

Computer Systems Performance Analysis & Benchmarking

Power Consumption Comparison Of IEEE 802.11b W-LAN PCMCIA Cards

Stromverbrauchsvergleich zwischen IEEE 802.11b W-LAN PCMCIA Karten

Rainer Baumann und Jean-Daniel Merkli
Departement für Informatik der ETH Zürich

31. Januar 2002

Inhalt

1. Abriss
 2. Stromvergleich zwischen W-LAN PCMCIA Karten
 - a. Motivation
 - b. Ziele
 - c. Faktoren
 - d. Die IEEE 802.11b W-LAN PCMCIA Karten
 - e. Angaben der Hersteller
 - f. Messanordnung / Messgerät
 - g. Geplantes Experimental Design und Workload
 3. Erste Versuchsreihe
 - a. Messanordnung
 - b. Workloads / Messreihe
 - c. Neudefinition der Zielsetzung
 - d. Analyse und Interpretation
 4. Zweite Versuchsreihe
 - a. Messanordnung
 - b. Workloads / Messreihe
 - c. Neudefinition der Zielsetzung
 - d. Analyse und Interpretation
 5. Fazit
 6. Literatur
- Anhang
- Berechnungen und Plots
 - Messungen

1. Abriss

Ziel dieses Projektes war es, den Stromverbrauch unterschiedlicher Wireless-LAN Karten zu vergleichen. Aufgrund der uns zur Verfügung stehenden instabilen Infrastruktur und der Schwierigkeit an sich, über ein Wireless-LAN eine Kommunikationsverbindung mit relativ stabiler Übertragungsqualität aufzubauen, wurde das Ziel von zuverlässigen Messwerten verfehlt. Jedoch konnte in den durchgeführten Versuchen ein direkter Zusammenhang zwischen Datendurchsatz und Stromverbrauch sowie ein unterschiedlicher Stromverbrauch verschiedener W-LAN Karten nachgewiesen werden.

2. Stromvergleich zwischen W-LAN PCMCIA Karten

Vorbemerkungen

Mit den Bezeichnungen und den Strukturen versuchten wir uns möglichst an [Jain91] zu halten. Dies trifft insbesondere auf die statistischen Auswertungen und Berechnungen zu.

Motivation

Die Zeit des Mobile Computing ist gekommen. Die Anzahl mit Laptop ausgerüsteter Studenten steigt rasant an. Der Zugang zum Internet über Wireless-LAN (W-LAN) ist schon fast zu einer Selbstverständlichkeit geworden. Aber das mobile Arbeiten mit Laptop oder anderen W-LAN-kompatiblen Mobile Devices wird immer noch stark eingeschränkt durch deren hohen Stromverbrauch und den derzeit erhältlichen Batteriekapazitäten. W-LAN PC-CARDS tragen, wie die durchgeführten Messungen zeigen, besonders bei hoher Benutzung stark zum Stromverbrauch von solchen Devices bei. [Tan01]

Ziel

Ziel dieser Studie ist es, im realen Einsatz den Stromverbrauch verschiedener W-LAN Karten zu messen und zu vergleichen. Die Messungen sollen, nicht zuletzt wegen der hohen Komplexität des IEEE 802.11b Standards, auf realitätsnahen Workloads beruhen.

Faktoren

Die bestimmenden Faktoren sind die Wahl der Karte sowie deren Modus.

Die untersuchten Karten

1. CISCO AIR-PCM 350
2. Dell Truemobile 1150
3. Lucent WaveLAN

Die untersuchten Modi

1. Idle/Sleep
2. Receive
3. Transmit
4. Unplugged

Die IEEE 802.11b W-LAN PCMCIA Karten

Wireless-LAN Karten, die dem IEEE 802.11b Standard entsprechen, besitzen vier, im folgenden kurz erläuterte Modi [IE] : Transmit, Receive, Idle und Sleep.

Transmit (Tr)

Im Sendemodus werden von der Karte elektromagnetische Signale im 2.4GHz Band erzeugt. Die Karten arbeiten typischerweise mit mehreren Sendestärken, je nach Signalqualität und Übertragungsgeschwindigkeit. Der Stromverbrauch ist sehr gross.

Receive (Rv)

Der Empfangsmodus arbeitet sehr konstant auf einem gleichbleibenden Stromniveau, da er keine Elektromagnetische Signale erzeugen, sondern nur empfangen und verarbeiten muss. Der Stromverbrauch ist gross.

