

# EVALUAREA EXPERIMENTALĂ A RATEI DE TRANSFER PENTRU TRAFICUL UDP NECONFIRMAT ÎN CADRUL REȚELELOR IEEE 802.11E/G

# EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE THROUGHPUT OF UNACKNOWLEDGED UDP TRAFFIC IN AN IEEE 802.11E/G WLAN

**Sorin COCORADĂ**

Universitatea "Transilvania" din Brașov

**Rezumat.** Întrucât protocolul 802.11 a fost studiat extensiv în literatura de specialitate prin intermediul modelelor analitice sau prin simulări, lucrarea propusă se axează exclusiv pe rețele IEEE 802.11e/g și măsurarea ratei maxime de transfer pentru traficul UDP neconfirmat generat de o singură sursă, fiind diferită de studiile de performanță anterioare. Rețeaua radio 802.11g utilizată în cadrul experimentelor a fost configurată în modul infrastructură și a fost limitată la o singură încăpere. Rețeaua a constat doar dintr-un PC folosit pe post de punct de acces și a altui PC folosit pe post de client. De asemenea, este dedusă și prezentată o formulă a ratei de transfer prognozate care permite compararea valorilor măsurate cu limitele maxime teoretice. În condițiile unui canal apropiat de cel ideal și în cazul în care există puține stații care concurează pentru mediu, NoAckPolicy poate fi utilizată cu succes pentru creșterea ratei de transfer a IEEE 802.11e/g.

**Cuvinte cheie:** 802.11e/g, evaluarea performanțelor, NoAckPolicy, UDP, măsurări

## 1. Introducere

Rețelele locale fără fir IEEE 802.11 s-au bucurat de o creștere spectaculoasă atât pe piața utilizatorilor finali, cât și pe cea destinată aplicațiilor comerciale. Datorită acestui succes, precum și datorită unui raport performanță/preț foarte bun, tehnologia WLAN a început să fie adoptată și în rețele industriale.

Noul standard 802.11e [6] îmbunătățește bine cunoscuta Funcție de Coordonare Distribuită (DCF) printr-o nouă funcție de coordonare numită Funcție de Coordonare Hibridă (HCF). În cadrul HCF, o metoda de accesare a canalului este reprezentat de Accesul DCF Îmbunătățit (EDCA). Mecanismul standard de Acces Multiplu cu Detecție de Purtătoare și Evitarea Coliziunilor (CSMA/CA) este extins astfel încât să permită ajustarea parametrilor MAC care în prealabil erau fișci. Pe măsura creșterii cererii pentru aplicații dependente de calitatea serviciilor (QoS), cum ar fi transmisii de voce sau video peste rețele locale fără fir, se pune problema determinării ratei maxime de

**Abstract.** While the 802.11 protocol has been extensively studied in the literature through analytical modeling and simulations, this work is exclusively concerned with 802.11e/g networks and their throughput measurement under unacknowledged UDP traffic, generated from a single source, being different from other performance studies. The wireless network used for our experiments was configured in infrastructure mode and was confined to a single room. It consists only of a desktop PC acting as an access point (AP), another desktop PC acting as a client. Also, a formula for the expected throughput is deduced and provided which permits to compare the measured values with the theoretical limits. In good channel conditions and when only a very few number of stations are present, the NoAckPolicy can be used to raise the actual throughput of IEEE 802.11e/g.

**Key words:** 802.11e/g, performance evaluation, NoAckPolicy, UDP, measurement

## 1. Introduction

The IEEE 802.11 wireless local area networks market has grown exponentially during recent years, especially in sectors of home networking and consumer electronics. Because of this success, and also due to price-performance improvement, massive shipment volume and stable supply of components, the WLAN technology has begun to be adopted in industrial networks, too.

The new 802.11e [6] enhances the legacy Distributed Coordination Function (DCF) through a new coordination function called Hybrid Coordination Function (HCF). Within the HCF, one method of channel access is the Enhanced DCF Channel Access (EDCA). The standard Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) contention mechanism is extended by allowing the adjustment of MAC parameters that were previously fixed. With the increasing demand for QoS-dependent applications such as voice and video over wireless LANs, it is important to

transfer ce se poate obține în cadrul rețelelor 802.11g+e ca o cerință minimă, necesară în cadrul procesului de proiectare sau extindere a rețelei.

