

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Indoor-Performance

Einleitung

Der Standard IEEE 802.11n beinhaltet zahlreiche neue Mechanismen, um die verfügbare Bandbreite signifikant zu erhöhen. Bei den bisherigen WLAN-Standards nach 802.11a/g sind physikalische Brutto-Datenraten von bis zu 54 Mbit/s möglich, netto werden bis zu 24 Mbit/s erreicht. Netzwerke nach 802.11n erzielen derzeit einen Brutto-Datendurchsatz von bis zu 300 Mbit/s (netto je nach Protokoll bis 160 Mbit/s) – prinzipiell definiert der Standard bis zu 600 Mbit/s, die mit vier parallelen Datenströmen in Zukunft mit geeigneter Hardware erreicht werden können.

Die in einem konkreten Anwendungsfall erreichbare Performance in einem WLAN-System hängt von zahlreichen Faktoren ab – u. a. von den eingesetzten Protokollen, den Paketgrößen, dem Abstand des Clients vom Access Point und der jeweiligen Anwendung.

Vorteile von 802.11n

Zu den Vorteilen der neuen Technologie gehören unter anderem die folgenden Aspekte:

- Höherer effektiver Datendurchsatz
- Bessere und zuverlässigere Funkabdeckung
- Höhere Reichweite

Dieses Techpaper befasst sich gezielt mit den Durchsatzleistungen von 11n-Systemen für Indoor-Anwendungen.

Um den Datendurchsatz zu verbessern, nutzt 802.11n die folgenden technischen Ansätze:

- MIMO (Multiple Input Multiple Output) ist die wichtigste neue Technologie in 802.11n. MIMO benutzt mehrere Sender und mehrere Empfänger, um bis zu vier parallele Datenströme auf dem gleichen Übertragungskanal zu übertragen (derzeitige Chipsätze realisieren vorerst zwei parallele Datenströme).

- Verbesserte OFDM-Modulation
- 40 MHz-Kanäle, d.h. Kanalbündelung zweier 20 MHz Kanäle analog zum proprietären 108 Mbit/s Turbo-Modus von LANCOM, der nicht kompatibel zu den 40 MHz-Kanälen ist.
- Kürzere Pausen zwischen Signalen. Zwischen den einzelnen Signalen wird in einem WLAN-System eine kurze Pause eingelegt, um Störungen auf der Empfangsseite zu verhindern. Bei IEEE 802.11a/g beträgt diese Pause 0,8 μ s – 802.11n reduziert die Pause auf das sogenannte „Short Guard Interval“ von nur noch 0,4 μ s.

Durch die Übertragung der Datenmenge in kürzeren Intervallen, die Nutzung der verbesserten OFDM-Modulation, mit zwei parallelen Datenströmen und die Übertragung mit 40 MHz steigt die maximale Datenrate damit auf 300 Mbit/s brutto. Neben der deutlich schnelleren Datenübertragung bietet das mit 802.11n eingeführte MIMO-Verfahren insbesondere den Vorteil einer deutlich besseren Funkfeldabdeckung. Mehr dazu im hinteren Abschnitt dieses Techpapers.

Datendurchsatz: brutto versus netto

WLAN-Datenraten werden üblicherweise als Bruttowerte angegeben. Diese ergeben sich aus der Signalgüte und dem verwendeten WLAN-Standard bzw. dessen Modulationsverfahren. Aufgrund der aufwendigen Sicherungsverfahren und Kollisionsvermeidung ergibt sich ein bedeutend größerer Overhead als auf kabelgebundenen Medien. Üblicherweise kann mit einem brutto – netto Verhältnis von knapp unter 2:1 gerechnet werden. 802.11g/a WLANs erzielen bei einer Bruttoreate von 54 Mbit/s eine maximale Nettorate von ca. 24 Mbit/s. WLANs nach dem aktuellen 802.11n Standard erreichen bei 300 Mbit/s brutto derzeit einen maximalen Nettowert von ca. 160 Mbit/s. Entsprechend der aktuellen Signalgüte können WLAN-Systeme ihre Durchsatzleistung stu-

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Indoor-Performance

fenweise reduzieren, um Verschlechterungen im Funkumfeld entgegenzutreten. Dies führt zusammen mit Paketwiederholungen bei kurzzeitigen Funkstörungen zu einer Reduktion des Nettodurchsatzes.