Idle

Im Wartemodus ist die Karte unverzüglich bereit in die Sende- und Empfangsmodi umzuschalten, verbraucht aber immer noch eine erhebliche Menge Strom.

Sleep (Slp)

Im Schlafmodus benötigt die Karte eine längere Reaktionszeit bis sie in die Sende- und Empfangsmodi umschalten kann, verbraucht aber weniger Strom als im Wartemodus. Nach kurzer Inaktivität schaltet die Karte hardwaremässig vom Idle in den Sleep-Modus um.

Jedoch bewirken Housekeeping-Aktivitäten eines Wireless-Netzwerkes einen ständigen Wechsel zwischen dem Idle und Sleep-Mode. Aus diesem Grund war es im Rahmen dieses Experimentes nicht möglich, die beiden Modi Idle und Sleep separat zu messen. Deshalb, und mit der getroffenen Annahme, dass Housekeeping-Aktivitäten bei allen Karten etwa gleich gross sind, werden Idle/Sleep-Modi im Rahmen dieses Experimentes gemeinsam betrachtet.

Angaben der Hersteller

	<i>Tr</i>	<i>Rv</i>	<i>Idle</i>	<i>Slp</i>	<i>Spannung</i>
CISCO AIR-PCM 350	450 mA	270 mA	-	15 mA	5V DC $\pm 5\%$
Dell TrueMobile Serie 1150	285 mA	185 mA	-	9 mA	5V DC $\pm 5\%$
Lucent WaveLAN	285 mA	185 mA	-	9 mA	5V DC $\pm 5\%$

Messanordnung / Messgerät

1. Versuchsreihe (Kapitel 3):

Strommessung zwischen Netzgerät und Steckdose (auf Hochspannungsseite des Transformators) mit:

HP Multimeter 34401A (Messgenauigkeit 10^{-8} Ampère / 10^{-6} Volt)

Triggerrate bei 5 Sekunden

Laptop: Sony Vaio PCG-GR214 MP, PIII-1GHz, 256 MB RAM

Betriebssystem Laptop: Windows XP

Server: PIII-500 MHz mit FastEthernet

Betriebssystem Server: Linux 2.4.3

2. Versuchsreihe (Kapitel 4)

wie erste Versuchsreihe ausser:

Strommessung auf Niederspannungsseite zwischen Netzgerät und Laptop

Laptop: IBM T22, 700MHz, 128 MB RAM

Geplantes Experimental Design und Workload

Ursprünglich geplant war folgender Workload:

Datentransfer (up- und downstream) über Wireless-LAN mittels eines FTP Transfers.

Hardwarekonfigurationen: Unplugged, CISCO, Dell, Lucent

Modi: FTP-Up <> Send; FTP-Down <> Receive; FTP-Standby <> Idle/Sleep

Messungen: 5 Transaktionen mit je 4 Messungen

Weitere Daten: Transferrate und Zeit

Infolge von Problemen wurde der Workload im Verlauf des Experimentes angepasst und wird jeweils an entsprechender Stelle dargestellt.

3. Erste Versuchsreihe

Die Messungen dieser Versuchsreihe, die einen ganzen Samstag in Anspruch genommen hatte, endeten mit einem äusserst unbefriedigenden, aber interessantem Ergebnis. Mittels FTP-Transfer eines grossen Files wurden die W-LAN-Karten in die Receive oder Download Modi gebracht. Die Übertragungsrate der CISCO Karte lag nach einer Einschwingphase im Mittel bei ungefähr 7Mbit upstream / 4Mbit downstream, bei den Karten von Lucent und Dell überraschenderweise bei bloss 0.5Mbit in beiden Richtungen. Wir konnten bei der Lucent und Dell Karte beobachten, dass der FTP Stream anfangs mit rund 2 bis 2,5 Mbit up/down startete, aber innert 10 Sekunden auf 0.5 Mbit up/down abfiel.

Da bloss ein Wechsel der W-LAN Karte vorlag, liegt die Vermutung nahe, dass entweder eine Treiberinkompatibilität mit dem Laptop vorlag, oder dass die stark CISCO dominierte Infrastruktur im IFW optimal auf CISCO Karten ausgelegt ist und bei anderen Karten mit einem nicht allzu stabilen Protokoll wie FTP ohne weiteres einen markanten Leistungsabfall von bis zu 90% bewirkt. Fakt ist, dass der stark reduzierte Datentransfer jegliche vernünftigen Messungen der Lucent und Dell Karten verunmöglichten.