Deoarece mediul de transmisie utilizat de IEEE 802.11 este uneori afectat de zgomote sau nesigur, MAC-ul 802.11 implementează un protocol de transfer al cadrelor care permite sursei unui cadru să determine dacă datele au fost recepționate cu succes de către destinatar. Acest protocol de transfer adaugă o supraîncărcare semnificativă (degradarea lărgimii de bandă și a întârzierilor), mai ales atunci când se transmit cadre scurte [2] sau când mediul de transmisie este foarte apropiat de unul ideal. Pentru a preîntâmpina retransmiterea datelor critice din punct de vedere al timpului de livrare, în scopul implementării aplicațiilor în timp real sau în modul QoS, cadrele pot fi trimise cu politica de neconfirmare (NoAckPolicy) setată, caz în care destinatarul nu mai trebuie să confirme explicit primirea datelor. În cazul unui canal apropiat de cel ideal se poate utiliza NoAckPolicy, iar utilizatorii nivelului MAC (procoloale de nivel superior) vor determina prin intermediul propriilor cronometre sau prin alte mijloace dacă pachetele au fost sau nu pierdute.

Întrucât protocolul 802.11 a fost studiat extensiv în literatura de specialitate prin intermediul modelelor analitice [1] sau simulări, această lucrare diferă de studiile de performanță anterioare [8, 9] deoarece se axează exclusiv pe rețele IEEE 802.11e/g și pe măsurarea ratei maxime de transfer pentru traficul UDP neconfirmat generat de o singură sursă. De asemenea este dedusă și prezentată o formulă a ratei de transfer prognozate care permite compararea valorilor măsurate cu limitele maxime teoretice pornind de la ideea altor studii experimentale [4, 9] care au arătat că între estimările teoretice și performanță practică pot exista diferențe majore.

## 2. 802.11e EDCA pe scurt

În cadrul acestei secțiuni se prezintă sumar conceptele relevante privind nivelele MAC 802.11 DCF și 802.11e EDCA. Mecanismul fundamental de acces este CSMA/CA cu regresie exponențială binară. După detectarea mediului radio ca fiind inactiv pe o perioadă egală cu DIFS, fiecare stație alege un număr aleator care reprezintă intervalul de timp fără transmisii ce trebuie să se scurgă; contorul de timp respectiv este uniform distribuit într-un interval numit Fereastra de Concurență (CW). Timpul este cuantificat, iar contorul este decrementat cu o unitate pe parcursul fiecărei cuante în care mediul este

determine the achievable 802.11g throughput as a minimal requirement for purposes of capacity planning and network extension.

Because the media used by the IEEE 802.11 WLAN are sometimes noisy and unreliable, the IEEE 802.11 MAC implements a frame exchange protocol to allow the source of a frame to determine whether the frame has been successfully received by the destination. This frame exchange protocol adds a significant overhead (bandwidth and delay degradation), especially when transmitting small frames [2]. To avoid retransmission of highly time-critical data, in order to support real-time applications in QoS mode, frames can be sent with the NoAckPolicy set which does not need to be acknowledged by the receiver. In ideal channel conditions, the NoAckPolicy can be used and the users of the MAC, i.e. higher layer protocols, would be left to determine that their packets had been lost through higher layer timeouts or other means.

While the 802.11 protocol has been extensively studied in the literature through analytical modeling [1] and simulations, this work differs from other performance studies in that it is exclusively concerned with 802.11g networks, and their throughput measurement under unacknowledged UDP traffic generated from a single source. We also deduce and provide a formula for the expected throughput which permits us to compare the measured values with the theoretical limits because other experimental studies [4, 9] concluded that there may be differences between practical performance and theoretical estimations.

