



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2013 00711**

(22) Data de depozit: **27.09.2013**

(41) Data publicării cererii:  
**29.05.2015** BOPI nr. **5/2015**

(71) Solicitant:  
• **UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN  
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI  
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:  
• **RAICIU COSTIN, INTRAREA EZĂRENI  
NR. 170, AP. 2, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,  
RO;**

• **NICULESCU DRAGOȘ ȘTEFAN,  
STR. ION URDĂREANU NR. 5, BL. P41,  
SC. A, ET. 5, AP. 16, SECTOR 5,  
BUCUREȘTI, B, RO**

(74) Mandatar:  
**SOCIETATE CIVILĂ PROFESIONALĂ DE  
PROPRIETATE INDUSTRIALĂ MILCEV  
BURBEA, STR.ȘTIRBEI VODĂ, NR.170,  
BL.10G, SC.1, ET.5, AP.18, SECTOR 1,  
BUCUREȘTI**

(54) **METODĂ ȘI SISTEM DE CONECTARE CELULARĂ CU  
CONSUM REDUS DE ENERGIE ȘI COSTURI REDUSE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un sistem de conectare celulară. Metoda conform invenției constă din următoarele etape: configurarea unui grup de dispozitive mobile în care cel puțin unul dintre dispozitive prezintă o conexiune celulară, configurarea unor legături WiFi sau Bluetooth între dispozitivele mobile din grupul menționat, partajarea în mod dinamic cel puțin a unei conexiuni celulare între dispozitivele mobile din grupul menționat, și utilizarea, de către dispozitivele mobile din grupul menționat, cel puțin a respectivei legături celulare partajate pentru trimiterea sau primirea de trafic, posibil în paralel cu propria legătură celulară. Sistemul conform invenției este constituit dintr-un grup de dispozitive mobile, în care cel puțin unul dintre dispozitive prezintă o conexiune celulară, din niște mijloace pentru asigurarea unor legături WiFi sau Bluetooth între dispozitivele mobile din grupul menționat, din niște mijloace pentru partajarea în mod dinamic cel puțin a unei conexiuni celulare între dispozitivele mobile din grupul menționat, și utilizarea, de către dispozitivele mobile din grupul menționat, cel puțin a unei legături celulare partajate pentru trimiterea sau primirea de trafic.

Revendicări: 17  
Figuri: 9

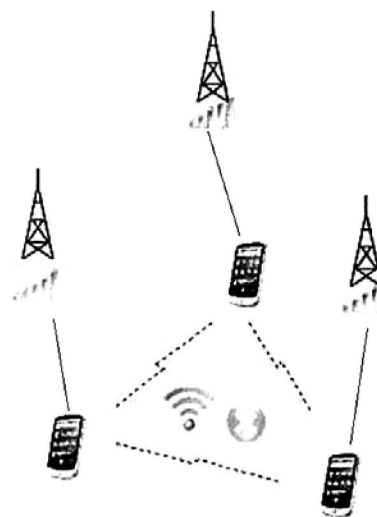


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



## METODĂ ȘI SISTEM DE CONECTARE CELULARĂ CU CONSUM REDUS DE ENERGIE ȘI COSTURI REDUSE

Invenția se referă la o metodă și la un sistem de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse.

### 1. Introducere

Dispozitivele mobile au devenit mai numeroase decât tradiționalele calculatoare tip desktop și o mare parte din succesul lor se datorează paradigmei „mereu conectat” pe care o favorizează: utilizatorii sunt în mod constant la curent cu cele mai recente știri, primesc e-mail-uri, navighează și folosesc chat-ul în timp ce se află în mișcare.

Conectivitatea este atât de importantă încât dispozitivele mobile acceptă multiple tehnologii wireless, inclusiv celulare (3G, LTE), WiFi (802,11) și Bluetooth. Aceste tehnologii oferă raporturi diferite cu privire la distanță, RTT și consum de energie per-bit. Legăturile WiFi oferă o lățime de bandă mare, RTT mic și consum redus de energie per-bit, dar acoperirea este neuniformă, cu zone mari neacoperite. Tehnologiile celulare au o acoperire vastă și asigură experiența mobilă „mereu conectat”, acesta fiind motivul pentru care sunt alegerea implicită pentru conectivitate. Dezavantajul constă în faptul că ambele consumă multă energie și au timpi dus-întors foarte mari (secunde), după perioade de inactivitate. Conexiunea Bluetooth pe de altă parte, este orientată spre interconectarea personală, cu distanță scurtă, putere redusă și conectivitate în lățime de bandă mică.

În mod ideal, legăturile celulare ar trebui să se caracterizeze printr-un timp dus-întors scurt, stabil și un consum de energie proporțional cu traficul. Ușor de spus, greu de făcut: timpul dus-întors ridicat este cauzat de semnalizarea pentru implementarea controlului centralizat al distribuirii capacității predominante în rețelele celulare. Alocarea centralizată a capacității se va menține, deoarece permite utilizarea considerabilă a resurselor și garantează ferm echitatea, acestea nefiind oferite de controlul asupra accesului distribuit (de exemplu, detectarea operatorului). În cele din urmă, un consum excesiv de energie este o consecință a încercării de a reduce la minim cantitatea semnalizării și costurile implicite ale acesteia. Inovațiile



din domeniul rețelelor celulare ajung la un echilibru între semnalizare și consumul de energie prin utilizarea cronometrelor de inactivitate configurate de furnizor sau dinamice [1; vezi listă referințe bibliografice] pentru a regla tranzițiile de stare radio ale mobilelor. Observăm că orice soluție bazată pe cronometru face presupuneri puternice cu privire la modelele de trafic și implică situații în care suportă o întârziere și/sau un consum de energie excesive/excesiv.

Prezenta invenție își propune să asigure o soluție inovatoare pentru a diminua deficiențele conexiunilor celulare. Soluția conform prezentei invenții nu se aplică dispozitivelor individuale, ci mai degrabă grupurilor de dispozitive mobile.

Într-un prim aspect al său, prezenta invenție asigură o metodă de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse, cuprinzând etapele de :

- configurare a unui grup de dispozitive mobile în care cel puțin unul dintre dispozitive prezintă o conexiune celulară;
- configurarea unor legături WiFi sau Bluetooth între dispozitivele mobile din grupul menționat;
- partajarea în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat;
- utilizarea de către dispozitivele mobile din grupul menționat a acelei cel puțin o legătură celulară partajată pentru trimiterea sau primirea de trafic, posibil în paralel cu propria legătură celulară.

Conform unor aspecte preferate, metoda conform invenției cuprinde următoarele caracteristici, luate individual sau în combinație:

- dispozitivele mobile din grupul menționat asigură mai multe legături celulare, și în care metoda poate cuprinde centralizarea traficului pe o singură legătură celulară, utilizând protocolul MPTCP, lăsând celelalte legături în stare de inactivitate;
- partajarea în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat poate fi realizată permanent sau numai atunci când se află în starea de consum ridicat de putere, algoritmul implicit de partajare constând în anunțarea de către un dispozitiv din grup a legăturii sale atunci când unul dintre propriile pachete părăsește interfața și interfața nu este deja partajată;
- anunțarea legăturii de către dispozitivul menționat include un timp de expirare  $t$  care indică dispozitivelor partenere din grup când să oprească transmiterea



*[Handwritten signature]*

traficului prin intermediul legăturii sale, timpul  $t$  fiind egal cu valoarea temporizărilor specifice DCH și FACH setate de operatorul mobil;

- metoda implică utilizarea unui algoritm de reciprocitate pe termen scurt prin care fiecare dispozitiv va dispune de un contor de evidență pentru fiecare vecin, indicând de câte ori permite vecinului să folosească legătura sa fără a oferi nimic în schimb;

- toate dispozitivele din grup acordă prioritate propriului trafic față de cel al vecinilor, implementarea prioritizării pentru traficul pe legătura ascendentă fiind realizată printr-o coadă de priorități, iar pe legătura descendentă prin prioritizare în rețeaua celulară sau de către furnizorul de servicii.

- metoda poate fi utilizată: la fața locului de către utilizatorii dispozitivelor mobile dintr-un grup care au încredere reciprocă, atunci când protocolul MPTCP este disponibil la toate serverele din Internet, fără să fie necesar un proxy; printr-un serviciu furnizor, unde utilizatorii se vor înregistra folosind un cod unic de identificare; printr-un serviciu acceptat de operator, pre-instalat pe dispozitivele mobile, în acest caz nefiind necesară nicio înregistrare specială, deoarece utilizatorul are o identitate unică dată de SIM și o cheie secretă comună cu operatorul.

- metoda include contabilizarea pe termen lung a cantității de date pe care o trimite sau primește fiecare dispozitiv mobil prin intermediul legăturii altui dispozitiv din grup, aceasta fiind realizată prin folosirea unui sistem de chei publice prin care atât dispozitivul care generează datele, cât și cel care le transportă, semnează pachetele cu cheile private respective astfel încât serviciul furnizor/operator poate contoriza în mod sigur contribuția și exploatarea de către fiecare dispozitiv.

Într-un alt aspect al său, prezenta invenție asigură un sistem de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse, implementând metoda prezentată mai sus.

Sistemul conform invenției cuprinde:

- un grup de dispozitive mobile în care cel puțin unul dintre dispozitive prezintă o conexiune celulară;

- mijloace pentru asigurarea unor legături WiFi sau Bluetooth între dispozitivele mobile din grupul menționat;

- mijloace pentru partajarea în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat;



- utilizarea de către dispozitivele mobile din grupul menționat a acelei cel puțin o legătură celulară partajată pentru trimiterea sau primirea de trafic.

Conform unor aspecte preferate, sistemul conform invenției cuprinde următoarele caracteristici, luate individual sau în combinație:

- dispozitivele mobile din grupul menționat asigură mai multe legături celulare, și în care este utilizat protocolul MPTCP pentru a putea centraliza traficul pe o singură legătură celulară, lăsând celelalte legături în stare de inactivitate;

- mijloacele de partajare în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat asigură o partajare permanentă sau numai atunci când se află în starea de mare putere, algoritmul implicit de partajare constând în anunțarea de către un dispozitiv din grup a legăturii sale atunci când unul dintre propriile pachete părăsește interfața și interfața nu este deja partajată;

- dispozitivul menționat din grup își anunță legătura, iar după un timp de expirare  $t$  indică dispozitivelor pereche din grup când să oprească transmiterea traficului prin intermediul legăturii sale, perioada de anunțare fiind egală cu valoarea cronometrului cozii al operatorului mobil;

- sistemul utilizează un algoritm de reciprocitate prin care fiecare dispozitiv din grup va dispune de un contor de evidență pentru fiecare vecin, indicând de câte ori permite vecinului să folosească legătura sa fără ca acesta să ofere nimic în schimb;

- toate dispozitivele din grup acordă prioritate propriului trafic față de cel al vecinilor, implementarea prioritizării pentru traficul pe legătura ascendentă fiind realizată printr-o coadă de priorități, iar pe legătura descendentă prin formare;

- prioritizarea (traficului) este implementată printr-un mijloc de monitorizare (*watchdog*) care verifică dacă performanțele sunt acceptabile la folosirea unui dispozitiv vecin.

