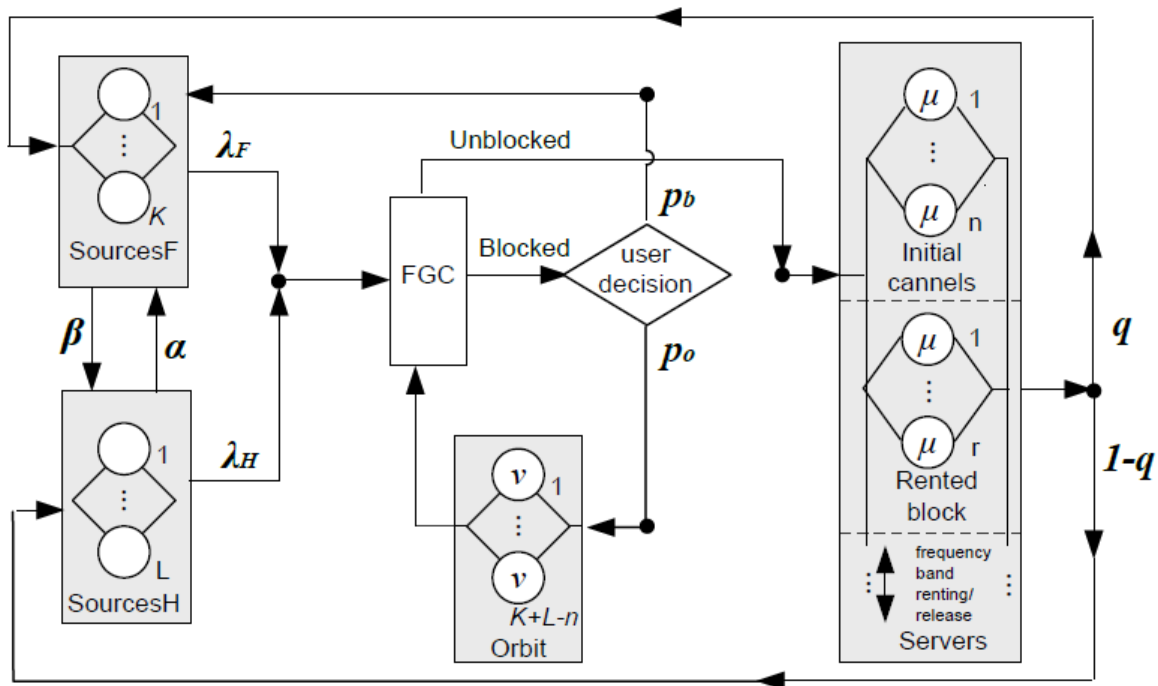
## 1. Bevezetés

Az elmúlt időkben a mobil hálózatok terheltségének növekedésével párhuzamosan egyre növekedett a téma kutatásának fontossága is. Nagyon nehezen becsülhető előre egy adott mobil cella terheltségének alakulása. Újabb frekvenciák vásárlása nagyon költséges, így abban az esetben ha ezek a frekvenciák kihasználatlanok, ezek felesleges extra költséget jelentenek plusz bevétel nélkül. Ellenkező esetben, ha nincs elegendő frekvencia a bejövő hívások egy része elutasításra kerül, ami a felhasználók elpártolását eredményezheti. Egy lehetséges megoldás a probléma kezelésére az úgynevezett spektrum bérlet használata.

A spektrum bérlet használatának alapötlete Mitola [1] cikkében található meg először. A spektrum bérlet lényege, hogy magas terheltség esetén, amikor a használatban lévő frekvenciák száma elér egy bizonyos előre definiált limitet, akkor a rendszer operátora megpróbál újabb frekvenciákat bérelni. Sikeres bérlet esetén, ha a rendszer terheltsége csökken és a szabad frekvenciák száma egy szinten előre definiált érték alá esik, a bérelt frekvenciát visszaadjuk. Így ideiglenesen megnövelhető a cellánk kapacitása [5].

## 2. Rendszermodell

Az 1. ábra a rendszer modellünket szemlélteti. A modell két véges forrást tartalmaz: a SourcesF az újonnan érkező hívások generálására alkalmas véges forrást tartalmazza, míg a SourcesH a handover hívások kezdeményezésére használt véges forrás.