## 2. 802.11e EDCA summary

In this section we will briefly describe the relevant concepts of the 802.11 DCF and 802.11e EDCA MAC layers. The basic access mechanism is CSMA/CA with binary exponential backoff. On detecting the wireless medium to be idle for a period DIFS, each station chooses a random number which represents the amount of time that must elapse while there are not any transmissions; the resulting counter is uniformly distributed in a range called the contention window (CW). Time is slotted and this counter is decremented once during each slot that the medium is observed idle. When

detectat ca inactiv. Dacă mediul devine ocupat număratoarea descrescătoare este oprită, urmând a fi reluată după ce mediul este inactiv pe o durată egală cu DIFS. În momentul în care contorul ajunge la valoarea zero stația inițiază o transmisie și poate transmite pe o durată mai mică sau egală cu o limită de timp numită Oportunitate de Transmisie (TXOP), definită în cadrul vechilor standarde 802.11a/b/g ca fiind egală cu durata unui pachet. Dacă sursa nu primește o confirmare, deoarece destinatarul nu a trimis-o datorită unor erori în cadrul de date original sau datorită faptului că mesajul de confirmare însuși a fost corupt, sursa va presupune că a avut loc o coliziune. Stațiile implicate în coliziuni dubleză CW-ul (succesiv, până la o valoare maximă  $CW_{max}$ ), aleg un nou contor de regresie după care procesul se repetă. În cazul setării NoAckPolicy, emițătorul nu va putea detecta coliziunile și va presupune că toate cadrele au fost recepționate corect. Odată ce un cadru a fost transmis cu succes, CW este readus la valoarea sa minimă  $CW_{min}$  și se începe decrementarea sa indiferent dacă stația are sau nu un cadru de transmis. Dacă sosește un pachet la nivelul MAC, după ce contorul a atins valoarea zero, stația testează mediul. În cazul în care acesta este liber va transmite imediat, iar în cazul în care mediul este ocupat se alege din intervalul minim o nouă valoare pentru contor. Noul MAC 802.11e permite setarea valorilor pentru DIFS (numit AIFS în cadrul 802.11e),  $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$ , TXOP și NoAckPolicy separat pentru fiecare clasă de trafic.

În cadrul acestui studiu variază parametrii AIFS,  $CW_{min}$  și TXOP. AIFS este ajustabil în unități de cuante de timp 802.11.  $CW_{min}$  și  $CW_{max}$  sunt ajustabili în puteri ale lui doi astfel:  $CW = 2^{eCW} - 1$  cu  $0 \leq eCW \leq 15$ . TXOP reprezintă lungimea unui interval de timp, specificat în microsecunde, ajustabil în trepte de  $32\mu s$  [6].

### 3. Configurația rețelei

Rețeaua radio 802.11g utilizată în cadrul experimentelor a fost configurată în modul infrastructură și a fost limitată la o singură încăpere cu pereți groși (cca. 1m) pentru a preveni interferențe din exterior. Pe parcursul testelor valoarea indicată la receptor a raportului semnal zgomot a fost mai mare sau egală cu 57dBm. Aceasta a fost compusă dintr-un PC de birou pe post de punct de acces și alt PC pe post de client. S-a mai folosit și un al treilea PC, care a rulat Wireshark în modul monitorizare pentru a se încerca distingerea între cadrele pierdute în coada emițătorului și cadrele pierdute pe mediul de transmisie. Nu s-a utilizat un modul de monitorizare pe stația client deoarece procesul de scriere pe disc a

the medium becomes busy, the countdown halts and resumes after the medium is idle again for a period DIFS. When the counter reaches zero, the station attempts transmission and can transmit for duration up to a maximum time TXOP Limit (defined to be one packet in 802.11a/b/g). If the source does not receive an acknowledgement, because the destination did not send one due to errors in the original frame or because the acknowledgement itself was corrupted, the source will assume a collision has occurred. Colliding stations double their CW (up to a maximum value,  $CW_{max}$ ), select a new backoff counter and the process is repeated. If the NoAckPolicy is set, the transmitter cannot detect collisions and it assumes that all frames have been received successfully. Once a frame is successfully transmitted, CW is reduced to its minimal value  $CW_{min}$  and a new countdown starts regardless of the presence of a packet at the MAC. If a packet arrives at the MAC after the countdown is completed, the station senses the medium. If the medium is idle, the station attempts transmission immediately; if it is busy, another backoff counter is chosen from the minimum interval. The new 802.11e MAC enables the values of DIFS (called AIFS in 802.11e),  $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$ , TXOP and NoAckPolicy to be set on a per-class basis for each station.