- sistemul poate fi implementat: la fața locului de către utilizatorii dispozitivelor mobile dintr-un grup care au încredere reciprocă atunci când protocolul MPTCP este rulat în întregime prin intermediul Internetului, fără să fie necesar un proxy; printr-un serviciu furnizor, unde utilizatorii se vor înregistra folosind un cod unic de identificare; printr-un serviciu acceptat de operator, pre-instalat pe dispozitivele mobile, în acest caz nefiind necesară nici o înregistrare specială, deoarece utilizatorul are o identitate unică dată de SIM și o cheie secretă comună cu operatorul.



*[Handwritten signature]*

- sistem include mijloace pentru contabilizarea cantității de date pe care o trimite sau primește fiecare dispozitiv mobil prin intermediul legăturii altui dispozitiv din grup, fiecare dispozitiv adăugând pachetelor pe care le transmite un cod de autentificare a mesajului.

Alte obiective și caracteristici avantajoase ale prezentei invenții vor reieși din lecturarea descrierii detaliate a unui exemplu preferat de realizare a invenției, prezentat cu titlu ilustrativ și nu limitativ, cu referire la figurile anexate, în care.

Figura 1 prezintă într-o formă schematică ideea de bază a invenției, în care dispozitivele mobile din apropiere partajează reciproc conexiunile celulare prin intermediul legăturilor WiFi sau Bluetooth, în lățime de bandă redusă, cu RTT mare;

Figura 2 prezintă un grafic pentru un model de consum de energie 3G pentru telefonul Samsung Galaxy Nexus în rețea trimițând și primind 5 pachete ICMP de 1000 octeți fiecare;

Figurile 3a-3c prezintă grafice pentru consumul de energie al unui telefon Samsung Galaxy Nexus care generează trafic la rate diferite, prin intermediul interfețelor wireless diferite;

Figura 4 prezintă o comparație a eficienței de transmisie între WiFi, 3G și Bluetooth; datele sunt obținute pe baza măsurătorilor prezentate în Figurile 3(b) și 3(c).

Figurile 5a și 5b prezintă o comparație a traficului între telefoanele independente și sistemul conform invenției care centralizează traficul pe o singură legătură, reducând consumul de energie și întârzierea;

Figura 6 prezintă rezultatele simulării pentru sistemul conform invenției cu număr variabil de dispozitive și trei clase de aplicații;

Figura 7 prezintă grafice în care cronometrul cozii schimbă energia dispozitivului pentru semnalizare și RTT reduse (trafic similar web-ului);

Figura 8 prezintă distribuția consumului de energie pentru o sesiune de redare în flux de 5 minute;

Figura 9 prezintă o configurație experimentală a sistemului conform invenției;

Figura 10: Ping TCP simplu cu o perioadă de 0,5 2 pentru două dispozitive într-un sistem conform invenției.

Figura 11: măsurarea energiei în timpul încărcării paginii de rezultate ale căutării Google direct sau cu sistemul prezentat.



*[Handwritten signature]*

Figura 12: prezintă timpul necesar descărcării unei pagini web optimizate pentru mobil; sistemul conform prezentei invenții necesită cu 1220 ms mai puțin pentru 50%, respectiv cu 3980 ms pentru 90%.

Așa cum se poate vedea din Figura 1, ideea care stă la baza prezentei invenții este foarte simplă: dispozitivele mobile din apropiere trebuie pur și simplu să partajeze reciproc conexiunile celulare prin intermediul legăturilor WiFi sau Bluetooth. De îndată ce dispozitivul A utilizează propria legătură, legătura va efectua tranziția la starea de mare putere la care timpul dus-întors este scurt, iar consumul de energie este mare. În acest moment, dispozitivul va anunța această legătură dispozitivelor pereche. În timp ce oferta este activă, dispozitivele din apropiere care doresc să trimită trafic se pot folosi de conexiunea dispozitivului A. În acest fel, vor avea un timp dus-întors mai scurt și vor evita intrarea în regimul de energie ridicată. Dispozitivele partajează pe rând propria legătură pentru a asigura că împart costurile de conectivitate în mod echitabil în cadrul întregului sistem conform prezentei invenții. Este ușor de văzut de ce această soluție va funcționa atât timp cât cantitatea de trafic în sistem este suficient de mică, un singur dispozitiv suportând costurile de conectivitate la rețea.

Implementarea ideii de bază este mai complicată. Traficul dispozitivelor mobile trebuie să fie condus spre unul dintr-un set de schimb dinamic de legături celulare. În cazul în care o conexiune TCP este de lungă durată, migrarea de la o legătură la alta nu este posibilă, iar conexiunea se va întrerupe. Pentru a evita aceste probleme, folosim noul protocol standard pe căi multiple [2], care permite migrația optimă a conexiunilor de-a lungul legăturilor, precum și utilizarea legăturilor multiple pentru o singură conexiune. Pentru traficul în timp real, se fac, de asemenea, eforturi de standardizare, un exemplu fiind protocolul MPRTTP [3], care ar putea fi valorificate.

Partajarea de legături celulare ar putea duce la un consum inegal de energie, la facturi mai mari și la securitate deficitară. Prezenta invenție implementează o politică simplă de reciprocitate, care asigură echitatea energetică. Pentru a evita problema facturilor, prezenta invenție propune un sistem care doar măsoară tot traficul trimis de fiecare utilizator prin intermediul vecinilor săi și în numele vecinilor săi. Măsurătorile pot fi folosite pentru a supune la plată sau compensa utilizatorii în consecință. Tehnicile standard pot fi folosite pentru a rezolva problemele de securitate.

Sistemul conform prezentei invenții a fost implementat prin simulare și în practică pe telefoane Samsung Galaxy Nexus. Cu referire la Figura 2, simulările arată că sistemul conform prezentei invenții este foarte robust, echitabil și oferă beneficii pentru o gamă largă de modele de trafic. Experimentele noastre practice demonstrează că aplicațiile reale pot beneficia foarte mult ca urmare a utilizării sistemului conform prezentei invenții: ascultarea posturilor de radio online implică un consum de energie cu 25% mai mic într-un sistem conform prezentei invenții cu două dispozitive, iar descărcarea de pe pagini web tipice este în medie cu 1,2 s mai rapidă, respectiv cu 4,2 mai rapidă în percentila 90. Descărcarea aplicațiilor mobile este, de asemenea, mai rapidă, timpii necesari scăzând cu o treime.

## 2. CREAREA REȚELOR MOBILE ÎN PREZENT

În continuarea prezentei descrieri, vom discuta proprietățile de bază ale tehnologiilor radio utilizabile pe dispozitivele mobile de astăzi (celulare, WiFi și Bluetooth), încercând să înțelegem modul în care asigură modelele de trafic ale aplicațiilor comune.

**Legăturile celulare**, cum ar fi 3G și LTE, sunt disponibile pe scară largă din punct de vedere geografic, fiind interfața implicită a dispozitivelor. Consumul de energie depinde de starea legăturii conectate: atunci când legătura este inactivă, consumul de energie este aproape de zero. Atunci când dispozitivul trebuie să transmită sau să primească un singur pachet de dimensiuni tipice (de exemplu, 1KB), va trece într-o stare de mare putere. Tranziția durează câteva secunde și este costisitoare sub aspect energetic din cauza semnalizării cu stația de bază. Pentru a amortiza costul pentru multe pachete, soluția folosită în practică este ca dispozitivul mobil să rămână în starea de mare putere pentru o durată de timp predefinită după ce ultimul pachet a fost trimis (5-10 secunde, în funcție de operator). Când traficul trimis este redus, această coadă irosește energie valoroasă, consumând bateriile.

Pentru a înțelege importanța acestui lucru în practică, Figura 2 ilustrează puterea absorbită de un telefon mobil Samsung Galaxy Nexus în timp ce trimite un val de patru pachete ping consecutive printr-o rețea 3G. Regiunile de pe grafic etichetate A, B, C și D corespund: traiectoriei ascendente spre starea de mare putere INACTIVITATE → FACH (canal de transmitere) → CELL-DCH (DCH pe scurt – canal





dedicat), menținerii în stare DCH pentru un interval de timp de inactivitate, și traiectoriei descendente din nou spre starea de INACTIVITATE.

Toate transferurile relevante sunt efectuate în starea DCH de mare putere, prezentată ca regiunea B. Tranziția spre această stare durează aproximativ 2,32 s pentru traiectoria ascendentă (regiunea A), și 7,36 s pentru traiectoria descendentă (regiunile C și D) pentru acest operator 3G. Suma acestor valori pare să varieze ușor în funcție de oră, dar rămâne aproximativ în regiunea 5 s -10 s. Lungimea regiunii B depinde de cantitatea de date care urmează să fie transmise, iar în cazul de față se folosește un cronometru de inactivitate de 400 ms, dar acesta nu se vede în figură. Rețelele LTE se comportă similar. Există diferențe cantitative, deși consumul total de energie este mai mare, de ordinul 1-4W, în timp ce timpul de stabilire este puțin mai mic, între 0,5 s-1 s în practică [4, 1].

Acest comportament are două implicații esențiale pentru traficul interactiv: în primul rând, după o pauză, telefonul mobil trebuie să aștepte pe parcursul timpului de stabilire de 2,32 s înainte de a trimite *orice* trafic, și în al doilea rând, să piardă aproximativ 3004 mJ de energie să reducă activitatea (regiunile C și D). În plus, orice cantitate de trafic, cu o perioadă de mai puțin de 5-7 s, va menține probabil interfața radio în starea de consum ridicat, indiferent de rata reală de transfer.

De fapt, consumul de putere tinde să aibă un răspuns destul de uniform la creșterea traficului. Dincolo de un anumit timp între sosiri, interfața 3G rămâne în starea de mare putere, iar variațiile de consum depind numai de costul mutării datelor în stivă (stack). Confirmăm acest lucru cu ajutorul măsurărilor din Figura 3(a), care coroborează valoarea puterii măsurate în faza B din graficul anterior: costul stării DCH + costul aplicației + costul de stivă al rețelei.

**Legăturile WiFi** oferă un debit mai bun decât omoloagele celulare, dar acoperirea lor este neuniformă. Cele mai multe telefoane utilizează permanent modul economic 802.11 în scopul întreruperii alimentării interfeței atunci când traficul care urmează să fie transferat este scăzut, consumul de energie în cazul WiFi fiind proporțional cu rata de trafic. Figura 3(b) reprezintă grafic consumul de energie pentru rate diferite, acesta fiind în cea mai mare parte liniar la rate de peste 200 Kbps. O parte din liniaritatea curbei este dată de costul stivei de software, astfel cum s-a prezentat recent în [5].

**Legăturile Bluetooth** (3.0 pentru telefoanele noastre) sunt disponibile numai la câțiva metri și oferă mai puțin de 2 Mbps în testele noastre. Pe de altă parte,



*[Handwritten signature]*

prezintă o curbă a consumului de energie care este liniară cu debitul obținut (Figura 3 (c)).