Performance-Messung

Aber welcher Datendurchsatz kann mit dem Einsatz von 802.11n tatsächlich erzielt werden? Dieses Techpaper beschreibt die praktische Messung bei der WLAN-Übertragung mit Access Points von LANCOM Systems.

Die Datenübertragung zwischen einem Server und einem Client, die jeweils über eine 802.11n-Strecke verbunden sind, wird mit Hilfe von iPerf gemessen. iPerf ist ein frei verfügbares Tool, mit dem der TCP- und UDP-Durchsatz zwischen zwei Netzwerk-Komponenten gemessen wird. iPerf ist das Standard-Tool für Benchmark-Tests von Netzwerkgeräten in den Redaktionen von zahlreichen renommierten IT-Fachzeitschriften. Es läuft unter Windows, Linux und Mac OS X und ermöglicht so auch einen Vergleich über verschiedene Betriebssysteme hinweg.

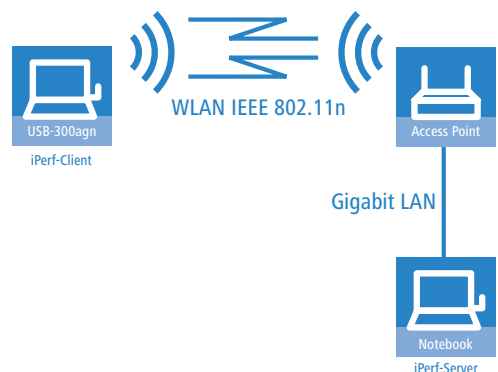
Der Messaufbau

Um den tatsächlichen Datendurchsatz zwischen zwei LANCOM Access Points zu messen, wird ein Versuchsaufbau gewählt, der mit drei verschiedenen Szenarien auf der Seite des iPerf-Clients einen Vergleich der Ergebnisse für verschiedene Anwendungen erlaubt. Der Abstand zwischen den beiden Access Points beträgt dabei jeweils ca. 2 m:

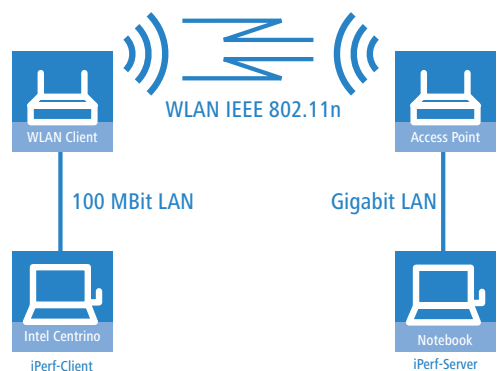
- Notebook mit eingebautem Intel Centrino WLAN-Adapter



- AirLancer USB-300agn im gleichen Notebook als Ersatz für den eingebauten WLAN-Adapter



- LANCOM L-310agn Wireless im Client-Modus, daran angeschlossen das Notebook



LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Indoor-Performance

Weitere Details zum verwendeten Equipment:

- iPerf Server:
 - INTEL Pentium DualCore E2160, 1,8 GHz
 - 1GB RAM
 - Realtek RTL8169/8110 Gigabit Ethernet NIC
 - Microsoft Windows XP SP2 bzw. Linux, Ubuntu
 - Kernel 2.6.24-19
 - iPerf 1.7.0
 - iPerf TCP: -s -w 256k
 - iPerf UDP: -s-w 256k -u -l 1470
- iPerf Client WLAN-Adapter 1:
 - Intel Centrino 4965agn mit Treiber 12.2.3
- iPerf Client WLAN-Adapter 2:
 - AirLancer USB-300agn mit Atheros 9170, Treiber-Version 3.0.0.131
- iPerf Client WLAN-Adapter 3:
 - LANCOM L-310agn Wireless (LCOS 7.60.0160)
 - Client-Modus
- iPerf Client-Einstellungen auf dem Notebook:
 - iPerf 2.0.2
 - iPerf TCP: -c [Server-IP] -w 256k -i 2 -t 60
 - iPerf UDP: -c [Server-IP] -w 256k -i 2 -t 60 -u -l 1470 -b [Bandbreite]
- Access Point:
 - LANCOM L-310agn Wireless (LCOS 7.60.0160)
 - Access Point Modus
 - Antennenkonfiguration 1+2+3
 - Kurzes Guardinterval
 - 2 Spatial Streams
 - 40 MHz Kanäle zugelassen im 5 GHz Band

