

WLAN-Geräte für die Industrie im Vergleich



Teil 2. Weitere Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Der zweite Teil dieses Artikels setzt die Darstellung der konkreten Messergebnisse fort. Insgesamt hat sich herausgestellt, dass die Hardware bei den meisten Geräten nicht der limitierende Faktor ist. Die ermittelten Antwortzeiten, Latenzzeiten oder Paketverluste allein reichen daher für eine Beurteilung nicht aus. Ob sich im Einzelfall ein Gerät eignet, hängt sehr stark von der Umgebung und der speziellen Anwendung ab.

Von Jan Henrik Deppe, Henning Trsek und Jürgen Jasperneite



Nachdem im ersten Teil dieses Artikels [1] das allgemeine Szenario für die Verwendung der aus dem Büroumfeld kommenden WLAN-Geräte dargestellt und die entsprechenden Testszenarien eingehend beschrieben wurden, werden nun weitere Ergebnisse aus den einzelnen Testszenarien vergleichend zusammengefasst.

Handover

Erfolgt in normalen Büroumgebungen ein Wechsel des Access Points (Handover) durch einen mobilen Client, geschieht dies meist, nachdem eine Verbindung durch einen zu geringen Signal-Rausch-Abstand unterbrochen wurde und es bereits zu Verlusten von Frames gekommen ist. Dies kann jedoch von den meisten Anwendungen in diesem Bereich toleriert werden und stellt kein Problem dar. In industriellen Anwendungen werden deterministische Zykluszeiten gefordert, d.h., falls einem Teilnehmer bereits vor dem eigentlichen Zellwechsel keine ausreichende

Signalqualität gewährleistet werden kann, führt dies zu Problemen mit der Automatisierungsanwendung. Viele der untersuchten Geräte bieten daher die Möglichkeit, den Zellwechsel zu einem konkreten Wegpunkt einzuleiten. Der BAT300-RAIL zählt beispielsweise die fehlerhaften Beacons im Laufe der Übertragung und kann so bei schlechter Signalqualität einen Zellwechsel einleiten. Der RAC112x und der FL WLAN 24 sowie beide MOXA-Geräte greifen direkt auf den Signal-Rausch-Abstand zurück. Ist dieser zu niedrig, wird die Verbindung abgebrochen und auf anderen Kanälen nach verfügbaren Access Points gesucht. Dieser Schwellwert wird im Test auf 20 dB bzw. vier fehlerhafte Beacons festgelegt und unter dem Punkt „Standard-Handover“ aufgeführt, genau wie andere DUTs ohne eine solche Möglichkeit. Die Zeiten für ein Handover lassen sich bei den Geräten der beteiligten Hersteller durch unterschiedliche Mechanismen minimieren.

Der BAT300-RAIL sucht in zyklischen Abständen auf den anderen Ka-

nälen nach verfügbaren Access Points und vergleicht deren Signalqualität mit der des aktuellen Access Point. Wird eine bestimmte Differenz überschritten, kommt es zum Zellwechsel. Diese aktive Suche wird aber auf Kosten anderer kritischer Parameter durchgeführt. So muss beispielsweise die Datenübertragung währenddessen für kurze Zeit aussetzen, was zu höheren Latenzzeiten führen kann. Außerdem bietet der BAT300-RAIL die Möglichkeit der Einschränkung von verfügbaren Kanälen mit Hilfe einer konfigurierbaren Kanalliste.

Phoenix Contact bietet mit dem FL WLAN 24 die Möglichkeit, verschiedene Wegpunkte des Clients anzugeben. Eine Tabelle mit Access Points und deren Kanal wird vom Benutzer vorgegeben. Unterschreitet die Signalqualität einen bestimmten Schwellwert, verbindet sich der Client direkt zu dem nächsten Access Point in der Roaming-Tabelle, ohne eine aktive Suche nach anderen Funkzellen einzuleiten. Der WLAN EPA von Phoenix Contact bietet hingegen die Möglichkeit, dass