Pentru a sublinia diferența de modele de consum de energie între cele trei interfețe radio, în Figura 4 reluăm datele măsurate pentru a demonstra eficiența măsurată în Mbit/J. Eficiența nu se mărește pentru toate cele trei tehnologii din cauza amortizării. În cazul 3G, capătul aferent cozii este folosit mai eficace odată cu creșterea traficului, atunci când sunt gestionați mai mulți biți cu același cost. Pentru tehnologiile Bluetooth și WiFi, alimentarea circuitelor necesită proporțional mai mult decât stiva de software – în Figurile 3(b) și 3(c) linia nu trece de fapt prin 0. Trebuie remarcat că la rate mai mici, eficiența 3G este mult mai scăzută, din cauza setării ridicate a cronometrului de inactivitate în stările DCH și FACH. Dincolo de 750 Kbps, tehnologia WiFi este mai eficientă decât Bluetooth.

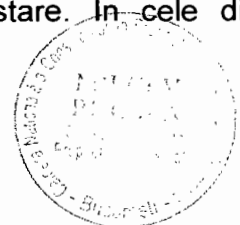
Pe scurt, cele trei tehnologii radio utilizabile pe dispozitivele mobile în prezent au capacități, modele de consum de energie și rapoarte ale performanțelor foarte diferite. Proprietățile acestora sunt sintetizate în tabelul de mai jos:

-	3G	Bluetooth	WiFi
Rată TCP date	2,5 Mbps	1,8 Mbps	21 Mbps
Energie element final	3004 mJ	0	0
RTT	90-180 ms	10 ms	2 ms
Timp stabilire	1,1 s-2,3 s	0 s	0,1 s (model PS)

**Aplicațiile mobile** se clasifică în două categorii mari. Aplicațiile de fundal se sincronizează periodic cu serverele, au rate scăzute și irosesc energie din cauza cronometrului cozii. Optimizarea consumului de energie pentru astfel de aplicații este un domeniu activ de cercetare, cu mai multe soluții propuse [6, 7, 8, 9, 1].

Aplicațiile interactive pot fi clasificate în alte trei categorii: redare în flux (VOIP, radio, jocuri on-line, redare video în flux), navigare pe web și descărcări de aplicații.

Aplicațiile de redare în flux folosesc legăturile celulare în mod ineficient, deoarece acestea consumă puțină lățime de bandă (zeci până la sute de Kbps) și au timpi scurți între sosiri de pachete (o secundă sau mai puțin). Navigarea pe web este, de asemenea, periodică: un val de trafic la descărcarea unei pagini determină o coadă costisitoare de energie, care, apoi, este urmată de o pauză relativ scurtă, care permite interfeței radio să intre în starea de INACTIVITATE. Când sosește următorul val, trebuie să aștepte câteva secunde tranziția de stare. În cele din urmă,



descărcările de aplicații folosesc viteza maximă a interfeței celulare pentru perioade scurte de timp. Aici, sunt de preferat viteze de descărcare mai mari, dar utilizatorii sunt limitați de capacitatea celulară.

Rularea acestor aplicații prin legături celulare conduce la costuri energetice mari și la performanțe generale slabe. În mod ideal, am vrea să rulăm toate aceste aplicații prin legături similare WiFi, care asigură proporționalitatea energiei și viteze mari, dar astfel de legături nu sunt disponibile tot timpul.

Prezenta invenție își propune așadar să asigure o soluție care să reducă energia celulară consumată, îmbunătățind, în același timp, experiența interactivă. O astfel de soluție poate fi aplicabilă în prezent și nu necesită investiții masive de infrastructură, cum ar fi acoperirea WiFi omniprezentă.

### **Sistemul de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse conform prezentei invenții**

Constatările cheie obținute în urma măsurărilor noastre menționate în paragrafele anterioare sunt după cum urmează:

- Legăturile celulare facilitează experiențe interactive optime doar în cazul stării de mare putere. În timp ce se află în această stare, acestea folosesc aceeași energie, indiferent de volumul de trafic.
- De cele mai multe ori, aplicațiile mobile comune nu folosesc legăturile celulare la întreaga capacitate.
- Legăturile WiFi și Bluetooth garantează proporționalitatea puterii și întâzieri mici.

Așa cum este prezentat în Figura 5 sistemul conform prezentei invenții centralizează traficul pe o singură legătură, reducând consumul de energie și întâziera. Energia consumată de traficul efectiv este reprezentată cu bare roșii și negre, iar energia irosită este reprezentată cu gri.

Luată împreună, aceste constatări sugerează o soluție evidentă: putem rezolva problemele conexiunilor celulare prin reunirea dispozitivelor mobile apropiate pentru a forma un sistem de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse. Sistemul conform prezentei invenții permite dispozitivelor să utilizeze conexiunea celulară ale celorlalte dispozitive prin transmiterea traficului prin legături WiFi sau Bluetooth mai puțin costisitoare. Folosind sistemul conform prezentei



*[Handwritten signature]*

invenții, dispozitivele pot partaja în mod dinamic conexiunile celulare restului grupului lor pentru o perioadă anunțată. În timp ce anunțul este valabil, dispozitivele vecine au posibilitatea de a alege între utilizarea propriei legături și utilizarea legăturii partajate pentru trimiterea sau primirea de trafic.

Sistemul conform prezentei invenții permite dispozitivelor să centralizeze traficul pe o singură legătură celulară, reducând atât consumul de energie, cât și întârzierile la nivelul tuturor dispozitivelor. Centralizarea apropie legăturile celulare mai mult de punctul lor optim de funcționare: o legătură va fi extrem de solicitată, în timp ce altele vor fi inactive.

Conceptul este prezentat în Figura 5. Utilizatorul negru ascultă radio pe Internet, în timp ce utilizatorul roșu navighează pe web. Separat, ambii utilizatori își mențin legăturile celulare ocupate în cea mai mare parte a timpului (Figura 5.a), în ciuda frecvenței scăzute de date. În plus, utilizatorul roșu înregistrează întârzieri mari la accesarea fiecărei pagini, deoarece legătura sa trebuie să facă tranziția de la starea de INACTIVITATE la cea de DCH. Prin centralizarea traficului pe o singură legătură, putem lăsa celelalte legături în stare de INACTIVITATE tot timpul; astfel, consumul total de energie este redus la aproximativ jumătate. Mai mult, întârzierea cu care se confruntă utilizatorul scade, deoarece tranzițiile de stare sunt, de cele mai multe ori, inutile.

Dispozitivele mobile utilizează protocolul TCP [2] pe căi multiple (Multipath) pentru a conduce în mod dinamic traficul pe o legătură sau un subset de legături disponibile. Într-adevăr, sistemul conform prezentei invenții adună laolaltă legăturile celulare, permițând multe căi de optimizare. Modul cel mai simplu de optimizare este prin lățimea de bandă: un dispozitiv poate utiliza lățimea de bandă a unui vecin, atunci când acesta din urmă nu o folosește, sporind astfel viteza de descărcare și îmbunătățind experiența utilizatorului. În restul acestui capitol vom descrie în detaliu modul de funcționare a sistemului conform prezentei invenții.

### 3.1 Funcționarea de bază

Pentru a folosi sistemul de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse, conform prezentei invenții, utilizatorul trebuie să se conecteze mai întâi la alte dispozitive din apropiere. Există o serie de tehnologii care se pot utiliza în acest scop:



- **WiFi ad-hoc** este tehnologia preferată, deoarece favorizează funcționarea cu dispozitive pereche în adevăratul sens al cuvântului și garantează viteze mari; din nefericire, driverele WiFi pentru mobile nu acceptă tehnologia ad-hoc.
- **Bluetooth** este următoarea opțiune: este eficientă energetic, însă acceptă doar conexiuni punct-la-punct (point-to-point), așadar, va fi dificilă crearea unor grupuri mari de dispozitive din cauza numărului mare de conexiuni necesare. În plus, Bluetooth are viteze relativ mici, iar conectarea necesită contribuția utilizatorului: utilizatorii vor trebui să își dea consimțământul în mod explicit atunci când dispozitivul dorește să formeze un sistem conform prezentei invenții cu un dispozitiv necunoscut.
- **Modul hotspot WiFi** (sau WiFi direct) în care un dispozitiv acționează ca punct de acces, iar celălalt drept client. Acest mod este recunoscut pe scară largă și oferă viteze mari. Dezavantajul constă în caracterul asimetric al configurației, dat fiind că punctul de acces va consuma mai multă putere (200 mW pe Galaxy Nexus).

**Anunțurile.** Odată ce dispozitivul s-a conectat la un sistem conform prezentei invenții poate partaja conexiunea celulară altor dispozitive. O opțiune simplă este partajarea permanentă a conexiunii, dar acest lucru poate consuma rapid bateria dispozitivului. O opțiune mai bună este partajarea legăturii numai atunci când se află în starea de mare putere: în acest fel energia suplimentară consumată pentru a transmite traficul vecinului este foarte mică, iar traficul va înregistra întârzieri scăzute. Algoritmii implicite de partajare constă în anunțarea de către dispozitivul A a legăturii sale atunci când unul dintre propriile pachete părăsește interfața și interfața nu este partajată deja. Anunțarea dispozitivului A include un timp de expirare  $t$  care indică dispozitivelor pereche când să oprească transmiterea traficului prin A.

Alegerea lui  $t$  afectează performanța sistemului conform prezentei invenții; un  $t$  mai redus implică o semnalizare mai intensă, necesară pentru anunțuri, și poate conduce, de asemenea, la comutări de trafic frecvente între dispozitive, anulând astfel economisirea de energie pe care sistemul conform prezentei invenții o poate oferi. De aceea folosim o perioadă de anunțare egală cu valoarea cronometrului cozii al operatorului mobil. Această valoare este cea mai mare care poate garanta că legătura se va afla întotdeauna în starea de mare putere la utilizarea de dispozitive pereche. Partajarea unei legături în INACTIVITATE ar fi un lucru negativ: înseamnă irosirea unei tranziții de stare și generează o întârziere crescută.



*[Handwritten signature]*

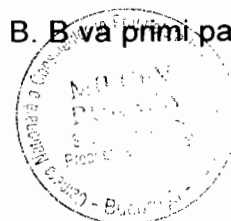
Algoritmul implicit de anunțare poate conduce la inechitate: în multe cazuri, întregul sistem de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse va ajunge să folosească legătura unui singur dispozitiv. Mai mult, este foarte simplu ca un dispozitiv să profite de resursele altor dispozitive, subminând sistemul conform prezentei invenții. Pentru a stimula dispozitivele să partajeze legăturile, adoptăm un algoritm simplu de reciprocitate: fiecare dispozitiv va dispune de un contor de evidență pentru fiecare vecin, indicând de câte ori permite vecinului să folosească legătura sa fără ca acesta să ofere nimic în schimb. Valoarea contorului descrește când vecinul folosește legătura într-o perioadă de anunțare și crește când dispozitivul folosește una din legăturile anunțate de vecin. Când contorul ajunge la zero, legătura nu mai este anunțată.

Valoarea inițială a contorului trebuie să fie pozitivă și reprezintă un parametru al algoritmului. Valorile mai mari sunt mai eficiente din punct de vedere energetic, deoarece reduc necesitatea comutării între legături; în același timp, pot crea, pe termen scurt, o lipsă de echitate în utilizarea legăturii. Acest raport este analizat în simularea din capitolul 4.