So messen Sie richtig

Die Messungen der Durchsatzraten sind nur dann aussagekräftig, wenn die Rahmenbedingungen richtig gewählt werden. Folgende Aspekte sind für die richtige Messung der Performance-Werte auf einer WLAN-Strecke wichtig:

- Die WLAN-Strecke muss der "langsamste" Teil der gemessenen Verbindung sein. Wenn die WLAN-Strecke durch ein geeignetes Kabel ersetzt wird, muss der Datendurchsatz deutlich über den Messwerten auf der WLAN-Strecke liegen. So wird sicher gestellt, dass nicht z.B. eine Netzwerkkarte der beteiligten Rechner aufgrund einer Fehlkonfiguration die Ergebnisse verfälscht.
- Die TCP Window Size muss auf den verwendeten Rechnern passend zu den iPerf-Parametern eingestellt werden. Die TCP Window Size stellt einen Empfangspuffer für Datenpakete dar. Wenn dieser Puffer voll ist, muss der Sender vor der Übertragung weiterer Pakete auf eine Bestätigung des Empfängers warten. Wenn die TCP Window Size auf den beteiligten Rechnern nicht passend eingestellt ist, kann die maximale Durchsatzrate der Verbindung nicht ausgenutzt werden. Das Standard-Maximum für die TCP Window Size in Windows XP und Windows Server 2003 liegt bei 65.535 Byte, was im Normalfall nicht ausreicht. Viele Applikationen fordern selbstständig eine höhere TCP Window Size an. iPerf arbeitet standardmäßig mit dem Maximum von 65.535 Byte, was zu einer starken Verzerrung der Messergebnisse gegenüber anderen Applikationen führt. Um ein realistisches Messergebnis zu erhalten, wurde für die Messungen die maximale TCP Window Size über die Betriebssystem-Konfiguration auf dem Rechner mit dem iPerf-Client gezielt auf 256 KB angehoben. Mit Tools wie dem kostenlosen improveTCP kann die TCP Window Size geeignet eingestellt werden.

Ergebnisse der TCP-Messungen

Die Messung der TCP-Übertragung gibt Auskunft über den möglichen Datendurchsatz für TCP-basierte, verbindungsorientierte Datendienste wie zum Beispiel FTP.

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Indoor-Performance

Bei der Messung mit iPerf gibt es eine feste Datenflussrichtung zwischen Client und Server. Um also die Send- und Empfangsrichtung messen zu können, müssen Client und Server ihre Rollen tauschen.

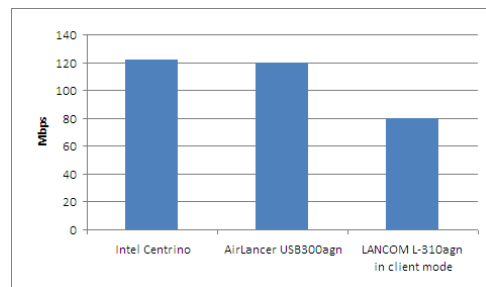
Die im Folgenden vorgestellten Mess-Ergebnisse sind gemittelte Werte aus einer Reihe von jeweils fünf Einzelmessungen. In den Einzelmessungen wurden Abweichungen von bis zu +/-15% vom Mittelwert beobachtet.

| TCP | Senden | Empfangen |
|---------------------------------|--------|-----------|
| Intel Centrino | 122 | 101 |
| AirLancer USB300agn | 120 | 80 |
| LANCOM L-310agn im Client-Modus | 80 | 95 |

Vergleich der TCP-Messungen

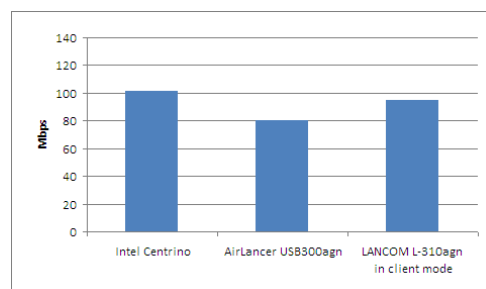
■ TCP-Performance in Senderichtung

Daten werden vom Notebook mit WLAN Adapter zum Access Point gesendet.



■ TCP-Performance in Empfangsrichtung

Daten werden vom Notebook mit WLAN Adapter vom Access Point empfangen.