In this study, we will vary the parameters AIFS,  $CW_{min}$  and TXOP. AIFS is adjustable in units of the 802.11 slot length.  $CW_{min}$  and  $CW_{max}$  are adjustable in powers of two i.e. as  $2^{eCW} - 1$  with  $0 \leq eCW \leq 15$ . TXOP is a length of time, specified in microseconds adjustable in steps of  $32\mu s$  [6].

### 3. Network configuration

The 802.11g wireless network used for our experiments was configured in infrastructure mode and was confined to a single room with thick walls (1m) to avoid external interference. During the tests, the reported SNR at the receiver was greater or equal to 57dBm. It consists of a desktop PC acting as an access point (AP), another desktop PC acting as a client. A third desktop PC running Wireshark in monitor mode was used to distinguish between frames that were dropped at the transmit queue and frames that were lost on the wireless medium. A monitor on the client station has not been used because the process of saving the received frames on the disk negatively affects the

cadrelor recepționate afectează negativ performanțele prin consumarea unor timpi de procesor mari. Toate sistemele a fost echipate cu carduri PCI 802.11b/g ce utilizează chipset-uri Atheros AR5212. Configurația hardware-software a sistemelor este prezentată în tabelul 1.

Tabelul 1. Configurația utilizată

Hardware sistem	Interfață de rețea radio	Sistem de operare	Parametri MAC
Fujitsu-Siemens, P4 3GHz, 512MB RAM	D-Link DWL-G520	Linux - Fedora Core 5 kernel 2.6.18	Preamble: scurt Rată: 54Mbps

Toate nodurile au utilizat ultima versiune a driverului MADWiFi care permite ajustarea parametrilor *CWmin*, *CWmax*, AIFS, TXOP și NoAckPolicy definiți în cadrul 802.11e. Caracteristici nestandard date de producătorul interfeței radio, cum ar fi SuperG, au fost dezactivate. Toate testele au fost efectuate la rata maximă de transfer specificată de standardul 802.11g și anume 54Mbps. RTS/CTS și fragmentarea au fost dezactivate, MTU a fost fixat la valoarea maximă permisă de driver (2290 octeți), iar canalul a fost setat explicit (canal 1 ETSI ISM 2,4GHz). Încărcătura UDP a variat între 100 și 2200 de octeți. Măsurătorile s-au efectuat cu ajutorul utilitarului *iperf*. Datele au fost generate la 54Mbps pentru a asigura că emițătorul are mereu un pachet în coada de transmisie.

#### 4. Calculul ratei maxime de transfer

Se știe că rata de transfer este dependentă de mai mulți factori printre care PER, lungimea pachetelor și rata de bit. Rata de transfer medie este dată de:

$$Rata\ transfer = \frac{Numar\ total\ de\ biti}{Timp\ total} = \frac{Nr.\ pachete \times Incarcatura\ utila}{Timp\ total} \quad (1)$$

În general pentru rate de bit mai mari și pachete de lungimi mai mari se obțin rate de transfer mai bune. Parametrii ce au fost utilizați atât pentru calculele, cât și pentru măsurătorile de față sunt următorii:

##### Lungime cadru

- Antet MAC = 30 octeți
- Antet LLC = 8 octeți
- Antet IP = 20 octeți
- Antet UDP = 8 octeți
- Încărcătură utilă = 100-2200 octeți

##### Spațiere intercadru

- SIFS = 10 μs
- SlotTime = 9 μs

throughput while consuming a large amount of CPU time. All systems are equipped with an Atheros AR5212 802.11b/g PCI card. The system hardware configuration is summarized in Table 1.

Table 1. Tested summary

System hardware	Wireless NIC	Operating System	MAC parameters
Fujitsu-Siemens, P4 3GHz, 512MB RAM	D-Link DWL-G520	Fedora Core 5 kernel 2.6.18	Preamble: short Data rate: 54Mbps

All nodes use the latest version of the MADWiFi wireless driver which allows us to adjust the 802.11e *CWmin*, *CWmax*, AIFS, TXOP and NoAckPolicy parameters. Nonstandard specific vendor features on the wireless card, such as SuperG, have been disabled. All of the tests are performed using the 802.11g physical maximal transmission rate of 54Mbps, RTS/CTS and fragmentation disabled, MTU set at the maximum value allowed by the driver (2290 bytes) and the channel number explicitly set (ETSI channel 1, ISM 2.4GHz). UDP payload varies from 100 to 2200 bytes. Measurements have been done using the *iperf* utility. Data have been generated at 54Mbps to ensure that the sender always has a packet in it's transmit queue.