Messanordnung

Zum Einsatz kam ein Sony Vaio Laptop mit Windows XP. Um den Gesamtstromverbrauch zu senken und zu stabilisieren, wurde der Laptop ohne Batterie und ohne jegliches Powermanagement des Betriebssystems betrieben. Der TFT-Display war ausgeschaltet und wurde durch einen externen Monitor ersetzt. Mittels einer selbstgebauten Messeinrichtung konnte die Stromaufnahme des Transformers auf der Hochspannungsseite direkt gemessen werden (zwischen Transformator und Steckdose).

Workloads / Messreihe

Der Übertragungsstream wurde mit Ws_FTP LE v5.08 generiert. Ein 34 MB grosses File wurde zwischen Server und Laptop hin- und her transferiert. Als Server stand uns mulder.ethz.ch zur Verfügung (TFTP-Server für Linux). Dieser ist mittels FastEthernet ans ETH-Netzwerk angeschlossen und sollte keinen Engpass im System darstellen. Seine Bandbreite sollte jederzeit genügend gross sein, damit das Wireless-LAN maximale Datendurchsatzraten erreichen kann.

1) IDLE/SLEEP

2x5 Messungen mit installierter Wireless LAN-Karte, aber ohne jegliche Datentransfer über die Wireless LAN-Karte.

Messungen erfolgten erst nachdem der PC keine spürbaren zusätzlichen Leistungen, ausser das Halten des Systemzustandes, mehr erbrachte. Der Abfall auf dieses Power Consumption Niveau war am Strommessgerät deutlich

erkennbar, konnte aber vom Benutzer über die Power Management Steuerung nicht beeinflusst werden.

Ermittelt wurden für jede Testiteration:

Avg i: 5s Trigger-Strommessung (mA) (i=1...4 gleichverteilt auf 3 Minuten).

2) DOWNLOAD

Fünfmaliger FTP-Downlaod eines 34,0 MB grossen Binary-Files.

Ermittelt wurden für jede Testiteration:

Transfer Time (s) für den ganzen Download Vorgang (Quelle: Ws_FTP Log-Window)

Transfer Rate (MBit/s) als Mass für die Nettoübertragungsrate (Quelle: Ws_FTP Log-Window)

Avg i: Trigger-Strommessung (mA) über 5s bei voller Download-Geschwindigkeit (i=1 bei ca. 30%, 2 bei ca. 45%, 3 bei ca. 60% und 4 bei ca. 80%)

3) UPLOAD

Fünfmaliger FTP-Upload eines 24.8 MB grossen Binary-Files auf den ETH-internen Server mulder.ethz.ch.

Ermittelt wurden für jede Testreihe:

Transfer Time (s) für den ganzen Upload Vorgang (Quelle: Ws_FTP Log-Window)

Transfer Rate (MBit/s) als Mass für die Nettoübertragungsrate (Quelle: Ws_FTP Log-Window)

Avg i: Trigger-Strommessung (mA) über 5s bei voller Download-Geschwindigkeit (i=1 bei ca. 40%, 2 bei ca. 55%, 3 bei ca. 70% und 4 bei ca. 85%)

4) UNPLUGGED

8 Strommessungen während 3 Minuten in regelmässigen Abständen durchgeführt, wobei keine Wireless LAN-Karte in den PCMCIA-Slot eingeführt und das Power-Management des PC's ausgeschaltet war.

Anmerkung zu 3 und 4)

Die Verteilung der Triggermessung auf die Transferzeit erfolgte aufgrund von Testmessungen, die ergaben, dass jeweils während den ersten Sekunden eines Up-/ oder Downloads noch starke Stromschwankungen resultierten, was vermutlich auf Downloadinitialisierungsarbeit des Systems (vor allem Prozessor, Harddisk und W-LAN) zurückzuführen ist. Nach einer gewissen Downloadzeit stabilisiert sich der Stromverbrauch, was auch die gemessenen und aufgeführten Daten belegen.

Stromverbrauchsvergleich zwischen W-LAN PCMCIA Karten



Bilder der 1. Versuchsreihe

Messplatz im IFW E-Stock gleich unter Access Point (o.l.) – Einklinkplattform für Strommessgerät (o.r.) – Sony Laptop, HP Messgerät und externer Monitor (u.l.) – Messplatz kurz vor Ende der Versuchsreihe (u.r.)

Neudefinition der Zielsetzung

Da aus den Messungen nicht die gewünschten Zahlen resultierten, jedoch ein Zusammenhang zwischen Stromverbrauch und Datendurchsatz deutlich sichtbar schien, versuchen wir mit den ermittelten Werten der CISCO-Karte den genannten Zusammenhang zu beweisen. Workload, Messtechnik sowie Faktoren entsprechen weiterhin den obigen Versuchsdefinitionen.