Ergebnisse der UDP Messungen

Bei Datenverbindungen, die TCP als Transportprotokoll verwenden, werden auf der Übertragungsstrecke verlorene Pakete wiederholt. Bei Echtzeitanwendungen wie Voice over IP (VoIP) würden die erneuten Paketanfragen z. B. jedoch zu einem Stocken des Gespräches führen – diese Anwendungen nutzen daher häufig das verbindungslose UDP, das nicht über einen Steuerungsmechanismus wie TCP verfügt.

Die verschiedenen Anwendungen nutzen je nach Anforderung an die Datenübertragung unterschiedliche Paketgrößen im UDP: Voice-Applikationen nutzen zum Beispiel sehr kleine Datenframes, um die Latenzen gering zu halten, Video wird mit deutlich größeren Frames verschickt, um einen höheren Durchsatz erzielen zu können. Ebenso werden andere Applikationen an den jeweiligen Verwendungszweck angepasst.

Für den Testaufbau wurde eine Paketgröße von 1470 kB verwendet (entspricht damit vollen Ethernet Frames).

Um den maximalen Durchsatz bei einer gegebenen Paketgröße zu ermitteln, wurde bei der Messung der Datendurchsatz so lange erhöht, bis ein Grenzwert des Paketverlustes erreicht war (<0,1%).

Der Datendurchsatz über UDP ist generell höher als der TCP-Durchsatz, da der Protokoll-Overhead für die Verbindungssteuerung entfällt.

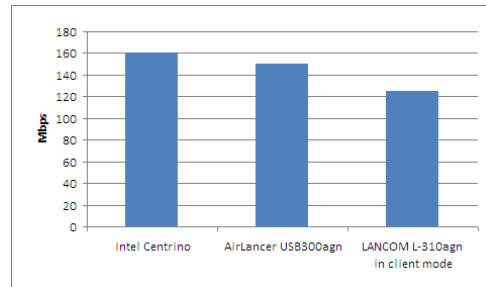
| UDP | Senden | Empfangen |
|---------------------------------|--------|-----------|
| Intel Centrino | 160 | 114 |
| AirLancer USB300agn | 150 | 105 |
| LANCOM L-310agn im Client-Modus | 125 | 130 |

LANCOM™ Techpaper

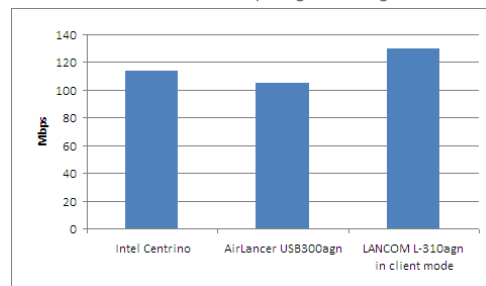
IEEE 802.11n Indoor-Performance

Vergleich der UDP-Messungen

■ UDP-Performance in Senderichtung



■ UDP-Performance in Empfangsrichtung



Funkfeldabdeckung im Vergleich

Die neuen Technologien bei 802.11n steigern nicht nur den Datendurchsatz, sondern bringen gleichzeitig Verbesserungen in der Reichweite und reduzieren die Funklöcher bei vorhandenen a/b/g Installationen.

Das Ergebnis sind eine bessere Signalabdeckung und höhere Stabilität, die insbesondere für Anwender im professionellen Umfeld eine deutliche Verbesserung bei der Nutzung des drahtlosen Netzwerkes darstellen.

Für den Vergleich der unterschiedlichen WLAN-Standards bzgl. der Funkfeldabdeckung sind folgende Aspekte zu betrachten:

- Mit 2,4 GHz und 5 GHz können je nach Standard unterschiedliche Frequenzbänder für WLAN-Netzwerke genutzt werden.
- Die Verwendung des 5 GHz Bandes für 802.11n bietet sich an, da der 2.4 GHz Bereich lediglich drei überlappungsfreie Kanäle bietet und so effektiv die Nutzung der Kanalbündelung (40 MHz-Ka-

näle) in allen Installationen mit mehreren Access Points ausschließt.

- Durch die Verwendung von "Multiple Input Multiple Output" (Mimo) mit mehreren Sendern und Empfängern werden bei IEEE 802.11n die in anderen WLAN-Standards störenden Signalreflexionen zur Steigerung der Signalabdeckung ausgenutzt.