#### 4. Throughput calculation

It is widely recognized that the throughput depends upon many factors such as PER, packet length and data rate. The average throughput is given by:

$$Throughput = \frac{Total\ Bits}{Total\ Time} = \frac{No.\ Packets \times Payload}{Total\ Time} \quad (1)$$

Generally higher data rates and longer packets provide better throughput. The parameters used for the calculation are as follows:

##### Frame Length

- MAC Header = 30 bytes
- LLC Header = 8 bytes
- IP Header = 20 bytes
- UDP Header = 8 bytes
- Payload = 100-2200 bytes

##### Interframe Spacing

- SIFS = 10 μs
- SlotTime = 9 μs

$$\begin{aligned} AIFS &= SIFS + AIFSN \times SlotTime \\ T_{BACKOFF} &= 0,5 \times CW_{min} \times SlotTime \end{aligned}$$

Temporizare cadru ERP-OFDM

$$\begin{aligned} T_{PREAMBLE} &= 16 \mu s \\ T_{SIGNAL} &= 4 \mu s \\ T_{SYM} &= 4 \mu s \\ N_{DBPS} &= 216 (54Mbps) \\ \text{Signal Extension} &= 6 \mu s \end{aligned}$$

Conform [5, 7] timpul necesar transmiterii unui cadru de date este dat de următoarea formulă:

$$T_{DATA} = T_{PREAMBLE} + T_{SIGNAL} + T_{SYM} \times \left\lceil \frac{(16 + 8 \times FrameLength + 6)}{N_{DBPS}} \right\rceil + SignalExtension \quad (2)$$

unde  $T_{PREAMBLE}$ ,  $T_{SIGNAL}$ ,  $T_{SYM}$ ,  $N_{DBPS}$  și  $SignalExtension$  sunt definiți în tabelul 2, iar  $\lceil a \rceil$  este cel mai mic întreg mai mare sau egal cu  $a$ . Atunci când se utilizează  $TXOP=0$  (după capturarea mediului este permisă transmisia unui singur cadru) durata ciclului de transmisie este:

$$T_{TOTAL} = AIFS + T_{BACKOFF} + T_{DATA} \quad (3)$$

Înlocuind (2) și (3) în (1) se obține rata de transfer pentru parametrii specificați.

Atunci când se setează pentru  $TXOP$  o valoare mai mare decât  $T_{DATA}$ , iar sursa are mai multe cadre în coada de transmisie, aceasta nu concurează pentru mediu la fiecare cadru, ci cadrele consecutive sunt separate doar de SIFS. În acest caz formula ratei de transfer devine:

$$Throughput = \frac{\left\lceil \frac{TXOP}{T_{DATA} + SIFS} \right\rceil \times Payload}{AIFS + T_{BACKOFF} + \left\lceil \frac{TXOP}{T_{DATA} + SIFS} \right\rceil \times (T_{DATA} + SIFS)} \quad (3)$$

Din figura 1 se poate observa că valorile măsurate și cele calculate sunt foarte apropiate (eroare relativă medie de cca. 1%). Din figura 3 se poate trage concluzia că reducerea  $CW_{min}$  de la 1 la 0 nu are nici un efect. Acest fapt a fost confirmat și prin analiza diferențelor dintre timpii de recepționare ai cadrelor succesive înregistrați pe cea de-a treia stație care a monitorizat transmisiile. Pentru valori ale lui  $eCW_{min}$  mai mari de 9 rata de transfer măsurată nu a mai înregistrat variații (a rămas blocată la 165kbps) deși conform calculelor ar fi trebuit să scadă până la 5kbps. Fenomenul poate fi determinat de probleme hardware sau legate de driverul de dispozitiv. Calculele de mai sus sunt valabile în ipoteza că PER este 0%. Estimări ale ratei de transfer pentru canale neideale ( $PER > 0$ ) pot fi consultate în [5].