Analyse und Interpretation

(siehe Anhang: "Lineares Regressionsmodell FTP-Up- & Download")

Der Datenplot lässt auf ein funktional proportionales Wachstum der Leistungsaufnahme zum Datendurchsatz schließen. Dies kann anhand eines linearen Regressionsmodells mit Gleichung $Y = b_0 + b_1 * X$ gezeigt werden.

Für den Up- und Download sind die Steigungen b_1 die interessanten Faktoren. In beiden Analysen liegen die Steigungen mit ihren Vertrauensintervallen im positiven Bereich, was die Vermutung einer direkten Korrelation bestätigt:

Downstream Vertrauensintervall: [0.022, 0.131]

Upstream Vertrauensintervall: [0.022, 0.065]

4. Zweite Versuchsreihe

Mit dem Ziel, bei dieser Versuchsreihe bessere Messresultate zu erhalten, erfolgte eine leicht Änderung der Messanordnung, die jedoch erneut grosse Schwierigkeiten mit sich brachte. Um den Stromverbrauch auf der Niederspannungsseite messen zu können, musste die nicht einem üblichen Standard entsprechende Strombuchse des IBM T22 Laptops mittels viel Bastelmaterial und Geduld überlistet werden. Obwohl dieses Mal bessere Daten resultierten, mussten wir erneut feststellen, dass die CISCO-lastige Infrastruktur der ETH-Wireless Netzwerke Inf-Wireless und Public extrem labil sind und keine stabilen Verbindungen über mehr als eine Viertelstunde zulassen. Im Speziellen wirkten die starken Schwankungen in der Verbindungsqualität und die regelmässig vorkommenden Verbindungsverluste sehr störend. Doch trotz der vielen störenden Einflüssen konnten wir unsere Messungen mit akzeptabler Genauigkeit durchführen.

Messanordnung

Zum Einsatz kam ein IBM T22 Laptop mit Windows XP. Um den Gesamtstromverbrauch zu senken und zu stabilisieren, wurde der Laptop, wie bereits in der 1. Versuchsreihe, ohne Batterie und ohne jegliches Powermanagement des Betriebssystems betrieben. Der TFT-Display war ausgeschaltet und wurde durch einen externen Monitor ersetzt. Mittels einer selbstgebauten Messeinrichtung konnte die Stromaufnahme des Laptops auf der Niederspannungsseite des Transformators direkt gemessen werden (zwischen Transformator und Laptop).

Workload / Messreihe

Als Server stand auch bei dieser Versuchsreihe erneut mulder.ethz.ch zur Verfügung.

Die Rolle des Streamgenerators übernahm dieses Mal unter anderem das Benchmarkprogramm Netperf (www.netperf.org). Dieses führt ein TCP-Flodding des Netzwerkes durch, in dem es Pakete vom Client zum Server schickt, welcher diese spiegelt, also dieselben Pakete umgehend wieder zurücksendet. Eine Trennung des Up- und Downloads war deshalb nicht möglich, weil der Datendurchsatz, bis auf Paketwiederholungen, in beiden Richtungen gleich gross war.

Des Weiteren setzten wir das Client-Server Javaprogramm „UDP“ (Optionen send und receive) ein, welches speziell für diese Testreihe geschrieben wurde. „UDP“ führt ein UDP Datagrammsocket-Flodding vom Client zum Server durch, welches das Netzwerk maximal auszufüllen versucht. Auf der Seite des FastEthernet (mulder) haben wir jedoch keine Messungen durchgeführt nur im W-Lan (Testgerät) und die zeigten, dass mittels „UDP“ tatsächlich das ganze Netz überflutet werden kann. Eine maximal FastEthernet-Auslastung ist aber auch nicht

nötig, denn es musste nur sichergestellt werden, dass das Flooding genügte, um die viel kleinere Bandbreite des 11Mbit - Wireless-LANs auszulasten.

Ein Datendurchsatz kann mittels UDP nicht bestimmt werden, denn das UDP-Protokoll basiert auf einer unreliable Connection, weshalb die nötigen Parameter des Datendurchsatzes (korrekt gesendete und korrekt empfangene Daten) nicht ermittelt werden können. Bei UDP kann man also im Gegensatz zu TCP bloss von einer Sendeleistung sprechen, das heisst, wie viele Daten über den Netzwerkadapter versendet wurden.