**Optimizarea traficului.** Fiecare dispozitiv are o listă de legături valide anunțate pe care le poate folosi pentru a optimiza diferiți parametri, după cum urmează:

- **Economisirea energiei:** dispozitivele trimit întotdeauna trafic prin legăturile anunțate; acestea folosesc propria legătură doar atunci când nu sunt disponibile alte legături. Aceasta constituie strategia implicită.
- **Maximizarea lățimii de bandă:** dispozitivele folosesc toate legăturile anunțate, precum și propria legătură, în încercarea de a maximiza debitul primit.
- **Minimalizarea timpului dus-întors (RTT):** strategia de economisire a energiei va reduce, de asemenea, RTT, deoarece legăturile anunțate sunt intenționat în starea de mare putere, ceea ce conduce la timpi dus-întors scurți. Cu toate acestea, legătura „locală” folosită pentru a ajunge la vecin adaugă, de asemenea, milisecunde prețioase timpului dus-întors; dispozitivele care tind spre RTT cel mai redus ar putea să prefere propria legătură în starea DCH în locul legăturilor anunțate.

Când dispozitivul A dorește să folosească legătura vecinului B, acesta va ruta pur și simplu pachetele prin intermediul legăturii „locale” spre B. B va primi pachetele



*[Handwritten signature]*

9

prin legătura locală, va schimba adresa și portul sursă (adică NAT – translatarea adresei de rețea) și le va plasa pe legătura sa celulară. Traficul de întoarcere care ajunge la B va fi supus procesului (invers) NAT, apoi va fi transmis la A. De fapt, B se comportă ca un punct de acces WiFi pentru mobile în relația cu A – și acest lucru este deja facilitat de cele mai multe platforme gata de funcționare destinate mobilelor. Noile conexiuni TCP vor funcționa perfect prin intermediul noii legături, fără ca aplicațiile să trebuiască să știe legătura cu ajutorul căreia este transmis traficul lor. Atât timp cât aceste conexiuni își duc misiunea la bun sfârșit înainte de încheierea perioadei anunțului, totul este minunat.

Cu toate acestea, conexiunile care durează mai mult decât perioada de anunțare vor fi anulate pur și simplu, deoarece acestea sunt atașate adresei IP a legăturii celulare anunțate. Aceasta este o limitare fundamentală a TCP: odată ce se creează o conexiune, este atașată adreselor punctelor finale. Dacă schimbăm adresele, conexiunea se va pierde. Deoarece 97% din traficul mobil se desfășoară prin intermediul TCP [10] și conexiunile principale sunt de durată, această limitare restricționează serios utilitatea sistemului conform prezentei invenții.

**TCP pe căi multiple.** Pentru a profita din plin de sistemul conform prezentei invenții folosim noul protocol standard Multipath TCP (MPTCP) [2]. Protocolul de control al transmisiei pe căi multiple este o versiune evoluată a TCP, care permite aplicațiilor nemodificate să utilizeze mai multe căi de rețea într-o singură conexiune de transport. Conexiunile TCP pe căi multiple sunt compuse din unul sau mai multe fluxuri secundare care apar sub forma conexiunilor TCP obișnuite pe fir. În mod implicit, MPTCP va folosi toate fluxurile secundare disponibile pentru a trimite date, favorizând legăturile care au rate de pierderi mai mici [11].

Cu MPTCP, punctele finale pot adăuga și elimina fluxuri secundare în orice moment pe durata conexiunii. Folosind această caracteristică, putem redirectiona orice conexiune (nouă sau în curs) pentru a folosi legăturile celulare sau cele din apropiere prin adăugarea de noi fluxuri secundare. Pentru a conduce pachetele conexiunii prin intermediul noului flux secundar există două opțiuni: putem închide fluxul celular secundar sau putem anunța punctul final aflat la distanță că fluxul secundar direct are prioritate mai redusă. Recurgem la cea de a doua opțiune, deoarece evită stabilirea și desființarea repetată a fluxurilor secundare prin legătura celulară a dispozitivului.



9

În mod implicit, toate fluxurile secundare transmise prin legătura dispozitivului sunt marcate ca având prioritate redusă atunci când sunt create. Fluxurile secundare rutate prin intermediul vecinilor sunt marcate diferit, în funcție de obiectivul optimizării.

În profilul de economisire a energiei, fluxurile secundare ale vecinilor sunt marcate ca având prioritate normală, astfel traficul le va prefera pe acestea în locul legăturilor directe; legăturile directe vor fi folosite numai atunci când toate legăturile vecinilor au parte în mod repetat de expirarea timpilor alocați.

În raport cu caracteristicile de lățime de bandă și RTT, toate fluxurile secundare vor fi marcate ca având prioritate redusă, tranziția între cele două moduri fiind realizată automat: dacă aplicația generează suficient trafic, vor fi utilizate toate fluxurile secundare, maximizând astfel lățimea de bandă; în caz contrar, planificatorul MPTCP va trimite pachetele prin fluxul secundar disponibil cu cel mai mic timp dus-întors.

**Prioritizarea.** Toate dispozitivele vor acorda prioritate propriului trafic față de cel al vecinilor pentru a asigura experiența optimă a utilizatorului. Implementarea prioritizării pentru traficul pe legătura ascendentă este simplă, utilizându-se o coadă de priorități; pe legătura descendentă este necesară formarea. Prioritizarea poate, în anumite cazuri rare, conduce la o performanță slabă pentru utilizatorii sistemului care rutează prin intermediul vecinilor. Noi folosim un ceas de gardă (watchdog) simplu care verifică dacă performanțele sunt acceptabile la folosirea unui dispozitiv vecin – în cazul în care nu sunt acceptabile, utilizatorul trece în modul de lățime de bandă, activând toate legăturile disponibile.

### 3.2 Considerente de implementare

Pentru a implementa sistemul conform prezentei invenții, noul software trebuie să fie instalat pe dispozitivele mobile, alături de MPTCP și de codul de implementare a logicii sistemului conform prezentei invenții. MPTCP este deja implementat și disponibil pe nucleul Linux, rulând pe dispozitivele Android. Sistemul nostru (prezentat în capitolul 5) rulează, de asemenea, pe Android și se bazează pe implementarea MPTCP.

Protocolul TCP pe căi multiple nu este implementat încă, astfel încât serverele nu îl acceptă. Pentru implementarea sistemului conform prezentei invenții avem nevoie, de asemenea, de un proxy MPTCP care acționează drept MPTCP pentru





pentru a crea tuneluri criptate spre proxy. Întregul trafic rutat prin dispozitivele învecinate va fi criptat în acest fel, împiedicând intrușii să citească, să modifice sau să retransmită pachetele.

Un alt atac este cel de tip refuz serviciu: un dispozitiv rău-intenționat poate încerca să împiedice un utilizator să folosească Internetul anunțând legături prin intermediul sistemului conform prezentei invenții și apoi refuzând să transmită traficul sau efectuând transmisia la o rată foarte scăzută. Mecanismul ceasului de gardă descris pentru prioritizare gestionează aceste cazuri, forțând dispozitivul să utilizeze profilul de optimizare a lățimii de bandă, evitând astfel vecinul rău-intenționat.

Un alt tip de atac este atacul Sybil [13]: un dispozitiv poate crea mai multe „identități”, jucându-se cu strategia reciprocității implementată de către sistemul conform prezentei invenții. În principiu, materialele criptografice stocate pe fiecare dispozitiv pot fi folosite pentru a evita astfel de atacuri – dar complexitatea poate să nu merite osteneala. Legăturile locale folosesc identificatoare de dispozitive care oferă deja un anumit grad de protecție împotriva atacurilor Sybil. Este posibilă schimbarea MAC WiFi cu o NIC (placă de interfață cu rețeaua) particularizată, dar falsificarea simultană a mai multor dispozitive este dificilă. Identitățile Bluetooth pot fi schimbate, dar fiecare nouă conectare trebuie să fie aprobată manual de către utilizator, reducând considerabil eficiența atacului.

### 3.4 Contabilizarea lățimii de bandă

Conexiunile celulare sunt costisitoare: majoritatea operatorilor percep utilizatorilor lor taxe per-bit. Sistemul conform prezentei invenții permite utilizatorilor să își folosească reciproc conexiunile; în mod implicit, acest lucru poate conduce la abuzuri, la creșteri ale facturilor și la utilizatori nemulțumiți.

Strategia reciprocității pe care o folosim reduce într-o oarecare măsură monopolul asupra lățimii de bandă, dar scopul său principal este de a asigura echitatea energetică mai degrabă decât echitatea octeților. Reciprocitatea per-octet este simplu de implementat, dar rezultatul ar fi un sistem extrem de restrictiv: utilizatorii ar trebui să ruleze aceleași aplicații în același timp pentru a obține avantaje.

Prezenta invenție propune ca echitatea lățimii de bandă să nu fie pusă în aplicare deloc. În schimb, sistemul conform prezentei invenții contabilizează cantitatea de date pe care o trimite sau primește fiecare utilizator prin intermediul vecinilor. Aceste informații vor servi furnizorului pentru a emite factura către utilizator

în funcție de utilizare, după cum procedează furnizorii de servicii celulare în ziua de astăzi.

Implementarea contabilizării depinde de scenariul de rulare. În scenariul operatorului, vrem doar să urmărim cantitatea de date trimise de un utilizator, indiferent de cine rutează datele. Această formă de contabilizare este deja implementată pentru conexiunile „directe”; tot ce trebuie să facem este să numărăm octeții transmiși de către alți utilizatori. Acest lucru ar trebui să fie simplu: operatorul poate pur și simplu număra octeții din tunelul utilizatorului, taxa utilizatorului și scadea suma corespunzătoare din contul aferent dispozitivului vecin.

Un furnizor de sistem conform prezentei invenții trebuie, de asemenea, să numere câți octeți a transmis fiecare utilizator pentru alți utilizatori. Tunelul este folosit pentru a atribui traficul titularului său (conform celor de mai sus); mai mult, dispozitivul de transmitere trebuie să-și atribuie meritul pentru traficul transmis. Acest lucru ar putea fi implementat solicitând fiecărui dispozitiv să adauge pachetelor pe care le transmite un cod de autentificare a mesajului.

#### 4. ANALIZA

În acest capitol vom recurge la simulări pentru a înțelege proprietățile de bază ale sistemului de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse, conform prezentei invenții, la parametri care nu pot fi controlați cu ușurință în practică. În capitolul 6 demonstrăm experimental că aceste avantaje pot fi obținute pe dispozitive reale.

A fost pus în aplicare un simulator simplu în timp discret, care să gestioneze cererile de trafic periodice de la dispozitive. Pentru a reproduce consumul de energie 3G, simulatorul urmărește dacă un dispozitiv este în starea de mare putere; valoarea cronometrului cozii este dată ca valoare de intrare. Viteza legăturii celulare este setată la 2 Mbps. RTT se măsoară pentru fiecare cerere de trafic; acesta este setat la 2 s în cazul în care dispozitivul trebuie să efectueze tranziția la starea de mare putere, altfel fiind setat la 200 ms. În cele din urmă, simulatorul presupune că legăturile locale sunt perfecte, cu întârziere zero și lățime de bandă infinită. Simulatorul implementează, de asemenea, algoritmul reciprocității și setează contorul inițial la cinci slot-uri.