Die folgenden Messwerte zeigen am Beispiel der Büroräume von LANCOM Systems die deutlich bessere Funkfeldabdeckung von 802.11n Access Points im Vergleich zur bisherigen Access Point Generation (802.11a/g). Weiterhin wird gezeigt, wie durch 802.11n Access Points auch herkömmliche WLAN-Clients mit 54 Mbit/s WLAN-Technik nach 802.11g oder 802.11a von einer deutlich besseren Funkausleuchtung profitieren.

802.11g vs. 802.11n im 2,4 GHz-Band

Bei der ersten Messung wurde an einem Ende des Gebäudetraktes ein LANCOM L-54ag mit zwei Antennen als Access Point platziert und auf 802.11g (2,4 GHz) eingestellt. Als WLAN-Client wurde ein Notebook mit einem AirLancer USB-54pro eingesetzt.

In direkter Nähe zum Access Point ermittelt der WLAN-Client eine Signalstärke von -56,0 dB. Mit zunehmender Entfernung vom Access Point erkennt man eine nachlassende Signalqualität bis hin zum minimalen Wert von -91,3 dB im letzten Raum am entgegengesetzten Ende des Traktes.



Zum Vergleich wurde ein LANCOM L-310agn mit drei Antennen als Access Point platziert auf die Nutzung

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Indoor-Performance

von 802.11g eingestellt. Bei den Messungen an den gleichen Referenzstellen erreicht die Signalqualität nun -42,0 dB in direkter Nähe zum Access Point bzw. -86,0 dB im entferntesten Raum.



Die Messung an den einzelnen Punkten ergibt folgende Werte [in dB]:

| L-310, 2.4 GHz | L-54, 2.4 GHz | Vorteil 802.11n |
|----------------|---------------|-----------------|
| -68,3 | -79 | 10,7 |
| -65 | -69 | 4 |
| -42 | -56 | 14 |
| -76,7 | -83 | 6,3 |
| -80,7 | -89,3 | 8,6 |
| -83 | -90,3 | 7,3 |
| -84,3 | -90 | 5,7 |
| -86 | -91,3 | 5,3 |
| -84,3 | -82,7 | -1,6 |
| | Durchschnitt | 6,7 |

Im Ergebnis bewirkt die Verwendung eines Access Points nach 802.11n bei WLAN-Clients nach 802.11g ein um 6,7 dB besseres Signal, an einzelnen Punkten beträgt die SNR-Verbesserung bis zu 14 dB. Auch vorhandene WLAN-Clients profitieren also von der Anbindung an einen Access Point nach 802.11n. Möglich wird das u.a. durch leistungsfähigere WLAN-Module und die Nutzung von MIMO.

802.11a vs. 802.11n im 5 GHz-Band

Bei der zweiten Messung wurde der LANCOM L-54ag mit zwei Antennen auf 802.11a (5 GHz) eingestellt – der WLAN-Client ist auch hier wieder ein AirLancer USB-54pro. Bei den Messungen an den Referenzstellen

erreicht die Signalqualität nun -40,3 dB in direkter Nähe zum Access Point bzw. -80,7 dB im entferntesten Raum.



Der Vergleich mit dem LANCOM L-310agn zeigt auch hier wieder eindeutige Vorteile für IEEE 802.11n. Die Messwerte reichen von -40,3 dB in direkter Nähe des Access Points bis zu -74,7 dB im entferntesten Raum.



Die Messung an den einzelnen Punkten ergibt folgende Werte [in dB]:

| L-310, 5 GHz | L-54, 5 GHz | Vorteil 802.11n |
|--------------|--------------|-----------------|
| -55,7 | -57,7 | 2 |
| -48,3 | -55 | 6,7 |
| -40,3 | -40,3 | 0 |
| -57,3 | -61,3 | 4 |
| -62 | -65,3 | 3,3 |
| -70 | -76,3 | 6,3 |
| -71,3 | -75,7 | 4,4 |
| -74,7 | -80,7 | 6 |
| -73,3 | -74,3 | 1 |
| | Durchschnitt | 3,7 |

Im Ergebnis bewirkt die Verwendung eines Access Points nach 802.11n bei WLAN-Clients nach 802.11a ein um 3,7 dB besseres Signal, an einzelnen Punkten beträgt die SNR-Verbesserung bis zu 6,7 dB.