Dies ist aber keineswegs eine Einschränkung, denn es war nicht das Ziel des Versuches, den Stromverbrauch der Modi bei gewissen Transferleistungen, sondern den Stromverbrauch der Modi bei gewissen Sende-/Empfangsleistungen zu ermitteln. Dies entspricht am ehesten der effektiven Belastung der Karte, da dadurch viele teils unerwünschte Protokolleigenschaften wie zum Beispiel connection-trashing von TCP bei zu hoher Paketverlustrate vermieden werden konnten. Das UDP-Programm genügte also völlig den Anforderungen zur Generierung einer hohen Transferlast der Karte zum Zwecke von Strommessungen und brauchte im Gegensatz zu FTP keine Harddiskzugriffe, wenn es einmal lief.

In der Auswertung nicht berücksichtigte Charakteristiken dieses Tests, wie die grosse Ressourcenbelastung der Java Virtual Machine, was in einem höheren Stromverbrauch des Prozessors resultiert, gelten für alle Karten gleichermassen und können für einen Vergleich vernachlässigt werden.

1) IDLE/SLEEP

5x4 Messungen mit installierter Wireless LAN-Karte, aber ohne jegliche Transferleistungen über die Wireless LAN-Karte.

Messungen erfolgten erst nachdem der PC keine spürbaren zusätzlichen Leistungen, ausser das Halten des Systemzustandes, mehr erbrachte. Der Abfall auf dieses Power Consumption Niveau war am Strommessgerät deutlich erkennbar.

2) NETPERF

5x4 Messungen mit Netperf über 300 Sekunden, als Server benutzten wir mulder.ethz.ch

3) JAVA UDP-send

5x4 Messungen mit UDP auf dem Laptop mit Option send gestartet.

4) JAVA UDP-receive

5x4 Messungen mit UDP auf dem Server mit Option send gestartet.

5) DOWNLOAD FTP

2x12 Messungen eines FTP-Downlaod eines 34,0 MB grossen Binary-Files.

Stromverbrauchsvergleich zwischen W-LAN PCMCIA Karten

Ermittelt wurden:

Transfer Time (s) für den ganzen Downloadvorgang (Quelle: Ws_FTP Log-Window);

Transfer Rate (MBit/s) als Mass für die Nettoübertragungsrate (Quelle: Ws_FTP Log-Window); sowie Leistungsaufnahme getriggert

6) UPLOAD FTP

2x12 FTP-Upload eines 34,0 MB grossen Binary-Files auf den ETH-internen Server mulder.ethz.ch.

Ermittelt wurden:

Transfer Time (s) für den ganzen Uploadvorgang (Quelle: Ws_FTP Log-Window);

Transfer Rate (MBit/s) als Mass für die Nettoübertragungsrate (Quelle: Ws_FTP Log-Window); sowie Leistungsaufnahme getriggert

7) UNPLUGGED

5x4 Strommessungen während 3 Minuten in regelmässigen Abständen, wobei keine Wireless LAN-Karte in den PCMCIA-Slot eingeführt und das Power-Management des PC's ausgeschaltet war.

Anmerkung zu 5 und 6)

Die bereits in der ersten Versuchsreihe mehrfach aufgefallenen Netzprobleme kamen auch bei diesem Versuch erneut zum Vorschein. Probesthalber führten wir erneut einige FTP-Tests durch. Der FTP-Durchsatzrate fiel erneut zu unterschiedlich aus, um als Faktor verwendet werden zu können.

Analyse und Interpretation (3x5 Factorial & 12x3x5 Factorial)

(siehe Anhang: "3x5 Factorial Design (Unplugged), "12x3x5 Factorial Design")

Das 3x5 Factorial Design (Unplugged) enthält als Workload auch den Unplugged Mode. Da Unplugged weder ein echter Workload, noch Mode ist und auch bei allen Karten den gleichen Messwert enthält, verfälscht dieser das Resultat total.

Für das 3x5 Factorial Design haben wir die Mittelwerte unserer Messungen verwendet. Dabei lässt sich nur der Faktor Workload, nicht aber die Karte als relevant bezeichnen.

	Messung	Vertrauensgrenze
Karte	1.58 <	2.92
Workload	103.46 >	2.52

Unter Berücksichtigung, dass der Trigger des Messgerätes selber äusserst viele Messungen pro Sekunde durchführt und unser Mittelwert aus 12 Triggermessungen besteht, können wir diese Mittelung als Wiederholung interpretieren.