Au fost concepute trei clase de aplicații. Prima clasă, redarea în flux, reprezintă aplicațiile de redare audio și video care trimit trafic la fiecare două

secunde, menținând astfel legăturile celulare în permanență. Clasa a doua, navigarea pe web, are o perioadă mai mare, de 13 s (această valoare a fost aleasă prin realizarea profilului propriilor noastre obiceiuri de navigare). Cea de a treia clasă este traficul de fundal, cum ar fi verificarea e-mail-ului, conceput cu o perioadă medie de 30 s.

**Economisirea energiei.** Pentru a înțelege posibilele avantaje ale sistemului conform prezentei invenții, a fost variat numărul de dispozitive și am rulat cele trei tipuri de aplicații descrise mai sus. În figura 6(a) sunt indicate economiile de energie estimate pentru un sistem conform prezentei invenții; cifrele date reprezintă procentul de timp în care interfața 3G rămâne în starea de mare putere. Cel mai mult putem spera la o scădere a energiei invers proporțională cu numărul de dispozitive.

Redarea în flux menține conținuturile radio în permanență în cazul redării de un singur dispozitiv, în cazul redării de către două dispozitive în contextul unui sistem conform prezentei invenții, fiecare va economisi aproximativ 45% din energia 3G. Pe măsură ce sunt adăugate mai multe dispozitive în sistemul conform prezentei invenții, avantajele cresc potrivit estimărilor. O curbă similară se observă pentru traficul web; aici, referința este de aproximativ 80%, deoarece redarea radio poate fi inactivă între două pagini. Constatăm că pentru aceste două aplicații, chiar și un număr mic de dispozitive înseamnă enorm pentru consumul de energie. Dar lucrurile stau altfel pentru traficul de fundal; în cazul acesta, consumul de referință este de doar 30% și scade mai încet; cu trei dispozitive, se menține la 24%.

Câte dispozitive sunt fezabile într-un sistem conform prezentei invenții ? Presupunând că densitatea dispozitivelor este suficient de ridicată, legăturile locale vor limita traficul la adăugarea mai multor dispozitive. Am făcut experimente cu două dispozitive Android fără nicio problemă. Asocierea a patru-cinci dispozitive este, cu siguranță, fezabilă pentru legăturile Bluetooth, atât timp cât rata totală a traficului este scăzută. Dincolo de aceasta, pot începe să domine alte costuri, cu reducerea randamentelor. Reținând acest lucru, devine evident că sistemul conform prezentei invenții nu aduce multe avantaje pentru traficul de fundal: mesajele sunt atât de rare, încât centralizarea nu este de prea mare ajutor, mai ales pentru un număr mic de dispozitive. Prin urmare, activarea sistemului conform prezentei invenții are sens doar când dispozitivul este pornit.

**Reducerea timpului dus-întors.** Tranzițiile de stare implică întârzieri mari pentru pachete; măsurătorile noastre arată că această întârziere este de aproximativ



*[Handwritten signature]*

2 s pentru o serie de operatori, iar acest număr variază în funcție de ora din zi. Odată ce interfața radio intră în starea de mare putere, întârzierile sunt mult mai mici – de obicei de 100 ms-200 ms. Am măsurat timpul RTT mediu înregistrat de fiecare transfer pentru fiecare clasă de aplicații, rezultatele fiind cele prezentate în Figura 6(b). Timpul RTT simulat scade de cinci ori pentru transferurile pe web cu trei dispozitive într-un sistem conform prezentei invenții. Deoarece transferul pe web este limitat de RTT, această reducere este semnificativă, îmbunătățind experiența utilizatorului. Traficul de fundal este mai puțin sensibil la RTT, prin urmare, deși scăderea RTT este considerabilă, poate să nu conteze atât de mult în practică. În cele din urmă, RTT crește ușor pentru aplicațiile de redare în flux, deoarece sistemul conform prezentei invenții comută între legături diferite care vor trebui să facă trecerea spre starea de mare putere. Cu un singur dispozitiv acest lucru nu este necesar, dat fiind că legătura se menține permanent.

**Reducerea costurilor de semnalizare.** Măsurătorile noastre anterioare se concentrează asupra indicatorilor de performanță centrați pe utilizator. De asemenea, trebuie înțeles modul în care sistemul conform prezentei invenții afectează rețeaua, în special în ceea ce privește reducerea costurilor de semnalizare între dispozitive și stația celulară de bază. Această semnalizare este un obiectiv de optimizare important pentru operatori [6]. În acest scop, în Figura 6(c) a fost măsurată frecvența tranzițiilor la starea de mare putere indusă de cele trei categorii de aplicații. Traficul pe web și cel de fundal induc o tranziție de fiecare dată când este trimis un pachet în cazul unui dispozitiv care funcționează independent. Într-un sistem conform prezentei invenții cu trei dispozitive, numărul de tranziții este redus de zece ori pentru traficul pe web, respectiv la jumătate pentru traficul de fundal. Redarea în flux va fi supusă unui număr mai mare de tranziții de stare cu sistemul conform prezentei invenții, pentru că, în loc să se mențină constant, legătura 3G cade atunci când mobilul își centralizează traficul cu dispozitivele vecine.

**Efectul cronometrului cozii.** Trebuie înțeles ce efect are cronometrul cozii asupra măsurătorilor cheie pentru utilizatori (energie) și rețea (semnalizare). Am variat cronometrul cozii de la 1 la 30 s și am măsurat aplicația web la rularea independentă și în grupuri de două sau trei dispozitive.

Cronometrul cozii oferă un raport între energie (Figura 7 (a)) și semnalizare, pe de o parte (Figura 7 (c)) și RTT (Figura 7 (b)) pe de altă parte. Graficele arată cât de dificilă este alegerea unui raport bun în ziua de astăzi: trebuie să optăm pentru



semnalizare redusă (și întârziere) sau energie scăzută, însă nu pentru ambele. Sistemul conform prezentei invenții schimbă spațiul raportului respectiv stăpânind consumul de energie pentru valori mai mari ale cronometrului cozii, reducând, în același timp, timpul RTT.

Comparând cronometrul cozii cu perioada de trafic web (13 s) obținem alte constatări pe baza acestor grafice. Când cronometrul cozii este foarte scăzut, traficul web beneficiază rar de sistemul conform prezentei invenții, deoarece interfața radio va fi în starea de putere scăzută cea mai mare parte a timpului. Pe măsură ce crește cronometrul cozii, legătura celulară se menține mai mult și acest lucru permite sistemului prezentei invenții să centralizeze traficul și să obțină beneficii atât pentru energie, cât și pentru RTT. Pe măsură ce energia cozii depășește 13 s, sistemul conform prezentei invenții îmbunătățește doar consumul de energie; nu mai există avantaje de semnalizare sau RTT.

**Echitatea.** Toate experimentele prezentate până acum s-au desfășurat pentru o perioadă lungă de timp (2 ore); acest lucru a asigurat că toate măsurătorile de performanță au fost aproape identice peste toate dispozitivele.

Contorul de reciprocitate reglementează numărul de situații în care un dispozitiv partajează conexiunea sa fără ca dispozitivul învecinat să partajeze conexiunea la rândul său. Pentru a înțelege modul în care acest parametru schimbă comportamentul sistemului conform prezentei invenții, am rulat aplicația de redare în flux pentru o perioadă scurtă de timp (5 minute), cu valori diferite ale contorului. Rezultatele din Figura 8 arată că utilizarea valorilor mici ale contorului duce la un consum crescut de energie din cauza comutării frecvente între stările de putere și cronometrul cozii. Valori mai mari ale contorului rezultă într-o eficiență mai bună, dar conduc la inechitate: un singur dispozitiv poate suporta întregul cost al conectivității celulare la valori ridicate. Valorile de mai sus oferă randamente scăzute ale consumului mediu, dar cresc inechitatea. Aceasta este valoarea implicită utilizată în toate celelalte experimente ale noastre.

**Interacțiunile dintre clasele de aplicații diferite.** Acum vom analiza experimentele care implică clase diferite de aplicații, rezultatele fiind prezentate în tabelul de mai jos. Un rând de tabel indică o clasă de aplicație care rulează într-un sistem conform prezentei invenții de două dispozitive cu o altă clasă de aplicație (coloană) sau într-un sistem conform prezentei invenții cu trei dispozitive. Fiecare celulă prezintă intervalul de timp în care se menține interfața 3G; referința fără

sistemul conform prezentei invenții este, de asemenea, indicată pe fiecare rând. De exemplu, consumul de energie de fundal scade de la 30% la 21% la rularea într-un sistem conform prezentei invenții cu o aplicație web.

Cifrele indică faptul că aplicațiile combinate influențează rezultatele, dar nu semnificativ. De asemenea, economiile sunt împărțite între diferitele aplicații. După cum era estimat, clasa aplicațiilor de fundal se îmbunătățește cel mai puțin.

Clasă aplicație	Aplicație fundal	Web	Redare flux	Total
Aplicație fundal (30%)	25%	21%	21%	17%
Web (80%)	68%	49%	48%	41%
Redare în flux (100%)	78%	58%	54%	50%

## 5. IMPLEMENTAREA

Sistemul conform prezentei invenții a implementat folosind Bluetooth și WiFi ca legături locale. În primul rând am activat dispozitivele pentru a ruta perfect traficul dispozitivelor învecinate cu ajutorul mecanismelor Android pre-existente: am creat interfețe BNEP (protocol Bluetooth de rețea pentru încapsulare) folosind pand (1) din suita BlueZ (<http://www.bluez.org/>) disponibilă pe Android 4.1.2 și am folosit mecanisme normale de filtrare a pachetelor din rețea pentru a ruta traficul și a efectua Network Address Translation.