1. ábra. Rendszermodell

Egy adott cella szempontjából a beérkező hívásokat két csoportba soroljuk:

- Új hívás: a hívás kezdeményezése a cellában történik. Az 1. ábrán a SourcesF jelöli az új hívások generálására alkalmas véges forrást. Minden felhasználó a SourcesF forrásból  $\lambda_F$  intenzitással generál új hívást.
- Handover hívás: Az eredeti hívás egy másik cellában indult, viszont a felhasználó mozgásának következtében a hívó cellát vált. Ilyenkor biztosítani kell a szolgáltatónak hívás folyamatosságát. Az 1. ábrán a SourcesH tartalmazza a handover hívások generálására alkalmas felhasználók véges forrását. Minden felhasználó a SourcesH forrásból  $\lambda_H$  intenzitással generál handover hívást.

A handover hívások védelmében az FGC (Fractional Guard Channel) szabályt alkalmazzuk. Ha egy bejövő hívás jóváhagyásra kerül automatikusan elfoglal egy szabad csatornát. A hívás időtartama exponenciális eloszlású  $\mu$  paraméterrel. A hívás befejezése után a használt csatorna felszabadul és a felhasználó visszakérül a SourcesF forrásba.

Ha a bejövő hívást a rendszer elutasítja, a felhasználónak két lehetősége van: i)  $p_o$  valószínűséggel csatlakozik az orbithoz, ahonnan  $\nu$  intenzitással újra próbálkozik szabad csatornát kapni; ii) feladja a próbálkozást, visszakérül a SourcesF forrásba.

Do és társai két küszöbértéket használt a spektrum bérlés implementálására [2]. Jelen modellünkben mi is ezt a módszert választottuk. Amikor a szabad frekvenciák száma egy adott határérték  $t_1$  alá esik, akkor a rendszer operátor megpróbál új frekvenciákat bérelni. A modellben  $p_r$ -el jelöljük annak a valószínűségét, hogy a bérlési próbálkozás sikeres volt. Így  $p_f = 1 - p_r$  annak a valószínűsége, hogy a bérlés sikertelen volt. Ilyenkor az operátor  $\nu_r$  intenzitással egészen addig próbálkozik a bérléssel, amíg sikeres nem lesz illetve amíg a szabad frekvenciák száma  $t_1$  határérték alatt van.

A bérelt frekvenciákat visszaadjuk abban az esetben, ha a szabad csatornák száma nagyobb lesz mint a  $t_2 + r$  határérték. Ilyenkor a rendszer egy  $\mu_r$  paraméterű exponenciális felszabadítási idő után visszaadja a bérelt frekvenciákat.

A handover hívások elutasításának minimalizálására a modellünkben az FGC szabályt alkalmaztuk [3],[4],[6]:

- LFGC (Limited average FGC)

$$\beta_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq i \leq N_j - \lfloor g \rfloor - 2, \\ 1 - g + \lfloor g \rfloor & \text{if } i = N_j - \lfloor g \rfloor - 2, \\ 0 & \text{else.} \end{cases}$$

