

# 802.11b утасгүй сүлжээн дээгүүр TCP протоколын дамжуулах чадамжийг үнэлэх математик загвар

Я.Дашдорж, П. Минж

Шинжлэх Ухаан Технологын Их Сургуулийн  
Компьютерийн Техник Менежментийн Сургууль  
эмайл: dashdorj@must.edu.mn

*Хураангуй*— Орчин үед утасгүй сүлжээний ашиглах цар хүрээ улам өргөжин тэлж байгаа өнөө үед түүний дамжуулах чадварыг зуун хувь ашиглаж чадахгүй байгаа шалтгааныг зөвхөн (TCP) дамжуулах давхаргын төвшинд түүний дамжуулах чадвар болон пакетын уртаас хамаарахыг туршилтын болон математик загвараар анализ хийж үзсэн. Судалгааны ажлын явцад AP руу холбогдож байгаа клиент компьютерүүдийн нэг нь ямар нэг шалтгаанаар алдаа гарч хурдыг багасган дахин дамжуулалт хийх үед тэр AP-тэй холбоотой бүх клиент компьютерүүдийн хурд нь дагаад багасаж байна. Мөн туршилт болон математик загвар дээр анализ хийх үед дамжуулах пакетын хэмжээ том байх үед дамжуулах чадвар өндөр байгаа нь ажиглагдаж байсан.

*Түлхүүр үг*— Утасгүй сүлжээ, Пакет, Хугацааны Слойт, Фрейм

## I. УДИРТГАЛ

Орчин үед утасгүй сүлжээний хэрэглээ жилээс жилд экспоненциаль хэлбэрээр өсөж байна, Их дээд сургууль, зочид буудал, нисэх онгоцны буудал гэх мэт газар 802.11 утасгүй сүлжээний технологийг суурилуулснаар зөврийн компьютер, ухаалаг гар утас гэх мэт төхөөрөмжөөр дурын газраас дурын цагт холбогдох боломжтой болсон. 802.11[1] технологи нь жилээс жилд шинээр шинэ сервисүүдийг нэмж мөн мультимедиа болон нууцлал хамгаалалтын шаардлагыг өндөр төвшинд хангаж өгсөн. Энэ утасгүй сүлжээний технологи нь 2 янзын PCF (Point Coordination Function), DCF (Distributed Coordination Function) гэсэн горимд мэдээллийг дамжуулж байна. PCF горим нь хугацааны тодорхой интервал дотор тодорхой клиент компьютертэй холбогдон мультимедиа болон IPTV гэх мэт хүлээлтийн хугацаа болон пакетийн хаягдлаас хамааралтай аппликашинд сервис үйлчилгээг хангаж өгдөг. DCF горимыг утасгүй дотоод (WLAN) сүлжээнд өргөн хэрэглэх ба CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) протоколоор дамжуулах орчноо хувааж ашиглана. Өгөгдөл дамжуулахдаа тухайн орчныг чөлөөтэй үгүйг шалгах бөгөөд хэрэв тухайн дамжуулах орчин нь өгөгдөл дамжуулж байгаа үед uniform төрлийн санамсаргүй тоог сонгож 20μSec интервал бүхий нэг слотын хугацаа болон тодорхой тооны слотыг сонгож авна. Харин ижил утга сонгосон үед тухайн клиент компьютерүүд зэрэг орчныг ашиглаж эхлэснээр сигналын харшилдаан үүснэ. Энэ шалтгаанаас болж утасгүй сүлжээний дамжуулах чадварыг багасгана. Мөн бидний

авч үзэж буй ажлаар TCP протоколын давхаргад PCATTCP багаж болон идэвхгүйгээр дамжуулах зуравсыг хэмжигч багажаар зурвасын өргөний хэмжээг хэмжиж тодорхой математик илэрхийлэлтэй харьцуулж үзсэн. Энэ судалгааны ажил нь дараах бүлгүүдээс бүрдэнэ: II бүлэг DCF дамжуулах арга, III бүлэг нь утасгүй сүлжээний траффикыг хэмжиж анализ хийх, IV бүлэгт фреймын дамжуулах чадварт математик загвар хийх, V бүлэгт дүгнэлт багтсан.