Schema de centralizare a traficului și echitatea pe termen scurt au impus implementarea unui modul de nucleu Linux. Am utilizat un număr de dispozitive de racordare pentru filtrarea pachetelor din rețea pentru a gestiona traficul în mod eficient pe fiecare interfață fără interogare ciclică. Astfel, modulul nostru se află într-o poziție optimă pentru a decide când legătura mobilă este activă, când folosim legătura unui dispozitiv învecinat sau când un dispozitiv vecin folosește propria noastră legătură. Teoretic am fi putut folosi mecanisme diferite (cum ar fi cozile de filtrare a pachetelor din rețea sau corecție în cadrul mecanismului Android pentru a monitoriza legătura celulară), dar un modul de nucleu a fost mai simplu și fiabil. Partea principală a serviciului constă în „mutarea” traficului de la o legătură la alta, fără a schimba aplicația. Acest lucru este realizat cu ajutorul mecanismelor MPTCP standard, iar modulul de nucleu a fost deosebit de potrivit pentru implementarea



*[Handwritten signature]*

efectivă. La pornirea sistemului, stabilim o prioritate scăzută pentru legătura noastră celulară și dezactivăm MPTCP pentru legăturile locale. Acest lucru asigură că MPTCP va încerca să evite legătura 3G la emiterea traficului și că nu va exista nicio tentativă de a crea *pe cont propriu* fluxuri pe legături Bluetooth (în mod implicit MPTCP creează fluxuri pe toate interfețele). Modulul expune o interfață ce permite programului spațiu utilizator să declare legăturile locale ca „utilizabile”. Odată ce o legătură locală (Bluetooth sau WiFi) este declarată utilizabilă, MPTCP o va lua în considerare. Deoarece legătura de rețea celulară are o prioritate scăzută, *orice* legături locale vor câștiga procesul de selecție a fluxului, adică traficul va trece de la legătura mobilă la legăturile locale. Implementarea profilului de maximizare a lățimii de bandă/minimalizare a timpului RTT este o chestiune simplă ce constă în a nu schimba prioritatea implicită a legăturii mobile: MPTCP va direcționa perfect traficul pe toate fluxurile disponibile, în conformitate cu algoritmul său implicit de planificare. Folosind funcționalitatea expusă de către modulul de nucleu, am implementat partea superioară a sistemului conform prezentei invenții ca driver de spațiu utilizator care controlează întregul proces. Acest driver monitorizează legătura locală și modulul de nucleu în ceea ce privește anunțurile. Modulul de nucleu trimite notificări (de exemplu, când dispozitivul învecinat A a folosit legătura noastră ultima oară, când am folosit legătura dispozitivului A ultima oară), favorizând aplicarea echității pe termen scurt prin intermediul unui mecanism de reciprocitate, astfel cum s-a discutat în capitolul 3.

## 6. INSTALAREA EXPERIMENTALĂ

Am folosit sistemul conform prezentei invenții pe două dispozitive mobile Galaxy Nexus cu Android 4.1.2 (Jelly Bean) și l-am testat în condiții de trafic sintetic și de aplicații reprezentative. Am măsurat energia cu ajutorul unui monitor de energie Monsoon. Am efectuat experimentele folosind un operator de rețea celulară care permite protocolul MPTCP (fără eliminarea operațiilor MPTCP din pachete). Acest operator oferă servicii 3G (HSDPA) la viteze de până la 7,2 Mbps.

Pentru activarea sistemului conform prezentei invenții, am pus în funcțiune un sistem Linux cu MPTCP, folosit în toate experimentele. Configurația este prezentată în Figura 9. În mod ideal, acest sistem ar acționa ca proxy (de exemplu, SOCKS), încheind conexiunile MPTCP și deschizând conexiunile TCP la serverul real (Figura 9.a). Pentru ca aceasta să funcționeze ar fi nevoie de susținere proxy din partea



mecanismului Android; din păcate, aceasta este disponibilă doar în cazul conexiunilor WiFi, nu și în cazul conexiunilor 3G (aceasta pare să fie o opțiune de politică mai degrabă decât una tehnică). O posibilă soluție ar fi deschiderea unui tunel bazat pe MPTCP spre proxy și tunelarea întregului trafic al dispozitivului (Figura 9.b). Această configurație funcționează, însă tunelarea conexiunilor TCP prin (MP)TCP poate duce la interacțiuni cu performanțe necorespunzătoare, care ar putea influența experimentele. De aceea am folosit a treia configurație (Figura 9.c) pentru cele mai multe dintre experimente: aici sistemul servește conținut, rulând protocoale HTTP și redând fluxuri de pe servere.

### 7. STADIUL TEHNICII

Importanța legăturilor de rețea celulară pentru mobile este recunoscută de mult timp, iar rezultatul constă în numeroase cercetări care evaluează proprietățile de conectivitate celulară [6, 4] și propun soluții pentru optimizarea acestora (de exemplu, [7, 8, 9, 1] pentru a numi doar câteva). Cele mai multe dintre aceste cercetări se concentrează asupra reducerii consumului de energie al legăturilor celulare prin adoptarea uneia dintre cele două abordări la nivel înalt.

Prima direcție de cercetare exploatează stagnarea rapidă, o caracteristică standardizată de 3GPP [16], care permite dispozitivului mobil să solicite tranziția în starea INACTIVĂ, reducând astfel timpul corespunzător cozii și costurile de energie asociate. Folosind stagnarea rapidă, se economisește energie, dar este necesar ca dispozitivul să cunoască modelul de trafic al aplicației [6, 7, 1]. Există două pericole inerente în trecerea rapidă la inactivitate: dacă o tranziție nu este adecvată și traficul se reia rapid, traficul va înregistra întârzieri mari necesare pentru tranziție. În al doilea rând, numărul de tranziții de stare poate crește semnificativ, afectând scalabilitatea rețelelor 3G [6, 17].

A doua abordare încearcă să combine transmisiile din diferite aplicații prin întârzieri ale subseturilor de trafic pentru a reduce energia aferentă cozii [8] sau pentru a folosi legătura celulară atunci când acesta este cea mai ieftină [9]. Această combinație se adresează doar traficului de fundal, fără sensibilitate la întârziere: fie se schimbă aplicațiile pentru a profita de aceasta, fie va deduce sistemul care sunt aplicațiile pentru care traficul poate fi întârziat.

În cererea de brevet [22] se propune agregarea mai multor conexiuni pentru a optimiza RTT sau banda obținută. O parte comună cu cererea [22] este folosirea unei



tehnologii multipath, dar în cazul MPTCP aceasta este o tehnologie cu specificații deschise (libere). Deși cu un principiu asemănător, cererea nu se referă însă la colaborarea dintre mobile, ci la agregarea metodelor de comunicare asociate unui mobil. O diferență importantă în sistemul prezentei invenții este aceea că se nu optimizează în mod specific pentru anumite aplicații (de exemplu de timp real), ci este o tehnologie generică pentru orice trafic TCP. O alta este că prezenta invenție creează o planificare explicită a legăturilor verticale (3G sau 4G) în funcție de starea instantă fiecărui mobil participant.

În cererea de brevet [23] se propune o metodă de a agrega fluxurile de la mai mulți operatori prin maparea fluxurilor la offload de la 3G la WLAN. Această propunere este în esență o soluție de multihoming, dar care necesită modificarea de către operatori a entităților eNodeB, colaborarea între operatori, și efectuarea de măsurători între mobil și eNodeB. În invenția de față nici una dintre aceste soluții nu este necesară deoarece se folosește noul standard MPTCP care rezolvă natural problema multihoming, în schimb propunem colaborarea între mobile pentru a sincroniza legăturile verticale în vederea minimizării consumului de putere, sau a reducerii RTT.

Alte cereri de brevet [24,25,26] propun arhitecturi P2P de colaborare între mobile folosind legături orizontale, dar se preocupă fie de rutarea apelurilor prin vecini[24], fie de eliminarea interferenței pe legătura verticală [25], fie metode de estimare constituire a grupurilor fără legături orizontale[26]. În nici unul din cazuri nu se consideră starea de putere a legăturii verticale, coroborarea timpilor de acces între terminale, utilizarea MPTCP, precum în invenția de față.

Sistemul conform prezentei invenții permite optimizarea energetică pentru multe dispozitive și este complementar lucrărilor existente. Acesta oferă cele mai mari avantaje aplicațiilor care trimit date (aproape) continuu, cum ar fi cele de redare audio și video, precum și navigarea pe web. Aceste aplicații sunt foarte populare în rândul utilizatorilor telefoanelor mobile, dar nu sunt susținute prin serviciile existente.

Dincolo de energie, sistemul conform prezentei invenții reduce semnificativ impactul întârzierilor tranzițiilor de stare și reduce consumul pentru semnalizare – conform cunoștințelor noastre, sistemul nostru este primul care reduce în același timp consumul de energie, timpul RTT și costul de semnalizare pentru legăturile celulare.



*[Handwritten signature]*

Ideea de bază a sistemului conform prezentei invenții este utilizarea oportunistă a legăturilor altor dispozitive, iar această idee nu este nouă: Shair propune utilizarea minutelor și mesajelor gratuite ale altor utilizatori de telefonie mobilă prin intermediul conectivității locale [18]. Recent, s-a propus folosirea legăturilor 3G inactive pentru a depăși limitările lățimii de bandă ale legăturilor de acces [19]. Sistemul conform prezentei invenții este similar ca spirit rețelei britanice de telecomunicații FON [20], în care utilizatorii partajează legăturile DSL prin intermediul WiFi. Partajarea în sistemul conform prezentei invenții este mult mai dinamică, iar câștigurile depășesc conectivitate de bază facilitată de FON, prin reducerea consumului de energie și a întâzierii.

Sistemul conform prezentei invenții permite o optimizare cheie: centralizarea întregului trafic al unui set de dispozitive pe cât mai puține legături celulare. Centralizarea crește eficiența energetică a legăturilor în utilizare activă, permițând altor legături să intre în starea de inactivitate, economisind astfel energie. Legăturile active se vor menține în permanență, asigurând timpi dus-întors minimi prin reducerea numărului de tranziții de stare.

Deși prezenta invenție a fost descrisă printr-un exemplu particular de realizare, diverse schimbări și modificări pot fi sugerate de o persoană de specialitate în domeniu. Se intenționează ca prezenta invenție să acopere aceste schimbări și modificări care se situează în interiorul scopului revendicărilor anexate.

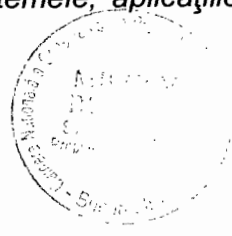
**Referințe bibliografice**

[1] S. Deng și H. Balakrishnan, „Traffic-aware techniques to reduce 3G/LTE wireless energy consumption”, *Rapoartele celei de a 8-a conferințe internaționale privind experimentele și tehnologiile emergente de creare a rețelelor, CoNEXT '12*, (New York, NY, SUA), p. 181-192, ACM, 2012.

[2] A. Ford, C. Raiciu, M. Handley și B. Bonaventure, „TCP extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses”, rfc6824, IETF, 2013.

[3] V. Singh, T. Karkkainen, J. Ott, S. Ahsan și L. Eggert, „Multipath RTP (MP RTP)”, ianuarie 2013.

[4] J. Huang, F. Qian, A. Gerber, Z. M. Mao, S. Sen și O. Spatscheck, „A close examination of performance and power characteristics of 4g lte networks”, *Rapoartele celei de a 10-a conferințe internaționale privind sistemele, aplicațiile și*



*serviciile de telefonie mobilă*, MobiSys '12 (New York, NY, SUA), p. 225-238, ACM, 2012.

[5] A. Garcia-Saavedra, P. Serrano, A. Banchs și G. Bianchi, „Energy consumption anatomy of 802.11 devices and its implication on modeling and design”, *Rapoartele celei de a 8-a conferințe internaționale privind experimentele și tehnologiile emergente de creare a rețelelor*, CoNEXT '12 (New York, NY, SUA), p. 169-180, ACM, 2012.

[6] F. Qian, Z. Wang, A. Gerber, Z. M. Mao, S. Sen și O. Spatscheck, „Characterizing radio resource allocation for 3g networks”, *Rapoartele celei de a 10-a conferințe ACM SIGCOMM privind măsurarea Internetului*, IMC '10 (New York, NY, SUA), p. 137-150, ACM, 2010.