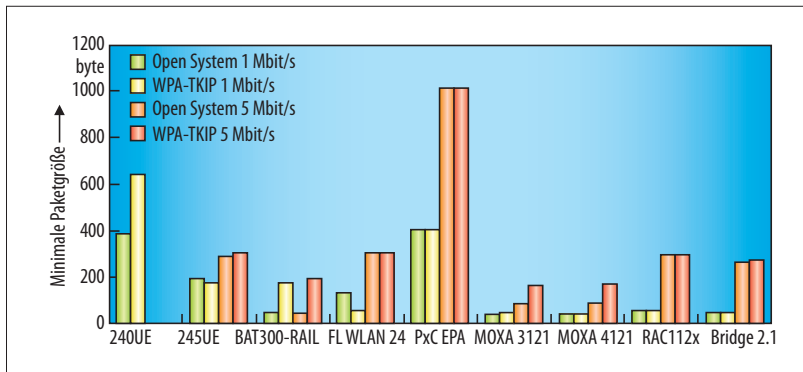


Bild 8. Minimale Paketgröße bei konstantem Datendurchsatz.

nur auf vom Anwender konfigurierten Kanälen nach neuen APs gesucht wird, um die Handover-Zeit zu reduzieren.

In einem gut geplanten Funknetz wird versucht, die Überlagerungen verschiedener Kanäle zu minimieren, indem alle Access Points nur auf sich nicht überlagernden Kanälen senden. Eine typische Konfiguration ist, dass sich ein Access Point auf Kanal 1 befindet, ein Nachbar beispielsweise auf Kanal 7 und ein weiterer auf Kanal 13. Die beiden Geräte von MOXA (4121 und 3121) können die Handover-Zeiten minimieren, indem der Benutzer alle aktiven Kanäle in eine Kanalliste einträgt und andere Kanäle nicht von den Geräten berücksichtigt werden. Diese Möglichkeit bietet ebenfalls der FL WLAN 24. Jedoch wird die benötigte Zeit für einen Zellwechsel durch die Liste an Access Points deutlich niedriger gehalten.

Einen Sonderfall im Test stellt der RAC112x von ads-tec dar. Er verfügt über zwei WLAN-Schnittstellen und nutzt eine zur Datenübertragung, während die zweite nach verfügbaren Access Points sucht. Wird ein Access Point gefunden, versucht sich die zweite Schnittstelle mit diesem zu verbinden. Anschließend werden die Signal-Rausch-Abstände beider Zellen miteinander verglichen. Wird der vom Benutzer gewählte Schwellwert überschritten, wird der Datenverkehr einfach über die zweite Schnittstelle zum Ziel weitergeleitet. Die Zeiten zum Verbindungsaufbau entfallen so komplett und es wird nur die reine Umschaltzeit gemessen.

Im Test konnten beim Standard-Handover Zeiten zwischen einer und 7,5 Sekunden gemessen werden. Auffällig gute Zeiten werden hier vom

Elpro 240UE erreicht. Die 802.11b-Erweiterung ist beim Roaming also keinesfalls ein Nachteil. Möglicherweise wird einer der beiden Antennenanschlüsse für die Suche nach anderen Access Points verwendet, so dass hierdurch die außergewöhnlich guten Zeiten beim Standard-Roaming erreicht werden können. Jedoch zeigen die Zeiten beim Handover mit WPA wieder ein anderes Bild. Hier konnten bei allen Teilnehmern, mit Ausnahme des 240UE, nur geringfügige Unterschiede gegenüber dem Handover ohne Verschlüsselung festgestellt werden.

Die unterschiedlichen Möglichkeiten der positiven Beeinflussung des Handover-Verhaltens zeigen, dass hier noch ein erhebliches Potential bei

manchen Geräten vorhanden ist. Der BAT300-RAIL kann die Zeiten beispielsweise durch klein gewählte Intervalle des Background Scanning (etwa 4 s) auf weniger als 7 % des ursprünglichen Wertes reduzieren (von 0,889 auf 0,057 s), was die Verwendung in Umgebungen mit einer hohen Dichte an Access Points deutlich erhöht. Die Kanalliste auf drei Kanäle zu begrenzen, hat ebenfalls Vorteile, was klar aus den Ergebnissen der MOXA-Geräte hervorgeht.

Der FL WLAN 24 konnte die Zeiten im Mittel auf unter 25 ms herabsetzen. Ohne die Suche nach verfügbaren Access Points ergab sich die reine Verbindungszeit. Obwohl unter Verwendung der WPA-Verschlüsselung ein zusätzlicher Vier-Wege-Handshake bei jedem Zellwechsel durchgeführt werden muss, bleiben die Zeiten selbst bei Betrachtung des Maximums unter einer Sekunde.