Im 12x3x5 Factorial Design haben wir unsere 12 Triggermessungen zur Vereinfachung als Wiederholungen des Mittelwertes miteinbezogen, nicht aber die Einzelmessungen des Triggers. Bereits dies reichte, um den Faktor Karte mit Berücksichtigung des Fehlers als relevant zu bestimmen.

	Messung	Vertrauensgrenze
Karte	1.94 >	1.61
Workload	156.65 >	1.61

Somit können wir einen unterschiedlichen Stromverbrauch der einzelnen Karten nachweisen. Im ersten Versuch haben wir gesehen: Der Stromverbrauch steigt mit dem Datendurchsatz an. Daher wissen wir nicht, ob der Stromverbrauch effektiv von der Karte selber oder von einem erhöhten Datendurchsatz herrührt.

5. Fazit

Aufgrund unseren Erfahrungen mit den Wireless Netzwerken kommen wir zum Schluss, dass gute Messungen von solchen nur in Laborsituationen durchgeführt werden können. Die inf-wireless und public Wireless-Netzwerke der ETH im IFW/RZ sind enttäuschend instabil und können im derzeitigen Zustand nicht zuverlässig für solche Tests eingesetzt werden.

Wie wir im ersten Versuch gezeigt haben, hängt der Stromverbrauch einer W-LAN Karte und der Datendurchsatz direkt zusammen.

Im zweiten Versuch konnte gezeigt werden, dass der Stromverbrauch zwischen den verschiedenen Kartenherstellern variieren kann. Jedoch wird ebenso deutlich, dass der Stromverbrauch viel stärker von anderen Faktoren wie Datendurchsatz, Netzqualität oder Distanz zum Access Point beeinflusst wird.

Die Wirelesskarte ist ein erheblicher Stromverbraucher und kann bei starker Nutzung des Wireless-LANs bis zu 50% der Batterieleistung eines heutigen Laptops verschlingen, wobei die maximal Laufzeit halbiert wird. Es kann sich sogar lohnen, die Karte zu entfernen, wenn sie längere Zeit nicht gebraucht wird.

6. Literatur

[Jain91], The Art Of Computer Systems Performance Analysis, Raj Jain, Wiley 1991

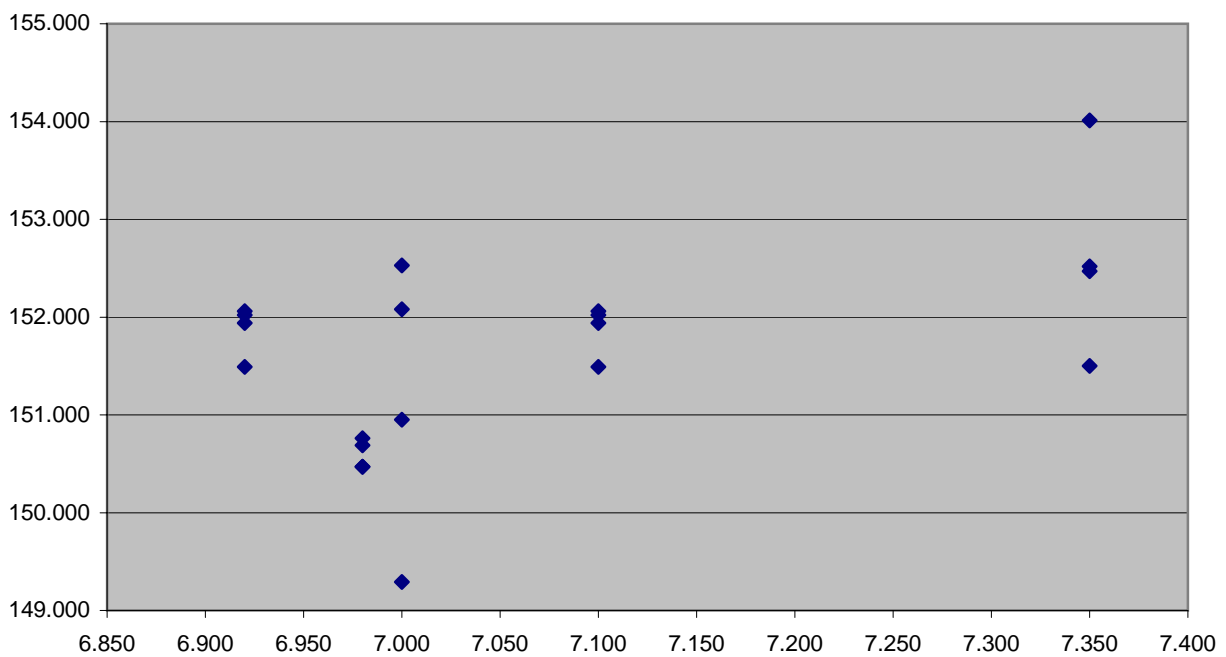
[Tan01], Modern Operating Systems, Andrew S. Tannenbaum, Prentice Hall 2001