## II. DCF ДАМЖУУЛАХ АРГА

Энэ нь утастай сүлжээг бодвол нилээн нийлмэл орчинд тусгай алгоритмоор өгөгдлийг дамжуулна. Энэ 802.11 стандарт нь ерөнхийдөө дараах хоёр давхаргаас бүрдэнэ. MAC давхарга, Физик давхарга (Physical layer). Утасгүй дотоод сүлжээний стандартыг дараах байдлаар ангилж үзнэ[1, 2]:

- 802.11b – DSSS давтамж нь 2.4GHz ба дамжуулах физик хурд нь 1, 2, 5.5, 11 Mbps
- 802.11g—OFDM давтамж нь 2.4GHz ба дамжуулах хурд нь 1, 2, 5.5, 11, 22 Mbps
- 802.11a—OFDM давтамж нь 5GHz ба дамжуулах хурд нь 6, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps

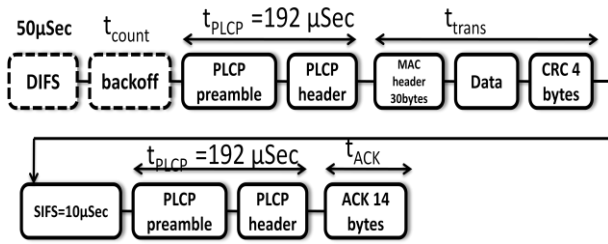
Хүснэгт 1 (802.11 MAC-PHY давхаргын параметрууд)

Төрөл	Дамжуулах хурд (Mbps)	DIFS (μSec)	SIFS (μSec)	SLOT (μSec)	PHY (μSec)
802.11b	1, 2, 5.5, 11	50	10	20	192, 96
802.11g	6, 9, 18, 24, 36, 48, 54	28	10	9	22

Хүснэгт 1-т үзүүлсэн үзүүлэлтүүд нь тухайн 802.11 төрлөөсөө хамаарч утга нь өөр өөр байдаг байна.

Компьютер шинээр пакет дамжуулахдаа DISF хугацааны турш ажиглалт хийгээд хэрэв дамжуулах суваг чөлөөтэй бол пакетыг дамжуулна. Хэрэв дамжуулах суваг чөлөөтэй биш бол uniform төрлийн санамсаргүй тоон генератораас бүхэл тоо сонголт хийж тодорхой хугацааны турш хүлээлт хийх болно. Энэ хугацаа нь сигналын харшилдаан үүсэхээс зайлсхийх магадлалыг ихэсгэдэг бөгөөд тус хугацааг

contention window size гэж нэрлэж CW-гээр тэмдэглэнэ. Бид зураг 1 дээр DCF горимд фрейм дамжуулах схемг нарийвчлан үзүүлээ.



Зураг 1 DCF-ийн фрейм дамжуулах схем

Хэрэв тухайн эгшинд сигналын харшилдаан үүссэн бол CW-ийн хэмжээг хоёр дахин ихээр сонгож үүнийгээ нэг нэгээр хорогдуулж хүлээх ба суваг чөлөөтэй болсон үед фреймын дамжуулалт хийгдэнэ.  $[0, CW] * Slot$  энэ нь backoff хийх хугацаа бөгөөд  $CW_{min} = 31$  ба  $CW_{max} = 1023$  байна гэж үзье[3].

Одоо бид тухайн суваг дээр сигналын харшилдаан үүсэх магадлалыг  $p$  гэж үзэх юм бол харшилдаан үүсэхгүй байх магадлал нь  $(1-p)$  гэж үзье[4, 5].

$$W_{avg} = \sum p_i * \frac{(2CW_i - 1)}{2} = (1 - p) * \left(\frac{2CW_i - 1}{2}\right) + (1 - p) * p * \left(\frac{2 * (2CW_i - 1)}{2}\right) + \dots$$

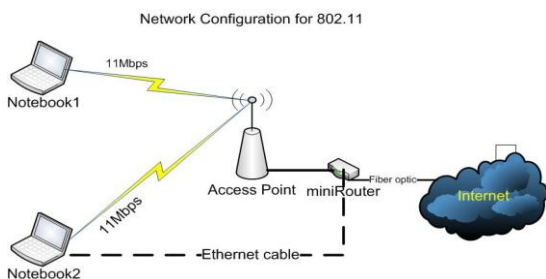
Энд зарим нэг математик хувиргалтыг хийснээр доорх (1) тэгшитгэлийг гаргаж авна.

$$p_c = 1 - \left(1 - \frac{1}{CW_{min}}\right)^{N-1} \quad (1)$$

(1) нь сигналын харшилдаан үүсэх магадлал гэж үзье.