Klarer Gewinner dieses Tests ist der RAC112x. Er kann, ohne die Kommunikation zu unterbrechen, nach anderen Access Points suchen und eine Verbindung aufbauen. Die reine Umschaltzeit zwischen den beiden WLAN-Schnittstellen liegt bei allen Messungen unter 10 ms, was besonders mit WPA-Verschlüsselung einen

Typ		Standard-Handover (s)		minimierte Handover-Zeiten (s)	
		Open System	WPA-TKIP	Open System	WPA-TKIP
Elpro 240UE	Mittelwert	0,899	4,417	x	x
	Maximum	7,549	9,176	x	x
Elpro 245UE	Mittelwert	2,988	3,119	x	x
	Maximum	5,722	6,025	x	x
BAT300-RAIL	Mittelwert	0,869	0,889	0,046	0,057
	Maximum	1,157	1,165	0,319	0,324
FL WLAN 24	Mittelwert	2,44	2,387	0,025	0,17
	Maximum	2,645	2,65	0,059	0,873
PxC EPA	Mittelwert	1,332	1,793	0,224	0,771
	Maximum	2,595	3,021	0,446	1,427
MOXA 3121	Mittelwert	2,712	2,868	0,476	0,519
	Maximum	5,922	5,852	1,261	0,808
MOXA 4121	Mittelwert	2,556	2,234	0,759	0,706
	Maximum	7,257	2,945	5,236	5,748
RAC112x	Mittelwert	2,101	2,159	0,006	0,005
	Maximum	2,279	2,293	0,01	0,008
WLAN Bridge 2.1	Mittelwert	1,301	1,401	x	x
	Maximum	1,873	1,936	x	x

Tabelle 5. Gemessene Handover-Zeiten (in Sekunden)

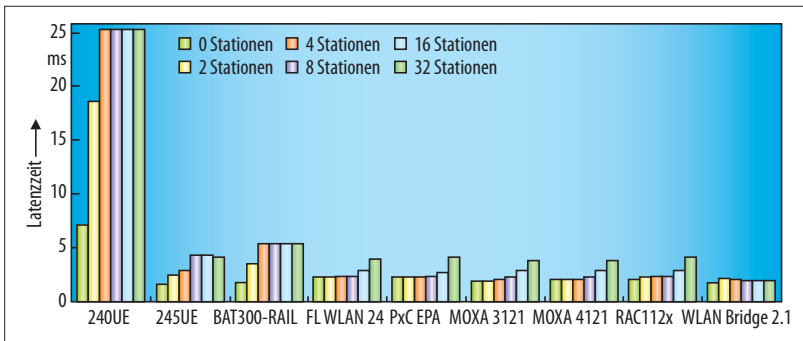


Bild 9. Latenzzeiten ohne Verschlüsselung.

Vorteil gegenüber den anderen Geräten bringt (Tabelle 5).

Frame-Verlust

Die Ergebnisse dieses Tests werden in **Bild 8** veranschaulicht. Das Diagramm zeigt die minimale Nutzdatengröße, mit der ein Paketverlust von unter 1 % bei konstantem Durchsatz erreicht werden kann. Bei größeren Paketen konnten alle getesteten Geräte eine Paketverlustrate von 0 % oder nur unwesentlich mehr aufweisen. Mit abnehmender Paketgröße steigt entsprechend der Paketverlust, da aufgrund der Prozessorauslastung des DUT nicht mehr alle Frames fehlerfrei verarbeitet werden können. Darüber hinaus lässt sich dieses Verhalten damit begründen, dass ein Frame auf dem drahtlosen Medium einen erheblichen Protokoll-Overhead mit sich bringt. Wie bereits gezeigt, müssen Präambel, Header etc. sowie die entsprechenden Acknowledgements für jeden Frame übertragen werden. Diese haben, unabhängig von den Nutzdaten, eine konstante Frame-Größe. Wird nun die Nutzdatengröße verringert, müssen bei gleichem Durchsatz mehr Frames übertragen werden – was einen stetigen Anstieg der Bitrate auf Schicht 1 des OSI-Referenzmodells zur Folge hat. Im

Test lag die Dämpfung zwischen Sender und Empfänger unter 50 dB. Ein Frame, der erneut übertragen werden musste, wird nicht als verloren gewertet, es erhöht sich lediglich die Latenz des Frames. Allerdings führt dieser Mechanismus zu einem weiter steigenden Durchsatz auf dem Medium.