[IE], IEEE 802.11b Standard Definition

[Kesh97] An Engineering Approach to Computer Networking, S. Keshav, AT&T / Bell Labs, Addison Wesley 1997

Lineares Regressionsmodell (FTP-Download)

Workload [Mbit/s]	Messung 1 [mA]	Messung 2 [mA]	Messung 3 [mA]	Messung 4 [mA]		
7.350	151.500	152.520	154.010	152.470		
7.100	151.490	152.020	151.940	152.060		
7.000	150.950	152.080	152.530	149.290		
6.980	150.470	150.470	150.760	150.690		
6.920	151.490	152.020	151.940	152.060		
sum xy	21443.097		SSY	1000.157		
sum x^2	459901.026		SS0	999.698		
mean x	151.638		SST	0.459		
mean y	7.070		SSE	0.345		
n	20.000		SSR	0.114		
			R^2	0.248		
b1 (Steigung)	0.077		se	0.139		
b0	-4.552		sb0	4.774		
t [0.95; 18]	1.734		sb1	0.031		
± tsb0	8.278		trust. int. b0	-12.830	3.726	
± tsb1	0.055		trust. int. B1	0.022	0.131	



3x5 Factorial Design

Workload	CISCO [mA]	DELL [mA]	Lucent [mA]		Summe	Mean	Effect
Idle	403.35	380.05	381.30		1'164.70	388.23	-410.66
Netperf	804.50	821.40	792.75		2'418.65	806.22	7.33
UDP-up	1'049.45	919.00	887.70		2'856.15	952.05	153.16
UDP-down	826.50	860.05	819.65		2'506.20	835.40	36.51
FTP-up	946.33	926.25	932.04		2'804.62	934.87	135.98
FTP-down	877.58	875.75	876.38		2'629.71	876.57	77.68
Summe	4'907.71	4'782.50	4'689.82		14'380.03		
Mean	817.95	797.08	781.64			798.89	
Effect	19.06	-1.81	-17.25				
NOVA Table							
Component		Sum of Squares	Percent of Var	Degrees of Freedom	Mean Square	F - Computed	F [0.90; x-1; 10]
y	SSY	12'158'726.37		18			
mean y	SS0	11'488'070.16		1			
y - mean y	SST	670'656.22	100.00	17			
A (Karte)	SSA	3'985.73	0.59	2	1'992.87	1.58 <	2.92
B (Workload)	SSB	654'027.58	97.52	5	130'805.52	103.46 >	2.52
e	SSE	12'642.90	1.89	10	1'264.29		

3x5 Factorial Design (Unplugged)

Workload	CISCO [mA]	DELL [mA]	Lucent [mA]		Summe	Mean	Effect
Unplugged	322.10	322.10	322.10		966.30	322.10	-408.68
Idle	403.35	380.05	381.30		1'164.70	388.23	-342.54
Netperf	804.50	821.40	792.75		2'418.65	806.22	75.44
UDP-up	1'049.45	919.00	887.70		2'856.15	952.05	221.27
UDP-down	826.50	860.05	819.65		2'506.20	835.40	104.62
FTP-up	946.33	926.25	932.04		2'804.62	934.87	204.10
FTP-down	877.58	875.75	876.38		2'629.71	876.57	145.79
Summe	5'229.81	5'104.60	5'011.92		15'346.33		
Mean	747.12	729.23	715.99			730.78	
Effect	16.34	-1.55	-14.79				
NOVA Table							
Component		Sum of Squares	Percent of Var	Degrees of Freedom	Mean Square	F - Computed	F [0.90; x-1; 10]
y	SSY	12'469'971.60		21			
mean y	SS0	11'214'754.50		1			
y - mean y	SST	1'255'217.10	100.00	20			
A (Karte)	SSA	3'416.34	0.27	2	1'708.17	0.04 <	2.81
B (Workload)	SSB	737'536.28	58.76	6	122'922.71	2.87 >	2.33
e	SSE	514'264.48	40.97	12	42'855.37		