$$\begin{aligned} AIFS &= SIFS + AIFSN \times SlotTime \\ T_{BACKOFF} &= 0.5 \times CW_{min} \times SlotTime \end{aligned}$$

ERP-OFDM Frame Timing

$$\begin{aligned} T_{PREAMBLE} &= 16 \mu s \\ T_{SIGNAL} &= 4 \mu s \\ T_{SYM} &= 4 \mu s \\ N_{DBPS} &= 216 (54Mbps) \\ \text{Signal Extension} &= 6 \mu s \end{aligned}$$

According to [5, 7] the time needed to transmit a data frame is given by the following formula:

where  $T_{PREAMBLE}$ ,  $T_{SIGNAL}$ ,  $T_{SYM}$ ,  $N_{DBPS}$  and  $SignalExtension$  are defined in table 2;  $\lceil a \rceil$  is the smallest integer value greater than or equal to  $a$ . When using  $TXOP=0$  (after capturing the medium a single frame may be transmitted), the transmit cycle duration is:

The throughput for the specified parameters can be obtained by replacing (2) and (3) in (1).

When using a value of  $TXOP$  greater than  $T_{DATA}$  the sender does not contend for the medium at every frame, i.e. subsequent frames are separated only by a SIFS. In this case the throughput formula becomes:

Figure 1 shows that the measured and expected values are very close (average relative error about 1%). From Figure 3, we can conclude that reducing  $eCW_{min}$  from 1 to 0 has no effect. This fact has been also confirmed by analyzing the delta MAC Time from the capture files on the third station acting as sniffer. For values of  $eCW_{min}$  greater than 9, the measured throughput does not vary any longer (freezes at 165kbps), although, according to the calculations, it must decrease to 5kbps. The problem may be caused by a driver or hardware issue. The above calculations have been done in the assumption that PER is 0%. Throughput estimation for non ideal channels ( $PER > 0$ ) has been done in [5].

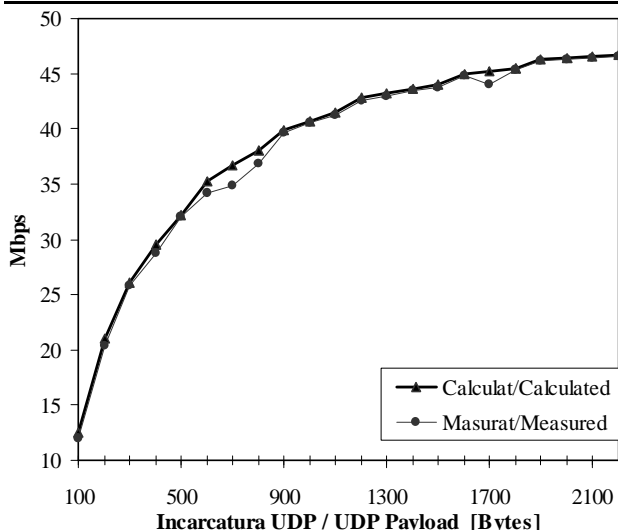


Fig. 1. Rata de transfer cu  $eCW_{min} = 0$ , AIFS = 0, TXOP = 8192  
 Fig. 1. Throughput with  $eCW_{min} = 0$ , AIFS = 0, TXOP = 8192

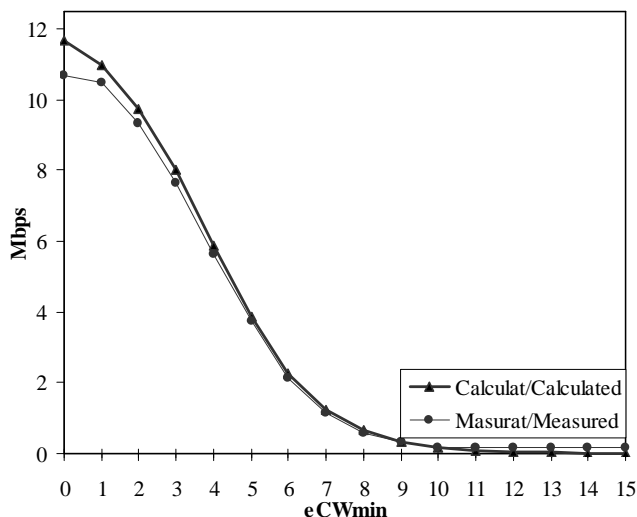


Fig. 2. Rata de transfer pentru AIFS = 0, TXOP = 0, Payload = 100  
 Fig. 2. Throughput with AIFS = 0, TXOP = 0, Payload = 100