Im Test zeigen sich deutlich Schwächen der IEEE-802.11b-Erweiterung. Durch den geringeren Durchsatz gegenüber den Erweiterungen g oder n sind Paketverluste bei einer erhöhten Frame-Rate unvermeidbar. Eine Übertragung mit mehr als 5 Mbit/s an Nutzdaten ist zwar theoretisch möglich, jedoch spielt hier überraschenderweise die Ethernet-Schnittstelle eine entscheidende Rolle. Überträgt der PC, welcher mit dem Client oder Access Point verbunden ist, einen Frame, so kann dieser, aufgrund der Begrenzung durch die Ethernet-Verbindung, maximal 1518 byte groß werden. Ein WLAN-Frame kann deutlich größer werden, was zu einem prozentual geringeren Overhead führt. Größere Frames können jedoch nicht übertragen werden, ein Paketverlust bei 5 Mbit/s lässt sich also nicht vermeiden.

Alle anderen Teilnehmer konnten Frames mit mehr als 300 byte Nutzdaten bei 5 Mbit/s problemlos über-

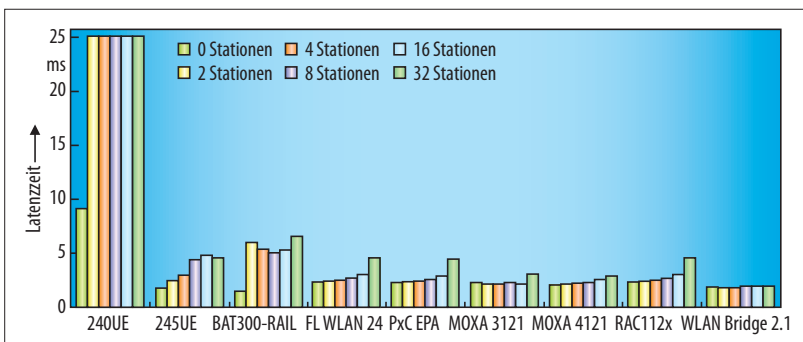


Bild 10. Latenzzeiten mit WPA-Verschlüsselung.

Wie gut kennen Sie Ihr Schaltnetzteil?



Mit OMICRON Lab's Vektor-Netzwerkanalysator **Bode 100**, und den neuen **Signalinjektoren** von Picotest, messen Sie ganz einfach:

- Regelstabilität (traditionell & nicht-invasiv)
- PSRR
- Eingangs- & Ausgangsimpedanz
- Rückflussdämpfung
- ... und viele weitere wichtige Parameter von Netzteilen im Bereich von 1 Hz - 40 MHz

Weitere Informationen und Anwendungsbeispiele finden Sie GRATIS auf:

www.omicron-lab.com & www.picotest.com/blog



Smart Measurement Solutions

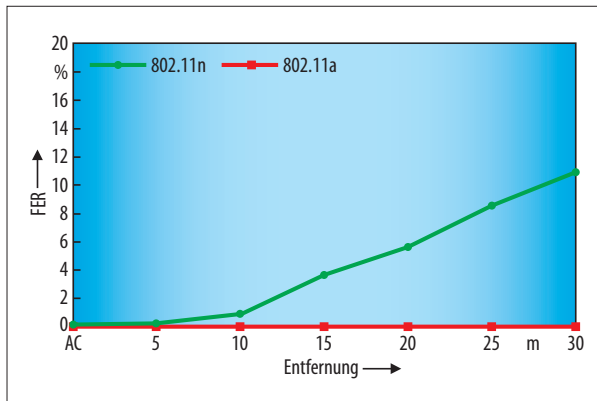


Bild 11. Frame-Fehlerrate der LOS-Verbindung für 802.11a und 802.11n.