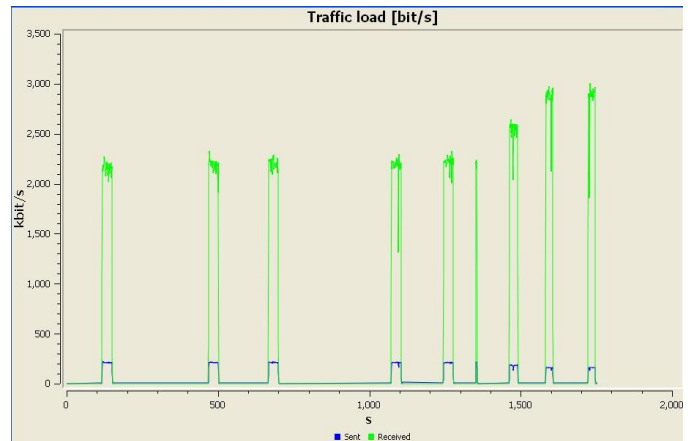
III. УТАСГҮЙ СҮЛЖЭЭНИЙ ТРАФФИКЫН ХЭМЖИЛТЫГ ХИЙЖ АНАЛИЗ ХИЙХ

802.11b AP-ээ интернэтийн сүлжээ рүү холбох, хоёр ширхэг зөөврийн компьютер дээр PCATTCP багаж болон wireshark, пассив траффик хэмжигчийг татаж суулган мөн зураг 2-т үзүүлсэн ёсоор холболт хийнэ.

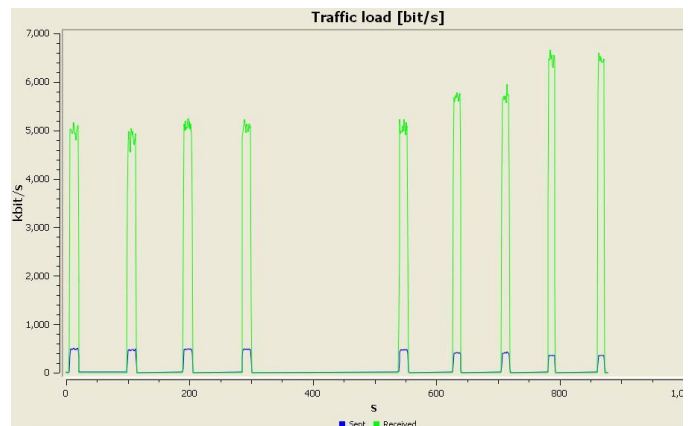


Зураг 2 Утасгүй сүлжээний ерөнхий схем

Зураг 2-т үзүүлсэн ёсоор эхнийх нь Windows 7, дараагийн нь UBUNTU 12.04 үйлдлийн систем бүхий хоёр зөөврийн компьютер дээр PCATTCP болон TTCP, пассив траффик хэмжигч програмуудыг суулгана.



Зураг 3 WiFi to WiFi холболтын үе дэхь дамжуулах зурвас (250KB)



Зураг 4 WiFi to Ethernet холболтын үе дэхь дамжуулах зурвас (660KB)

Зураг 3, 4 дээрээс харахад AP рүү хоёр зөөврийн компьютерээр WiFi-гийн 11Mbps-ийн хурдаар холбогдон пассив траффик хэмжигчээр хүснэгт II-т үзүүлсэн байтын хэмжээтэй өгөгдөл дамжуулахад ойролцоогоор 260KB хурдны зурвас гарч байна.

Хүснэгт II(WiFi to WiFi and WiFi to Ethernet)

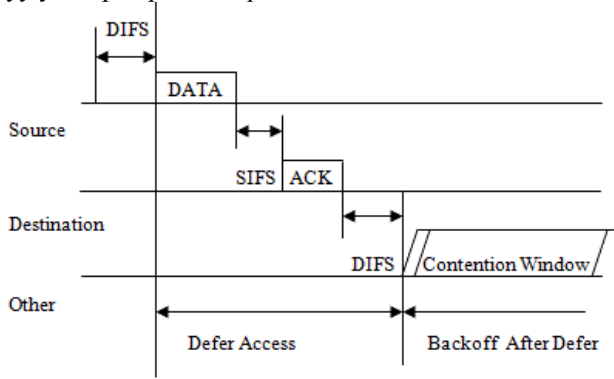
№	Byte size (байт)	Пакетын тоо	Дамжуулах чадвар (KB) WiFi-WiFi	Дамжуулах чадвар (KB) WiFi-Ethernet
1	32	262144	244	567
2	64	131072	248	553
3	128	65536	249	580
4	256	32768	247	577
5	512	16384	252	551
6	1024	8192	254	660
7	2048	4096	292	661
8	4096	2048	334	759
9	8192	1024	336	761