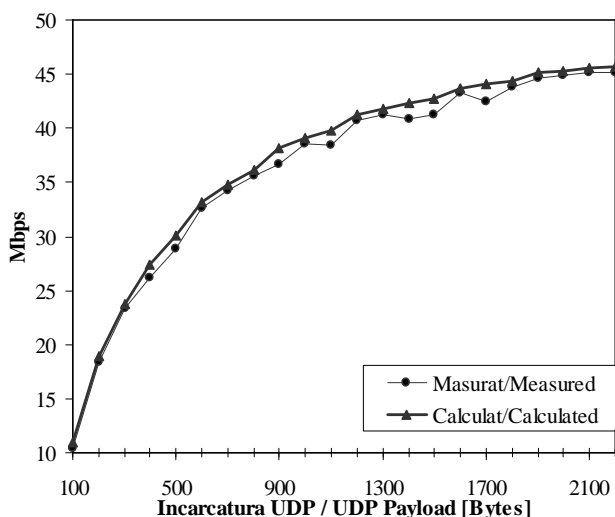


Fig. 3. Rata de transfer cu  $eCW_{min} = 0$ , AIFS = 0, TXOP = 0  
 Fig. 3. Throughput with  $eCW_{min} = 0$ , AIFS = 0, TXOP = 0

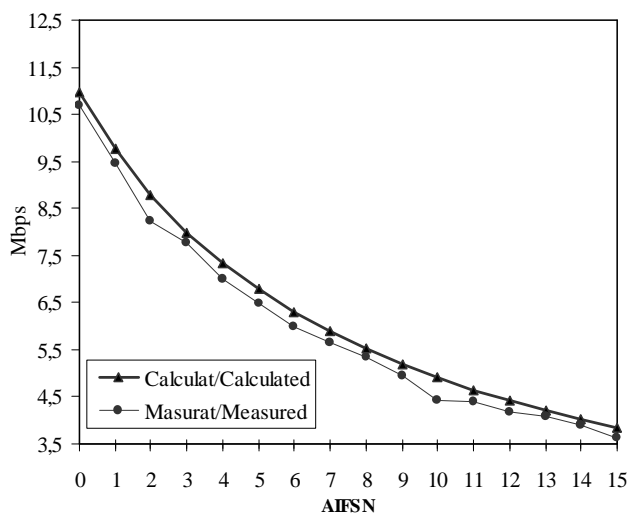


Fig. 4. Rata de transfer cu  $eCW_{min} = 0$ , Payload = 0, TXOP = 8192  
 Fig. 4. Throughput with  $eCW_{min} = 0$ , Payload = 0, TXOP = 8192

### 5. Concluzii

În prezentă lucrare s-a măsurat rata de transfer pentru traficul UDP neconfirmat într-o rețea IEEE 802.11e/g în condiții de saturație. Din figura 1 și figura 2 se poate observa că rata de transfer este puternic dependentă de lungimea pachetelor. Acest lucru se explică prin faptul că supraîncărcarea (antetele pentru nivelurile fizic, legătură de date, rețea și transport) este considerabil mai mare raportată la durata de transmisie a pachetelor atunci când pachetele sunt mici.

Acceptând ipoteză că setarea  $eCW_{min}$  la 0

### 5. Conclusion

In this paper, is measured the throughput of unacknowledged UDP traffic in an IEEE 802.11e network, operating in the 2.4 GHz band in saturation conditions. From Figure 1 and Figure 2, we can see that throughput is packet length dependent. This can be explained by the fact that the overheads (physical, data link, network, and transport headers) are considerably longer, as compared with the data transmission duration, if packets are small.

Using the assumption that setting  $eCW_{min}$  at

reprezintă de fapt  $eCW_{min} = 1$  diferența relativă dintre valorile măsurate și cele calculate se reduce de la 4,5% (figura 2) la 2,3% și de la 8% (figura 4) la 4%. Diferențele rămase se pot explica prin pierderea unor pachete de către mediul de transmisie sau ratarea unor întreruperi la receptor.

