

WiFi Related Problems in Mobile Computing

Dragoş Ştefan Niculescu,
University Politehnica of Bucharest

Habilitation Thesis

Rezumatul tezei

Această teză cumulează diverse rezultate recente din domeniul mai larg denumit **mobile computing**, și include teme din: asignarea canalelor în topologii WiFi de tip arbore, folosirea WiFi în sistemele cu spectru dinamic, optimizarea rețelelor WiFi folosind mobilitate la nivelul întregului nod (robotică), interacțiunea dintre TCP și VoIP în rețelele multihop WiFi, și interacțiunea între WiFi și noul standard Multipath TCP.

Încă de la adoptarea standardului IEEE 802.11 (neoficial numit WiFi) în 1997, rețelele care utilizează benzi fără licență au fost în creștere în popularitate și a depășit toate estimările inițiale. Succesul lor a permis unor noi aplicații mobile, dar de asemenea a dat naștere unei serii de noi probleme pentru comunitatea de cercetători. Pe de o parte utilizatorii se așteaptă la noi aplicații și funcționalități de la noul LAN fără fir (WLAN), și pe de alta se așteaptă ca rețeaua să se comporte ca LAN-urile convenționale. Rezultatele prezentate în această teză sunt reproduse din lucrări ale noastre deja publicate [1, 2, 3, 4, 5, 6], și arată că rețelele bazate pe IEEE 802.11 sunt dificil de operat în condiții de densitate mare de dispozitive datorită fenomenelor complexe de interferență. Acestea cer o formă de alocare a canalelor, tratată diferențiată a traficului mixt (TCP și VoIP). Deasemenea, teza investighează modul în care tehnologia WiFi se integrează cu evoluțiile de la nivelele superioare, cum ar fi MPTCP, și cu cele de la nivelele inferioare, cum ar fi folosirea spectrului dinamic.

Noul standard MPTCP permite aplicațiilor să folosească simultan mai multe interfețe pentru un singur flux TCP. Această funcționalitate se potrivește în mod deosebit cu WiFi, care este utilizat în majoritatea dispozitivelor împreună cu alte tehnologii radio (3G, 4G, Bluetooth). În capitolul 1 se identifică câteva probleme clasice din mobile computing care se pot rezolva cu ajutorul MPTCP: handoff vertical între tehnologii diferite 3G - WiFi, handoff orizontal între punctele de acces WiFi, economisirea de energie, conectivitatea neîntreruptă. Sunt prezentate câteva cazuri simulate, dar și măsurători promițătoare obținute la metroul din București.

Atunci când se transportă atât voce, cât și TCP într-o rețea fără fir multihop, există de fapt două obiective contradictorii: protejarea traficului VoIP, și utilizarea în întregime a capacității rămase pentru TCP. În capitolul 2, investigăm interacțiunea dintre aceste două categorii populare de trafic și arătăm că abordările convenționale, cum ar fi variantele îmbunătățite de TCP, cozile de prioritate, limitarea lățimii de bandă, sau modelarea traficului (traffic shaping) nu ating întotdeauna scopul. Traficul TCP și traficul VoIP nu coexistă cu ușurință în principal din cauza agresivității TCP (burstiness), dar și din cauza fenomenului de auto-interferență din rețelele multihop. Am constatat că variantele noi de TCP (Reno, Vegas, C-TCP, CUBIC, Westwood) nu coexistă corect cu VoIP în scenariile multihop. Surprinzător, chiar și schemele cu priorități, inclusiv cele implementate în MAC, cum ar fi RTS/CTS sau 802.11e, nu pot în general proteja traficul de voce, deoarece acestea nu iau în considerare interferența în afara razei de comunicare. În acest capitol se prezintă **VAGP**(Voice Adaptive Gateway Pacer) - un algoritm adaptiv de control al debitului la AP, care reglează în mod dinamic fluxurile TCP pe baza stării fluxurilor VoIP. VAGP monitorizează continuu calitatea fluxurilor de voce la AP și controlează lățimea de bandă folosită de TCP înainte de a intra în domeniul multihop, sensibil la auto-interferență. Pentru a oferi o utilizare ridicată și performanță rezonabilă și pentru TCP, VAGP are mecanisme specifice care suprimă anumite retransmisii în domeniul multihop. Comparativ cu propunerile anterioare de îmbunătățire TCP în multihop, VAGP păstrează semantica end-to-end a TCP-ului, nu are nevoie de modificări ale clienților sau serverelor, și tolerează condiții diverse: coexistența cu variante diferite de TCP, prezența fluxurilor multiple, întârzieri din internet, diferite situații de interferență, multihop cu topologii diverse, diferite modele de trafic.