- NPS (Non prioritization Scheme), ahol  $\beta_{i,j} = 1$

ahol a használt jelöléseket az 1. táblázat mutatja,

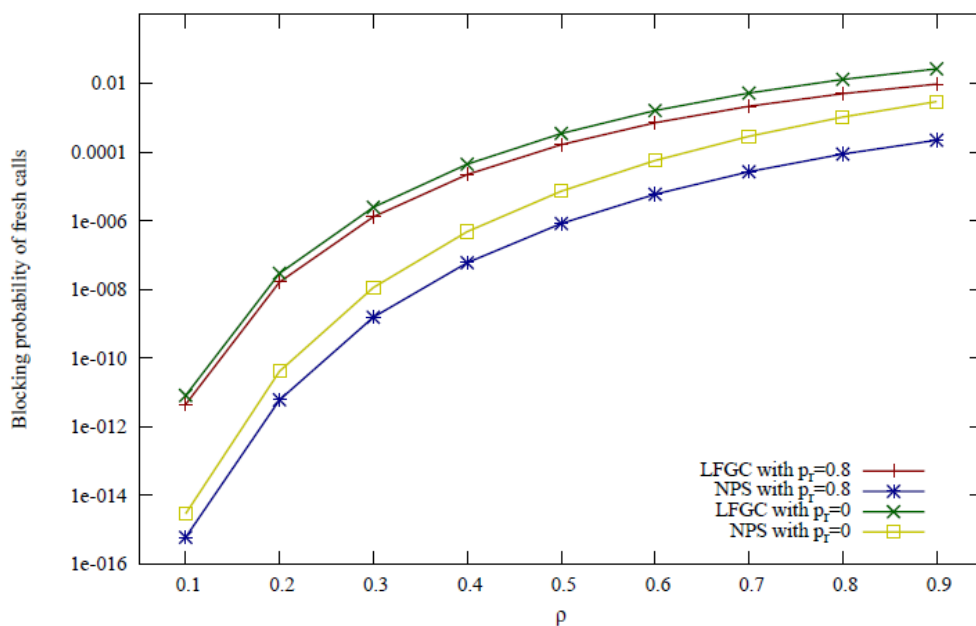
I(t)	A foglalt csatornák száma
J(t)	A bérelt frekvencia blokkok száma

$\beta_{i,j}$	Egy hívás elfogadása ha $I(t)=i$ és $J(t)=j$
$n$	A saját csatornák száma
$N_r$	A bérelt frekvencia blokkok száma
$N_j$	Az elérhető csatornák száma
$g$	A védett csatornák száma

1. Táblázat. Jelölések

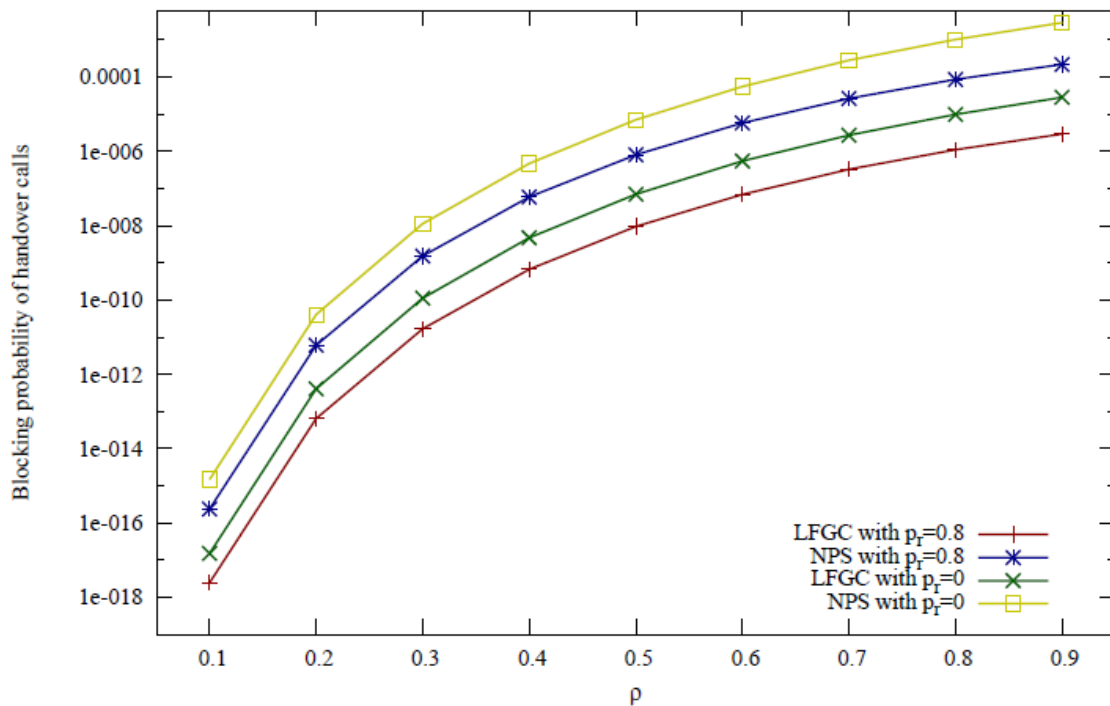
### 3. Numerikus eredmények

A modellt leíró folytonos idejű Markov lánc állapottere nagyon nagy, ezért az egyensúlyi egyenletek felírását és megoldását a MOSEL-2 program segítségével végeztük el [7]. A 2. táblázatban összefoglaltuk a használt paraméterek listáját. A következő grafikonokon láthatunk néhány numerikus eredményt.