Бид PCATTCP болон пассив дамжуулах зурвас хэмжигчийн тусламжтайгаар тодорхой хугацааны интервал дотор өөр өөр хэмжээтэй пакетыг мөн өөр өөр тоогоор утасгүй сүлжээнээс утасгүй сүлжээ рүү болон

утасгүй сүлжээнээс утастай сүлжээ рүү дамжуулахад сувгийн дамжуулах хэмжээ нь WiFi to WiFi болон WiFi to Ethernet сүлжээн дээр өөр өөр байсан нь хүснэгт II дээрээс харагдаж байна.

IV. ФРЕЙМЫН ДАМЖУУЛАХ ЧАДВАРД МАТЕМАТИК ЗАГВАР ХИЙХ

Өгөгдлийг дамжуулах давхарга дээр фрейм дараах схемн дагуу утасгүй сүлжээгээр дамждаг.



Зураг 1a Өгөгдөл дамжих фреймын загвар

Нэг компьютер өгөгдөл дамжуулахдаа тухайн дамжуулах сувгийг шалгаж үзээд чөлөөтэй бол DIFS хугацааны турш хүлээгээд өгөгдлийг дамжуулаад дараа нь SIFS хугацааны турш хүлээж үүний дараа хүлээн авсан талын компьютер баталгаажуулагч ACK пакетийг илгээж нэг фреймыг бүрэн дамжуулж дуусдаг[6].

Зураг 1 дээрээс бүтэн нэг фрейм дамжуулахад дараах хугацааг зарцуулж байгааг харж болно. [2, 7]:

$$t_{frame} = t_{headers} + t_{trans} \quad (2)$$

$t_{header} = DISF + t_{PLCP} + SIFS + t_{PLCP} + t_{ACK}$   
Тэгшитгэл (1) нь тухайн үед сигналын харшилдаан үүсэх үеийн магадлал нь хэрэглэгчийн тооноос хамраач байгааг авч үзвэл  $t_{count}$  хугацааг (2) тэгшитгэл дээр авч тооцвол, фреймын дамжуулах хугацаа нь дараах хэлбэртэй байх болно.

$$t_{frame}(N) = t_{headers} + t_{trans} + t_{count}(N) \quad (3)$$

$$\text{Энд } t_{count}(N) = SLOT_T * \frac{1+P_c(N)}{2N} * \frac{CW_{min}}{2}$$

$$SLOT_T = 20\mu Sec$$

Энэ үед дамжуулах чадвар нь дараах хэлбэртэй болно.

$$through_p = \frac{t_{trans}}{T(N)} \quad (4)$$

Хүснэгт III IEEE802.11b overhead

№	items	Rate and Bits
1	Idle rate	1Mbps
2	Full rate	11Mbps
<b>PLCP Header</b>		
1	Preamble	128bits
2	SOF	16 bits
3	Speed	8 bits
4	Service	8 bits
5	Length	16 bits
6	CRC	16bits
Total length=192bits		
<b>MAC header</b>		
1	FC	16bits
2	ID	16bits
3	Address1	48bits
4	Address2	48bits
5	Address3	48bits
6	SC	16bits
7	Address4	48bits
8	CRC	32bits
Total length=272bits		

Энэ хүснэгт III дээр IEEE802.11b-гийн overhead мэдээллийн ерөнхий уртыг гаргах зорилгоор авч үзнэ. Одоо IEEE802.11b технологийн сувгийн utilization  $\rho$ -ийг тодорхойлье.