Rețelele radio multihop pot fi folosite pentru a furniza conectivitate instantă pe distanțe extinse. Totuși, datorită dependențelor spațiale a legăturilor de date de tip radio, plasarea nodurilor de tip relay necesită eforturi semnificative, de regulă din partea operatorilor umani. În capitolul 3 se descrie sistemul MARS (Mobile Autonomous Router System), în care un ruter de tip relay operează în mod autonom pentru a realiza cele mai bune legături radio cu vecinii săi, cu care formează în mod cooperativ o rețea de tip plasă sau arbore. MARS implementează o metodă originală de măsurare care caracterizează cu acuratețe calitatea legăturii radio, și deasemenea implementează un algoritm de căutare spațială care are rolul de a reduce timpul de scanare pentru poziția optimă. MARS folosește un sistem de poziționare care furnizează fiecărui nod informația de locație într-un mod tolerant la erorile de măsurare. Sistemul a fost implementat combinând un robot mobil din comerț cu un ruter WiFi programabil. Evaluarea sistemului MARS a demonstrat că poate obține în medie o acuratețe de 95% față de optim pentru măsurarea semnalului în plan, iar față de o căutare exhaustivă reduce cu două treimi efortul total de scanare.

Alocarea judicioasă a canalelor radio într-o rețea mesh WiFi poate crește în mod substanțial capacitatea rețelei. În particular, topologiile de tip arbore au proprietatea că tot traficul trece printr-un punct central. De obicei problema alocării canalelor este legată de problemele rutării, controlului încărcării, și a măsurării interferenței. În capitolul 4, folosindu-se avantajele topologiilor arbore asupra rutării și încărcării, se propune un algoritm specializat pentru arborii cu conectivitate radio. Folosindu-se caracteristicile conectivității specifice acestor topologii, se definește un graf de conflict peste care o euristică de colorare produce o performanță rezonabilă fără a trata în mod explicit rutarea și interferența. Se arată că algoritmul are o complexitate redusă (pătratică relativ la numărul de noduri), iar în simulare demonstrează câștiguri semnificative de performanță comparat cu soluțiile mai simple.

În capitolul 5, se explorează posibilitatea de a folosi spectrul “alb”, neutilizat pentru WiFi. În rețelele locale, nodurile cu capabilități DSA (Dynamic Spectrum Access) ca utilizatori secundari (SU) pot folosi frecvențele alocate cu licență atunci când acestea nu sunt folosite de către utilizatorii primari (PU). Pe perioada acestei utilizări fără licență, este important a se asigura un nivel de interferență redusă pentru PU, în timp ce se asigură un grad ridicat de utilizare a canalului pentru SU. Se propune un MAC cu mod de operare dual numit SpeWiFi (Spectrum Conscious WiFi) prin care SU recunosc tiparele repetitive de trafic ale PU și folosesc unul din două moduri de lucru: agresiv, sau sigur. SpeWiFi a fost implementat în software folosind driverul MadWiFi pentru cipuri Atheros, iar evaluarea sa experimentală demonstrează că mecanismele de coexistență propuse sunt performante.

În final, în capitolul III, se prezintă câteva direcții posibile de dezvoltare în continuare a carierei academice, planuri de cercetare pentru viitorul apropiat, și modul în care acestea se împletesc cu activitatea didactică.

Mulțumiri: Cercetarea descrisă în această teză este bazată pe lucrări deja publicate [1, 2, 3, 4, 5, 6], și include deasemenea contribuții importante din partea colaboratorilor mei cărora doresc să le mulțumesc: prof. Costin Raiciu (UPB/Romania), prof. Marcelo Bagnulo Braun (UC3M/Spain), dr. Kyungtae Kim (Samsung/Korea), prof. Sangjin Hong (SUNY Stony Brook/USA), dr. Kyu-Han Kim (HP Labs/USA), prof. Kang G. Shin (U. of Michigan/USA), dr. Samrat Ganguly (NEC Corporation/USA), dr. Sudeept Bhatnagar (JunctionTV/India), dr. Ashwini Kumar (Arista Networks/USA), prof. Young-June Choi (Ajou U./Korea).