2. ábra. Új hívások blokkolási valószínűsége a normalizált forgalmi intenzitás függvényeként

A 2. ábrán az új hívások blokkolásának valószínűségét látjuk a normalizált forgalmi intenzitás függvényeként.  $p_r=0$  azt az esetet mutatja, amikor nincs frekvencia bérlet. Látható, hogy az intenzitás növelésével a blokkolási valószínűségek nőnek, valamint szignifikáns eltérés figyelhető meg abban az esetben ha használunk frekvencia bérletet illetve ha nem. Szintén megfigyelhetjük, hogy az új hívások esetében nagyobb blokkolási valószínűséget kapunk, ha használunk védett csatornákat a handover hívások esetében.



3. ábra. Handover hívások blokkolási valószínűsége a normalizált forgalmi intenzitás függvényeként

A 3. ábrán a handover hívások blokkolásának valószínűségét látjuk a normalizált forgalmi intenzitás függvényeként.  $p_r=0$  azt az esetet mutatja, amikor nincs frekvencia bérlés. Hasonlóan a 2. ábrához az intenzitás növelésével a blokkolási valószínűségek nőnek. Látható továbbá, hogy spektrum bérlés használatával a blokkolási valószínűségek csökkenthetők. Szintén megfigyelhetjük, hogy a handover hívások esetében a blokkolási valószínűségek kisebbek, ha használunk védett csatornákat a handover hívások védelmében.

Normalizált forgalom intenzitás	$\rho_0$	[0.1..0.9]
Új hívások érkezési intenzitása	$\lambda_F$	
Handover hívások intenzitása	$\lambda_H$	
A SourceF mérete	K	100
A SourceH mérete	L	50
A védett csatornák száma	g	2.9
A visszatérés intenzitása	$\nu$	1
A blokkonkénti csatornák száma	r	8
Saját csatornák száma	n	16
Átlagos hívási idő	$1/\mu$	1/53.22
Spektrum bérlési küszöbérték 1	$t_1$	3
Spektrum bérlési küszöbérték 2	$t_2$	6
Bérlés sikerességének valószínűsége	$p_r$	

2. Táblázat. Paraméterek

#### 4. Köszönetnyilvánítás

Bérczes Tamás publikációt megalapozó kutatása a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Horváth Ádám publikációt megalapozó kutatása a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### Irodalomjegyzék

- [1] J. Mitola III, “Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications” in *Mobile Multimedia Communications, 1999. (MoMuC’99) 1999 IEEE International Workshop on*, pp. 3–10, IEEE, 1999.
- [2] T. V. Do, N. H. Do, and R. Chakka, “A new queueing model for spectrum renting in mobile cellular networks,” *Computer Communications*, vol. **35**, no. 10, pp. 1165–1171, 2012.
- [3] R. Guerin, “Queueing-blocking system with two arrival streams and guard channels,” *Communications, IEEE Transactions on*, vol. **36**, no. 2, pp. 153–163, 1988.
- [4] R. Ramjee, D. Towsley, and R. Nagarajan, “On optimal call admission control in cellular networks,” *Wirel. Netw.*, vol. **3**, pp. 29–41, Mar. 1997.
- [5] T. Bérczes and A. Horvath, “A Finite-Source Queueing Model for Spectrum Renting in Mobile Cellular Networks,” *Proceedings of ELEKTRO2014*, 2014
- [6] T. V. Do, “Solution for a retrial queueing problem in cellular networks with the fractional guard channel policy,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. **53**, no. 11–12, pp. 2058–2065, 2011.
- [7] P. Wüchner, H. de Meer, J. Barner, and G. Bolch, “A brief introduction to MOSEL-2,” in *Proc. of MMB 2006 Conference (R. German and A. Heindl, eds.)*, GI/ITG/MMB, University of Erlangen, VDE Verlag, 2006.