$t_{trans} = \frac{l_{frame}}{R}$  энд  $l_{frame}$  нь дамжих фреймын урт гэж үзнэ. Тэгвэл N хэрэглэгч хос хоёрын хооронд үүсэх сигналын харшилдан үргэлжлэх хугацааг  $t_{coll_{dev}} = \frac{2}{N} * t_{frame}$

$$\rho_{frame} = \frac{t_{frame}}{(N-1) * t_{frame} + P_c(N) * t_{coll_{dev}} * N} \quad (5)$$

Utilization нь нэг фреймыг илгээх хугацааг бусад илгээгч нарын илгээсэн фреймын хугацаан дээр N тооны хэрэглэгчийн сингалын харшилдааны үүсэх хугацааг, харшилдаан үүсэх магадлалаар үржүүлж нэмсэнтэй харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогдоно гэж үзье.

Тэгшитгэл (5)-ийг ашиглан дамжуулах чадварыг үнэлье.

$$throughput = \rho_{frame} * \frac{l_{frame}}{t_{frame}} \quad (6)$$

Энэ (6) тэгшитгэл дээр (5) тэгшитгэлийг орлуулж зарим хувиргалт хийснээр throughput нь дараах хэлбэртэй болно.

$$throughput = \frac{l_{frame}}{(N-1) * t_{frame} + P_c(N) * t_{coll_{dev}} * N} \quad (7)$$

Энэ (7) тэгшитгэл нь зөвхөн MAC давхарга дахь дамжуулах чадварыг үнэлнэ. Одоо TCP протоколын

дамжуулах чадварыг үнэлэх загварыг дараах байдлаар авч үзье.

4-давхарга буюу өгөгдөл дамжуулах (TCP, UDP ) давхарга нь хоёр сүүлийн компьютерийг хоорондоо холбож мэдээллийг алдаагүй, тодорхой дамжуулах зурвасыг хянах, мөн алдаа илэрсэн тохиолдолд дахин дамжуулах зэрэг найдвартай ажилгааны функцүүдтэй байдаг. Энд 3 (way handshaking) удаа гар барих буюу холболт тогтоогоод дараа нь өгөгдлийг дамжуулдаг бол бидний энэ ажлаар зөвхөн өгөгдлийг дамжуулаад түүнийг баталгаажуулах ACK пакетыг дамжуулна. Үүн дээр загвараа хийж дамжуулах чадварыг үнэлэх зорилго тавьсан. Дараа нь үнэлсэн утга туршилтын утга 2-ыг хооронд нь харьцуулна[6].

TCP-ийн өгөгдлийн сегмент:

- DIFS
- TCP-ийн өгөгдлийн сегмент
- SIFS
- 802.11b-гийн ACK фрейм

TCP-гийн ACK пакет:

- DISF
- TCP-гийн ACK фрейм
- SIFS
- 802.11b-гийн ACK фрейм

Дараах хүснэгтээр өгөгдөл дамжуулах хугацаа болон дамжуулах өгөгдлийн урт болон толгойн мэдээллүүдийг өгнө[8].

Хүснэгт IV: Фреймын толгой мэдээлэл болон дамжуулах хугацаа

№	Толгой мэдээлэл	TCP data (Sec)	TCP ack (Sec)
1	$t_{DIFS}$	0.000050	0.000050
2	$t_{PLCP}$	0.000192	0.000192
3	$t_{MAC\_HEADER}$	0.000025	0.000025
4	$t_{IP\_HEADER}$	0.000015	0.000015
5	$t_{TCP\_HEADER}$	0.000015	0.000015
6	$t_{TCP\_data}$	0.001062	
7	$t_{SIFS}$	0.000010	0.000010
8	$t_{MAC\_ACK}$	0.000010	0.000010
9	Total time	0.001451	0.000317
10	IP header (B)	20	20
11	TCP header(B)	20	20
12	TCP data ( $l_{frame}$ )(B)	1460	
13	802.11 payload(B)	1534	74
14	Payload time (Sec)	0.00115	
Throughput(bps)		8049620	
Average throughput (bps)		7306334	

Бид энэ IV хүснэгтэнд өгөгдсөн өгөгдөл дээр боловсруулалт хийж тухайн нэг TCP сегментыг дамжуулахад түүний дамжуулах чадварыг болон дундаж