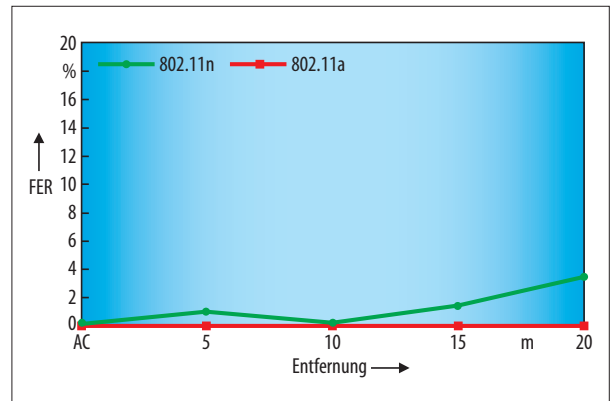


Bild 12. Frame-Fehlerrate der NLOS-Verbindung für 802.11a und 802.11n.

tragen. Überraschenderweise stellte sich hier eine kleine Schwachstelle des BAT300-RAIL mit WPA-Verschlüsselung heraus. Die Ergebnisse sind zwar durchaus vergleichbar mit denen der anderen Teilnehmer oder übertreffen diese sogar, jedoch zeigt sich ein klarer Unterschied zwischen unverschlüsselter und verschlüsselter Übertragung, der bei den anderen Teilnehmern nicht festgestellt werden konnte.

Die beiden MOXA-Geräte konnten gute Ergebnisse in diesem Punkt erzielen. Frame-Größen von mehr als 200 byte bzw. 50 byte bei einer Übertragungsrate von 1 Mbit/s sind problemlos und ohne Verlust übertragbar. Der Paketverlust sollte mit Verschlüsselung nur unwesentlich ansteigen. Dies zeigt, dass auch bei dieser Metrik bei allen Teilnehmern noch Potential vorhanden ist. Die physikalische Grenze des Mediums ist für bestimmte Szenarien noch nicht erreicht.

Latenzzeiten bei belastetem Medium

Wird die drahtlose Übertragungsstrecke von verschiedenen anderen

Stationen genutzt, steigen die Latenzzeiten der Übertragung bzw. die Antwortzeiten einzelner Stationen. Dieses Verhalten lässt sich mit dem CSMA/CA-Übertragungsverfahren begründen. Eine Station muss das Medium abhören und kann erst senden, wenn die Übertragung des anderen Teilnehmers abgeschlossen ist. Ein weiterer Anstieg der Antwortzeiten ergibt sich aus dem Backoff-Verfahren, d.h., Stationen mit geringerer zufällig gewählter Backoff-Zeit können stets zuerst senden.

Ein Szenario mit maximal 32 weiteren Stationen, welche mit dem gleichen Access Point verbunden sind, wurde für diese Metrik gewählt.

Bild 9 zeigt, dass bei den meisten Geräten ein Anstieg erkennbar ist, sobald mehrere Stationen das Medium gleichzeitig nutzen. Eine kleine Ausnahme bilden hier der BAT300-RAIL und der 245 UE, welche einen etwas stärkeren Anstieg der Antwortzeit erkennen lassen. Die InSYS-WLAN-Bridge 2.1 lässt nur einen leichten Anstieg im Bereich von wenigen 100 µs erahnen und führt bei diesem Test das Feld an. Schlusslicht bildet der 240UE.

Zwar liegen die Antwortzeiten ohne zusätzliche Stationen im Bereich von 7 ms, steigen aber überproportional an. So werden bei 32 Stationen Werte von 330 ms gemessen. Mit WPA-Verschlüsselung steigen die Werte bis auf 800 ms an.

Mit WPA-Verschlüsselung zeigt ein ähnliches Bild (Bild 10), jedoch steigen die Zeiten aller Teilnehmer leicht an. Die Hardware wird in diesem Test mit zunehmender Anzahl an Stationen weniger belastet, da das Medium nicht durchgehend verfügbar ist und somit weniger Daten übertragen werden. Daher kann dies als Begründung für den Anstieg ausgeschlossen werden. Gleiches gilt für das Medienzugriffsverfahren, da die Backoff-Zeiten nicht von der Verschlüsselung abhängig sind. Eine mögliche Ursache für den Anstieg sind jedoch die zusätzlichen acht Bytes, die für WPA benötigt werden. Da in diesem Test lediglich minimal große Frames übertragen werden, fallen diese acht Bytes besonders ins Gewicht, und das Medium wird hierdurch außerdem von den anderen Stationen etwas länger genutzt.