[7] F. Qian, Z. Wang, A. Gerber, Z. M. Mao, S. Sen și O. Spatscheck, „Top: Tail optimization protocol for cellular radio resource allocation”, *Rapoartele celei de a 18-a conferințe internaționale IEEE (Institutul de Inginerie Electrică și Electronică) privind protocoalele de rețea*, ICNP '10, (Washington, DC, SUA), p. 285-294, IEEE Computer Society, 2010.

[8] N. Balasubramanian, A. Balasubramanian și A. Venkataramani, „Energy consumption in mobile phones: a measurement study and implications for network applications”, *Rapoartele IMC*, ACM, 2009.

[9] A. Schulman, V. Navda, R. Ramjee, N. Spring, P. Deshpande, C. Grunewald, K. Jain și V. N. Padmanabhan, „Bartendr: a practical approach to energy-aware cellular data scheduling”, *Rapoartele Mobicom*, ACM, 2010.

[10] A. Gember, A. Anand și A. Akella, „A comparative study of handheld and non-handheld traffic in campus wi-fi networks”, *Rapoartele celei de a 12-a conferințe internaționale privind măsurarea pasivă și activă*, PAM '11, (Berlin, Heidelberg), p. 173-183, Springer-Verlag, 2011.

[11] D Wischik, C. Raiciu, A. Greenhalgh și M. Handley, „Design, implementation and evaluation of congestion control for multipath tcp”, *Rapoartele celei de a 8-a conferințe USENIX privind proiectarea și implementarea sistemelor legate în rețea*, NSDI '11, (Berkeley, CA, SUA), p. 8-8, USENIX Association, 2011.

[12] C. Raiciu, D Niculescu, M. Bagnulo și M. J. Handley, „Opportunistic mobility with multipath tcp”, *Rapoartele celui de al 6-lea atelier internațional privind arhitectura sistemelor de telefonie mobilă*, MobiArch '11, (New York, NY, SUA), p. 7-12, ACM, 2011.



*[Handwritten signature]*

- [13] J. R. Douceur, „The sybil attack”, *Lucrările revizuite ale primului atelier internațional privind sistemele pereche*, IPTPS '01, (Londra, Regatul Unit, Regatul Unit), p. 251-260, Springer-Verlag, 2002.
- [14] J. Chu, N. Dukkipati, Y. Cheng și M. Mathis, „Increasing TCP's Initial Window”, Internet Draft: draft-ietf-tcpm-initcwnd-08, Work In Progress, 2013.
- [15] Y. Cheng, J Chu, S. Radhakrishnan și A. Jain, „TCP Fast Open”, Internet Draft: draft-ietf-tcpm-fastopen-03, Work In Progress, 2013.
- [16] ABIResearch, „Average size of mobile games for iOS increased by a whopping 42% between march and september”, <http://www.webcitation.org/6F2lfwv44>, 2012.
- [17] 3GPP, „UE „Fast Dormancy” behavior. Discussion and decision notes R2-075251”, 2007.
- [18] 3GPP, „System impact of poor proprietary fast dormancy. Discussion and decision notes RP-090941”, 2009.
- [19] P. Hui, R. Mortier, K. Xu, J. Crowcroft și V. O. K. Li, „Sharing airtime with shair avoids wasting time and money”, *Rapoartele celui de al 10-lea atelier privind sistemele și aplicațiile mobile de calcul*, HotMobile '09, (New York, NY, SUA), p. 6:1-6:6, ACM, 2009.
- [20] N. Vallina-Rodriguez, V. Erramilli, Y. Grunenberger, L. Gyarmati, N. Laoutaris, R. Stanojevic și K. Papagiannaki, „When david helps goliath: the case for 3g onloading”, *Rapoartele celui de al 11-lea atelier ACM privind subiectele de actualitate în domeniul rețelelor*, HotNets-XI, (New York, NY, SUA), p. 85-90, ACM, 2012.
- [21] B. T. F. Network, „<http://www.btfon.com/>”.
- [22] N. Girard, „Transparent Proxy Architecture for Multi-Path Data Connections”, US Patent Application 13/807,740 filed July 2011.
- [23] V. Gupta, K. Etemad „Multi-RAT Carrier Aggregation for Integrated WWAN-WLAN Operation”, US Patent application 13/537,999, Filed in June 2012.
- [24] Yonggang Du, Ni Ma, Li Sun „Method and system for peer-to-peer communication management in wireless communication networks”, US Patent Application, 10/551,312 filed in March 2004.
- [25] Qingli JIA, Li SUN, Xuejun ZHANG, „Method and apparatus for supporting P2P communication in TDD CDMA communication systems”, US Patent Application 10/557,967 filed in May 2004.
- [26] Qingli JIA, Li SUN, Xuejun ZHANG, „Method and system for establishing wireless peer-to-peer communications”, US Patent 10/547,585 filed in March 2004.



A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters.

### REVENDICĂRI

1. Metodă de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse, cuprinzând etapele de :

- configurare a unui grup de dispozitive mobile în care cel puțin unul dintre dispozitive prezintă o conexiune celulară;
- configurarea unor legături WiFi sau Bluetooth între dispozitivele mobile din grupul menționat;
- partajarea în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat;
- utilizarea de către dispozitivele mobile din grupul menționat a acelei cel puțin o legătură celulară partajată pentru trimiterea sau primirea de trafic, posibil în paralel cu propria legătură celulară.

2. Metodă conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** dispozitivele mobile din grupul menționat asigură mai multe legături celulare, și în care metoda poate cuprinde centralizarea traficului pe o singură legătură celulară, utilizând protocolul MPTCP, lăsând celelalte legături în stare de inactivitate.

3. Metodă conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** partajarea în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat poate fi realizată permanent sau numai atunci când se află în starea de consum ridicat de putere, algoritmul implicit de partajare constând în anunțarea de către un dispozitiv din grup a legăturii sale atunci când unul dintre propriile pachete părăsește interfața și interfața nu este deja partajată.

4. Metodă conform revendicării 3, **caracterizată prin aceea că** anunțarea legăturii de către dispozitivul menționat include un timp de expirare  $t$  care indică dispozitivelor partenere din grup când să oprească transmiterea traficului prin intermediul legăturii sale, timpul  $t$  fiind egal cu valoarea temporizărilor specifice DCH și FACH setate de operatorul mobil.



5. Metodă conform revendicărilor 1-4, **caracterizată prin aceea că** aceasta implică utilizarea unui algoritm de reciprocitate pe termen scurt prin care fiecare dispozitiv va dispune de un contor de evidență pentru fiecare vecin, indicând de câte ori permite vecinului să folosească legătura sa fără a oferi nimic în schimb.

6. Metodă conform uneia dintre revendicările precedente, **caracterizată prin aceea că** toate dispozitivele din grup acordă prioritate propriului trafic față de cel al vecinilor, implementarea prioritizării pentru traficul pe legătura ascendentă fiind realizată printr-o coadă de priorități, iar pe legătura descendentă prin prioritizare la furnizorul de servicii sau operatorul celular.

7. Metodă conform uneia dintre revendicările precedente, **caracterizată prin aceea că** poate fi utilizată:

- la fața locului de către utilizatorii dispozitivelor mobile dintr-un grup care au încredere reciprocă, atunci când protocolul MPTCP este disponibil la toate serverele din Internet, fără să fie necesar un proxy,

- printr-un serviciu furnizor, unde utilizatorii se vor înregistra folosind un cod unic de identificare,

- printr-un serviciu acceptat de operator, pre-instalat pe dispozitivele mobile, în acest caz nefiind necesară nicio înregistrare specială, deoarece utilizatorul are o identitate unică dată de SIM și o cheie secretă comună cu operatorul.

8. Metodă conform uneia dintre revendicările precedente, **caracterizată prin aceea că** include contabilizarea pe termen lung a cantității de date pe care o trimite sau primește fiecare dispozitiv mobil prin intermediul legăturii altui dispozitiv din grup. Aceasta se realizează prin folosirea unui sistem de chei publice prin care atât dispozitivul care generează datele, cât și cel care le transportă, semnează pachetele cu cheile private respective astfel încât serviciul furnizor/operator poate contoriza în mod sigur contribuția și exploatarea de către fiecare dispozitiv.

9. Sistem de conectare celulară cu consum redus de energie și costuri reduse, cuprinzând:

- un grup de dispozitive mobile în care cel puțin unul dintre dispozitive prezintă o conexiune celulară;



- mijloace pentru asigurarea unor legături WiFi sau Bluetooth între dispozitivele mobile din grupul menționat;
- mijloace pentru partajarea în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat;
- utilizarea de către dispozitivele mobile din grupul menționat a acelei cel puțin o legătură celulară partajată pentru trimiterea sau primirea de trafic.

10. Sistem conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** dispozitivele mobile din grupul menționat asigură mai multe legături celulare, și în care este utilizat protocolul MPTCP pentru a putea centraliza traficul pe o singură legătură celulară, lăsând celelalte legături în stare de inactivitate.

11. Sistem conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** mijloacele de partajare în mod dinamic a acelei cel puțin o conexiune celulară între dispozitivele mobile din grupul menționat asigură o partajare permanentă sau numai atunci când se află în starea de mare putere, algoritmul implicit de partajare constând în anunțarea de către un dispozitiv din grup a legăturii sale atunci când unul dintre propriile pachete părăsește interfața și interfața nu este deja partajată.

12. Sistem conform revendicării 11, **caracterizat prin aceea că** dispozitivul menționat din grup își anunță legătura, iar după un timp de expirare  $t$  indică dispozitivelor pereche din grup când să oprească transmiterea traficului prin intermediul legăturii sale, perioada de anunțare fiind egală cu valoarea cronometrului cozii al operatorului mobil.

13. Sistem conform uneia dintre revendicările 9 la 12, **caracterizat prin aceea că** acesta utilizează un algoritm de reciprocitate prin care fiecare dispozitiv din grup va dispune de un contor de evidență pentru fiecare vecin, indicând de câte ori permite vecinului să folosească legătura sa fără ca acesta să ofere nimic în schimb.

14. Sistem conform uneia dintre revendicările 9 la 13, **caracterizat prin aceea că** toate dispozitivele din grup acordă prioritate propriului trafic față de cel al vecinilor, implementarea prioritizării pentru traficul pe legătura ascendentă fiind realizată printr-





o coadă de prioritați, , iar pe legătura descendentă prin prioritizare la furnizorul de servicii sau operatorul celular.

15. Sistem conform revendicării 14, **caracterizat prin aceea că** prioritizarea traficului este implementată printr-un mijloc de monitorizare (*watchdog*) care verifică dacă performanțele sunt acceptabile la folosirea unui dispozitiv vecin.

16. Sistem conform uneia dintre revendicările 9 la 15, **caracterizat prin aceea că** poate fi implementat:

- la fața locului de către utilizatorii dispozitivelor mobile dintr-un grup care au încredere reciprocă, atunci când protocolul MPTCP este disponibil la toate serverele din Internet,

- printr-un serviciu furnizor, unde utilizatorii se vor înregistra folosind un cod unic de identificare,

- printr-un serviciu acceptat de operator, pre-instalat pe dispozitivele mobile, în acest caz nefiind necesară nici o înregistrare specială, deoarece utilizatorul are o identitate unică dată de SIM și o cheie secretă comună cu operatorul.