12x3x5 Factorial Design

Workload	CISCO [mA]	DELL [mA]	Lucent [mA]		Summe	Mean	Effect
Idle	403.35	380.05	381.30		1'164.70	388.23	-410.66
Netperf	804.50	821.40	792.75		2'418.65	806.22	7.33
UDP-up	1'049.45	919.00	887.70		2'856.15	952.05	153.16
UDP-down	826.50	860.05	819.65		2'506.20	835.40	36.51
FTP-up	946.33	926.25	932.04		2'804.62	934.87	135.98
FTP-down	877.58	875.75	876.38		2'629.71	876.57	77.68
Summe	4'907.71	4'782.50	4'689.82		14'380.03		
Mean	817.95	797.08	781.64			798.89	
Effect	19.06	-1.81	-17.25				
NOVA Table							
Component		Sum of Squares	Percent of Var	Degrees of Freedom	Mean Square	F - Computed	F [0.90; x-1; 216]
y	SSY	145'904'716.46		216			
mean y	SS0	137'856'841.87		1			
y - mean y	SST	8'047'874.59	100.00	215			
A (Karte)	SSA	47'828.79	0.59	35	1'366.54	1.94 >	1.61
B (Workload)	SSB	7'848'330.95	97.52	71	110'539.87	156.65 >	1.61
e	SSE	151'714.86	1.89	215	705.65		

Datasheets - 1. Versuchsreihe

WLAN - BENCHMARKING

PCCARD: CISCO 350

PAGE: 1

TEST ID	Transfer Time (s)	Transfer Rate (Mbit/s)	Avg 1 (mA)	Avg 2 (mA)	Avg 3 (mA)	Avg 4 (mA)	Time
TEST 1: Idle (Karte betriebsbereit, aber kein Transfer)							
C1A			114.9	115.77	115.45	115.11	13:11
C1B			115.79	115.47	115.31	116.02	13:12
TEST 2: FTP-Transfer (Download 34,0 MB-Datei)							
C2A	49.0	6.98	150.47	151.15	150.76	150.69	12:32
C2B	48.8	7.00	150.95	152.08	152.53	149.29	12:33
C2C	48.2	7.10	149.66	150.43	150.35	149.99	12:34
C2D	49.4	6.92	151.49	152.02	151.94	152.06	12:35
C2E	46.5	7.35	151.50	152.52	154.01	152.47	12:36
TEST 3: FTP-Transfer (Upload 24,8 MB-Datei)							
C3A	76.9	2.97	140.16	139.95	140.15	139.28	12:52
C3B	74.7	3.05	140.21	139.84	140.44	138.71	12:55
C3C	78.0	2.92	138.58	139.01	138.36	138.63	12:57
C3D	74.9	3.04	140.69	139.75	140.32	140.22	12:59
C3E	76.3	2.99	139.84	139.27	140.41	139.33	13:01

Datasheets - 1. Versuchsreihe

WLAN - BENCHMARKING

PCCARD: SONY VAIO (CARD UNPLUGGED)

PAGE: 2

TEST ID	Transfer Time (s)	Transfer Rate (Mbit/s)	Avg 1 (mA)	Avg 2 (mA)	Avg 3 (mA)	Avg 4 (mA)	Time
TEST 4: Unplugged							
U4A			106.4	105.53	105.17	104.72	11:35

PCCARD: DELL TRUEMOBILE 1150

PAGE: 3

TEST ID	Time (s)	(Mbit/s)	Avg 1 (mA)	Avg 2 (mA)	Avg 3 (mA)	Avg 4 (mA)	Time
TEST 1: Idle (Karte betriebsbereit, aber kein Transfer)							
U1A			113.67	113.76	113.14	112.55	13:20
U1B			113.12	113.55	113.09	113.44	13:24

Legende:

- 1 IDLE - no transfer
- 2 NETPERF - 4x4 Messungen, 2sec Trigger
- 3 UDP-Transfer UPSTREAM (JAVA)
- 4 UDP-Transfer DOWNSTREAM (JAVA)
- 5 FTP-Transfer DOWNSTREAM (WS_FTP LE95)
- 6 FTP-Transfer UPSTREAM (WS_FTP LE95)

Datasheets - 1. Versuchsreihe

WLAN - BENCHMARKING

PCCARD: DELL

PAGE: 3

TEST ID	Transfer Time (s)	Transfer Rate (Mbit/s)	Avg 1 (mA)	Avg 2 (mA)	Avg 3 (mA)	Avg 4 (mA)	Time
TEST 1: Idle (Karte betriebsbereit, aber kein Transfer)							
U1A			113.67	113.76	113.14	112.55	13:20
U1B			113.12	113.55	113.09	113.44	13:24