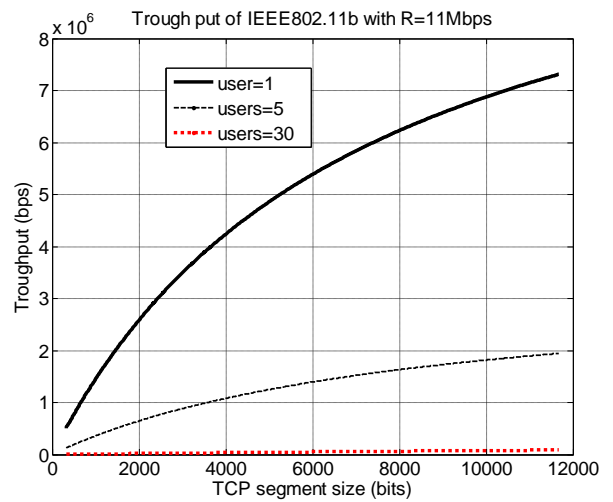
дамжуулах чадварыг үнэллээ. (7) тэгшитгэлээс дараах хэлбэртэй болно.

$$t_{header} = 2 * (t_{DIFS} + t_{PLCP} + t_{MAC} + t_{IP} + .. + t_{TCP} + t_{SIFS} + t_{MAC\_ACK}) \quad (8)$$

$$t_{trans} = t_{TCP\_DATA} + t_{TCP\_ACK} \quad (9)$$

$$t_{frame} = t_{header} + t_{trans} + t_{count} (N) \quad (10)$$

$$throughput = \frac{l_{frame}}{(N - 1) * t_{frame} + P_c(N) * t_{coll\_dev} * N} \quad (11)$$



Зураг 5: Дамжуулах чадвар (bps)

Зураг 5 дээр дамжуулах чадвар нь TCP давхаргын өгөгдлийн сегментээс хамаарсан хамаарал. Энд хэрэглэгчийн тоо нэмэгдэхэд дамжуулах чадвар эрс буурч байгаа болон сегментын хэмжээ нэмэгдэхэд түүний дамжуулах чадвар нэмэгдэж байгаа нь ажиглагдаж байна.

## V. Дүгнэлт

Бидний авч үзсэн энэ судалгааны ажлаар утасгүй сүлжээний орчинд яг физик түвшний дамжуулах хурдыг бүрэн дүүрэн ашиглах боломж байхгүй болохыг харууллаа. Түүнийг ойролцоогоор 50% орчмыг л ашиглах ба хэрэглэгчийн тоо ихсэхээр мөн дамжуулах чадвар нь буурч байсан ба тухайн сүлжээн дээр үүсэх сигналын харшилдаан нь нэмэгдэх магадлал өндөр болж байна. Нэг давуу тал нь хэрэв дамжуулах пакетын хэмжээг ихэсгэснээр дамжуулах үед түүний дамжуулах чадвар нэмэгдэж байгаа нь манай зураг 5 дээрээс ажиглагдаж байна. Цаашид энэ ажлыг өргөтгөн UDP протокол дээр судалгааг хийх боломжтой.

## VI. НОМ ЗҮЙ

1. OHRTMAN, F. and K. ROEDER, *Wi-Fi Handbook: Building 802.11b Wireless Networks* 2003: McGraw.
2. Stanislav ZVANOVEC, Pavel PECHAC, and Martin KLEPAL, *Wireless LAN Networks Design: Site Survey or Propagation Modeling?* . RADIO ENGINEERING, 2003. **Vol. 12 No. 4**: p. 236-244.
3. Ad Kamerman and Leo Monteban, *WaveLAN-II: A high-Performance Wireless LAN for the Unlicensed band*. Bell Labs technical Journal, 1997. **Vol.2, No.3**: p. 118-133.
4. Hyogon KIM, Jongwon YOON, and Heejo LEE, *Error Bound of Collision Probability Estimation in Non-saturated IEEE 802.11 WLANs*. IEICE TRANS COMMUN, 2007. **Vol.E90-8 No. 7**: p. 1-2.
5. Michael Khishnan, Sofie Pollin , and Avideh Zakhor *Local Estimation of Collision Probabilities in 802.11 WLANs with Hidden Terminals*, in *Proceeding of IEEE GLOBECOM 2008*. 2008: San Francisco, California. p. 150-156.
6. Matthew. S, *802.11 Wireless Networks the Definitive Guide*. 2005, Cambridge, UK: O'Reilly Media, Inc.
7. Giuseppe Bianchi, *Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function*. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, 2000. **Vol. 18 No. 3**: p. 535-547.
8. Andrzej Duda, *Understanding the Performance of 802.11 Networks*, in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on*. 2008: LIG Lab., Grenoble Inst. of Technol., Grenoble p. 1-6.