Acest studiu indică faptul că în condiții aproape ideale și controlate, rata de transfer măsurată pentru 802.11g îmbunătățit este mult sub 54Mbps. Cu o încărcătură UDP utilă de 2200 de octeți, TXOP setat la valoarea maximă,  $CW_{min}$  și AIFS setate la minim, s-a obținut o rată de transfer de 46,5Mbps, ceea ce reprezintă doar 86% din rata de transfer brută a canalului. În condițiile unui canal bun și în cazul în care există puține stații care concurează pentru mediu NoAckPolicy poate fi utilizată cu succes pentru creșterea ratei de transfer a IEEE 802.11e/g.

0 actually means  $eCW_{min} = 1$ , the relative difference between the measured and calculated values is reduced from 4.5% (Figure 2) to 2.3% and from 8% (Figure 4) to 4%. The remaining differences can be explained by lost frames on the wireless medium or by interrupt failures in the case of the receiver.

These studies indicate that even under controlled and ideal conditions, measured throughput of the enhanced 802.11g is far below 54Mbps. Provided there is a UDP payload of 2200 bytes, the TXOP is set at maximum,  $CW_{min}$  and AIFS are set at minimum, a transfer rate of 46.5Mbps has been achieved which represents only 86% of the channel raw data rate. In good channel conditions and when only a small number of stations are present, we can use the NoAckPolicy to raise the actual throughput of IEEE 802.11g.

## Bibliografie

1. Bianchi, G.: *Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 3, March, 2000, p. 535-547, ISSN 0733-8716, Piscataway, USA
2. Dangerfield, I., Malone, D., Douglas, D.J.: *Experimental Evaluation of 802.11e EDCA for Enhanced Voice over WLAN Performance*. International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks 2006 4th, IEEE Communications Society, p. 1-7, ISBN 0-7803-9550-6, Boston, USA, April, 2006, IEEE Communications Society, Boston, USA
3. Ferre, P., Doufexi, A., Nix, A., Bull, D.: *Throughput Analysis of IEEE 802.11 and IEEE 802.11e MAC*. Wireless Communications and Networking Conference, IEEE Communications Society, p. 783-788, ISSN 1525-3511, Atlanta, USA, March, 2004, IEEE Communications Society, Atlanta, USA
4. Gast, M.: *When is 54 Not Equal to 54? A Look at 802.11a, b, and g Throughput*. Available at: [http://www.oreilly.com/pub/a/wireless/2003/08/08/wireless\\_throughput.html](http://www.oreilly.com/pub/a/wireless/2003/08/08/wireless_throughput.html). Accessed: 2007-01-05
5. Ho, M., Wang, J., Shelby, K., Haisch, H.: *IEEE 802.11g OFDM WLAN Throughput Performance*. IEEE 58th Vehicular Technology Conference, IEEE Vehicular Technology Society, p. 2252-2256, ISBN 0-7803-7955-1, Orlando, USA, October, 2003, IEEE Vehicular Technology Society, Orlando, USA
6. \* \* \*: *IEEE 802.11e, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements*. Available at: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>. Accessed: 2007-02-05
7. \* \* \*: *IEEE 802.11g, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band*. Available at: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>. Accessed: 2007-02-05
8. Wijesinha, A.L., Song, Y., Krishnan, M., Mathur, V., Ahn, J., Shyamasundar, V.: *Throughput Measurement for UDP Traffic in an IEEE 802.11g WLAN*. Proceedings of the Sixth International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing and First ACIS International Workshop on Self-Assembling Wireless Networks (SNPD/SAWN'05), IEEE Computer Society, p. 220-225, ISBN 0-7695-2294-7, Towson, USA, May, 2005, IEEE Computer Society, Towson, USA
9. Xiao, Y., Rosdahl, J.: *Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11*, IEEE Communication Letters, Vol. 6, No. 8, August, 2002, p. 355-357, ISSN 1089-7798, Piscataway, USA

Lucrare primită în decembrie 2006  
și în formă revizuită în februarie 2007

Received in December 2006  
and revised form in February 2007