17. Sistem conform uneia dintre revendicările 9 la 16, **caracterizat prin aceea că** include mijloace pentru contabilizarea pe termen lung a cantității de date pe care o trimite sau primește fiecare dispozitiv mobil prin intermediul legăturii altui dispozitiv din grup folosind un sistem de chei publice prin care atât dispozitivul care generează datele, cât și cel care le transportă, semnează pachetele cu cheile private respective astfel încât serviciul furnizor/operator poate contoriza în mod sigur contribuția și exploatarea de către fiecare dispozitiv.



FIGURI



Figura 1

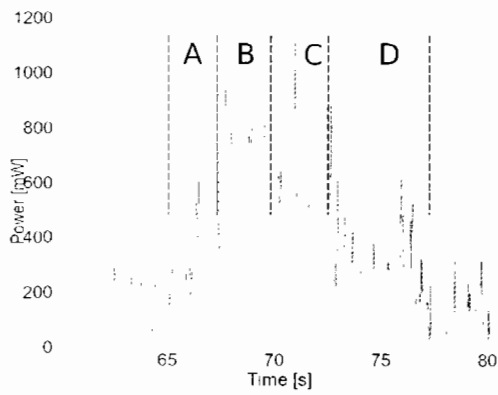
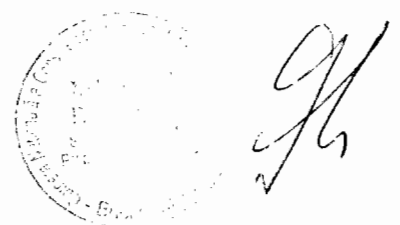
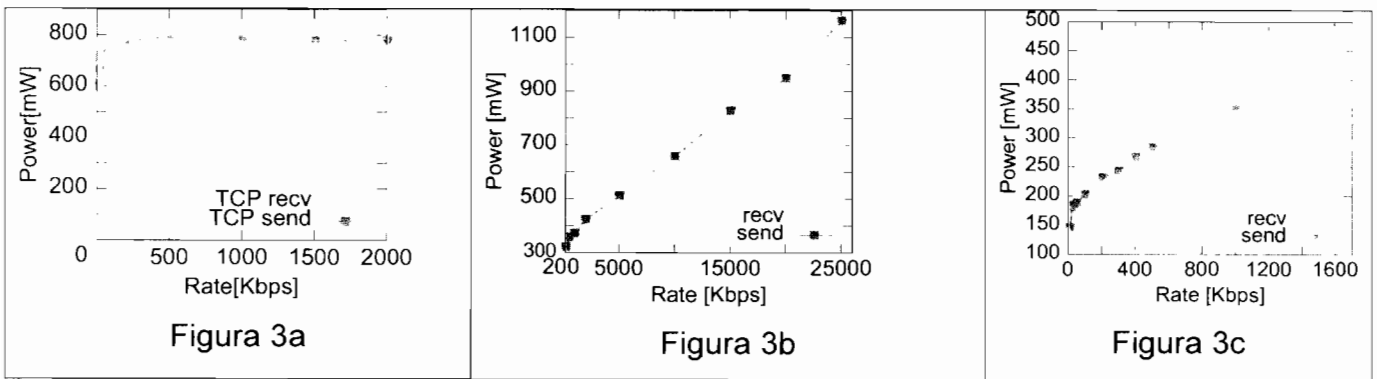


Figura 2



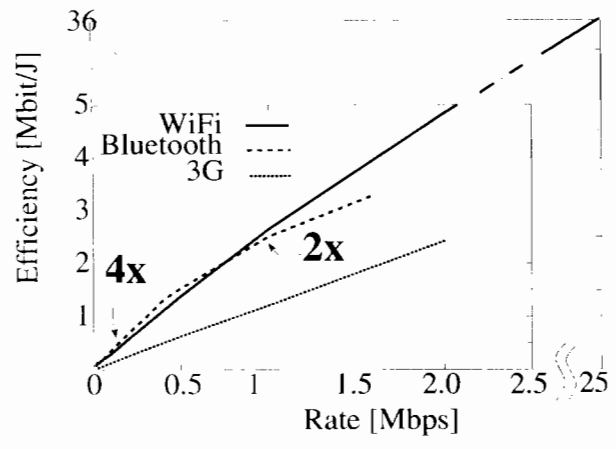
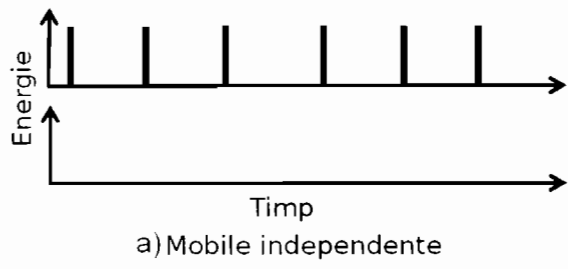
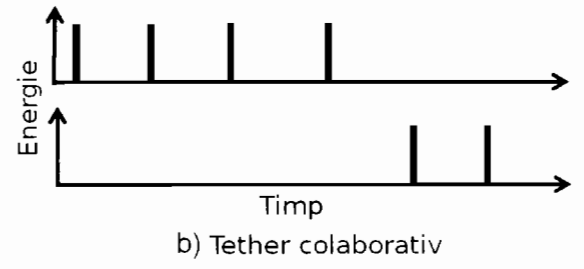


Figura 4



a) Mobile independente



b) Tether colaborativ

Figura 5a

Figura 5b

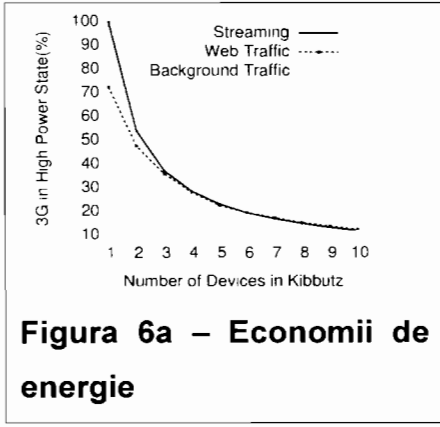


Figura 6a – Economii de energie

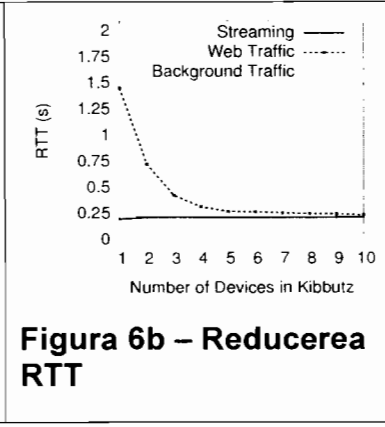


Figura 6b – Reducerea RTT

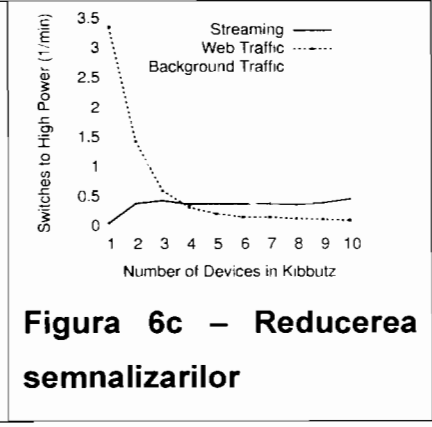


Figura 6c – Reducerea semnalizarilor

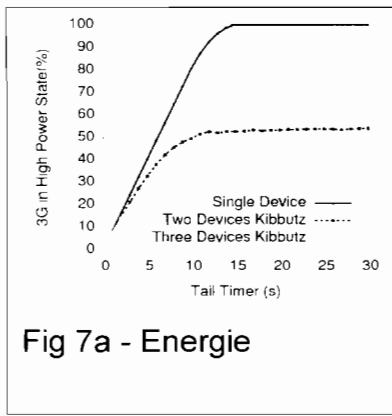


Fig 7a - Energie

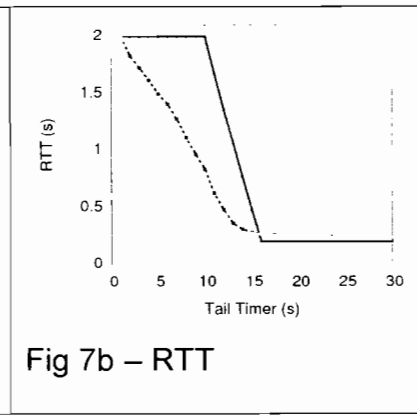


Fig 7b – RTT

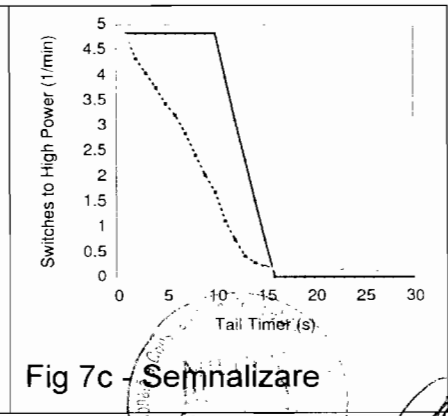


Fig 7c - Semnalizare



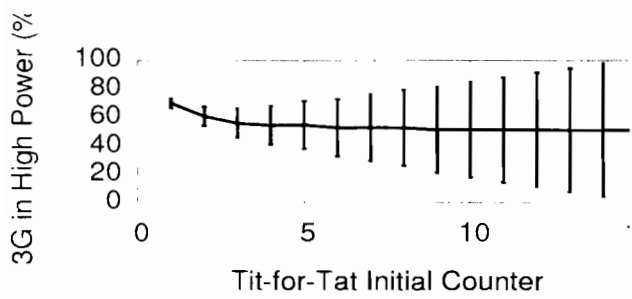


Fig 8: Valoare inițială contor reciprocitate

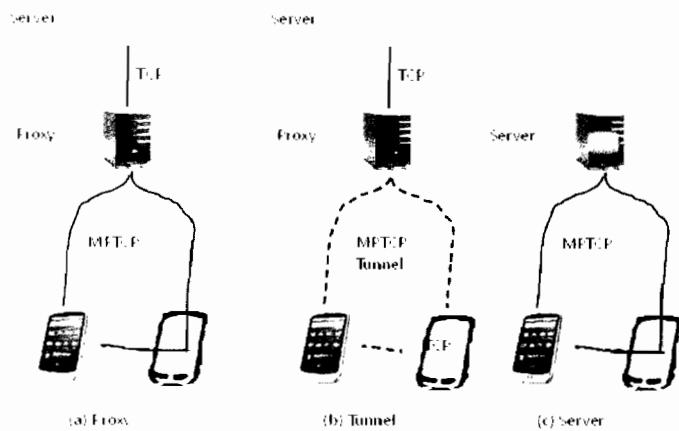


Figura 9