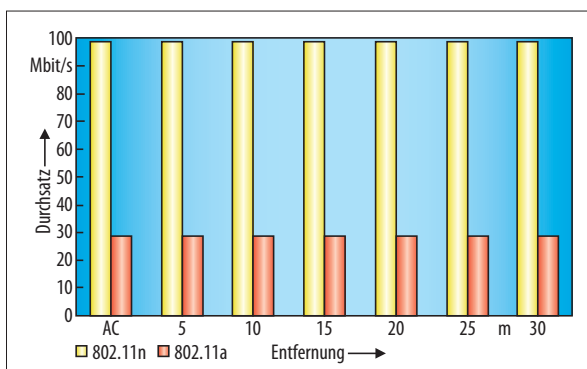


Bild 13. Datendurchsatz der LOS-Verbindung für 802.11a und 802.11n.

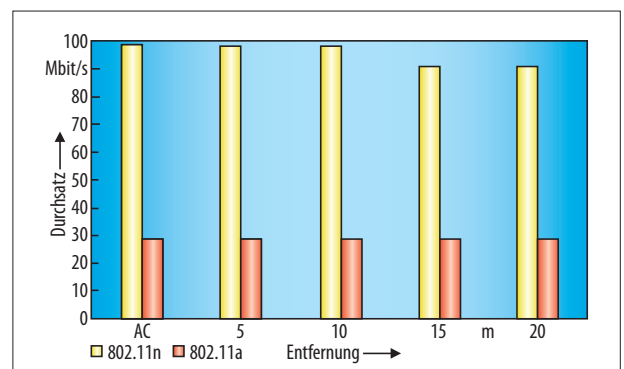


Bild 14. Datendurchsatz der NLOS-Verbindung für 802.11a und 802.11n.

▣ Vergleich zur 802.11n-Erweiterung

Ein Vergleich der 802.11n-Standard-Erweiterung zu herkömmlichen 802.11-Produkten lässt sich bei drahtgebundener Führung der HF-Signale nur schwer herstellen. Grund hierfür sind Mehrwegeausbreitungen, welche von der 802.11n-Erweiterung für höhere Bitraten genutzt werden. Daher wurde alternativ eine Messung in einer industriellen Umgebung durchgeführt. Um störende Einflüsse trotzdem auszuschließen, wurde in den Tests das weniger stark ausgelastete 5-GHz-ISM-Band genutzt. Die im Folgenden beschriebenen Messungen wurden exemplarisch mit den Hirschmann-Geräten durchgeführt, da diese zum Zeitpunkt der Benchmark-Studie die einzigen industriellen Geräte mit 802.11n-Unterstützung waren. Vergleichsweise wurden ein Hirschmann-Access-Point und ein -Client zunächst im 802.11a-Modus betrieben, welcher als Referenzmessung dient. Im Anschluss wurden die Geräte unter Verwendung von 802.11n getestet. Die Ethernet-Schnittstellen beider Geräte (100 Mbit/s) sind mit einem Anrits-Netzwerk-Analysator MD1230B verbunden, der die notwendigen Test-Frames generiert bzw. empfängt und auswertet. Hieraus werden der Datendurchsatz und die Frame-Fehlerrate (FER) der drahtlosen Verbindung bestimmt. Es werden zwei Messszenarien realisiert, eine „Line of Sight“-Verbindung (LOS) und eine „Non Line of Sight“-Verbindung (NLOS). Sowohl für die LOS-Messung als auch für die NLOS-Messung werden unterschiedliche Distanzen betrachtet.

Die Frame-Fehlerrate (FER) wurde gemeinsam mit dem Durchsatz gemessen und aufgezeichnet. Um den Overhead zu verringern und damit den möglichen Durchsatz zu optimieren, wurde bei dem 802.11n-Aufbau die „Frame Aggregation“ konfiguriert. Hierbei werden mehrere Frames zusammengefasst und lediglich ein großer Frame übertragen. Außerdem wurde der „Block Acknowledgment“-Mechanismus verwendet.

Die Werte für die FER weisen eine relativ große Diskrepanz der untersuchten Verfahren auf. Unter LOS-

Bedingungen (**Bild 11**) nimmt die 802.11n-FER mit der Entfernung zu, beginnend mit ca. 0,1 % bei 5 m bis zu etwas mehr als 10 % bei 30 m. Die Ergebnisse für 802.11a zeigen, dass die FER für alle Entfernungen fast konstant 0,01 % beträgt. Die Kurvencharakteristik der NLOS-Messungen (**Bild 12**) ist für beide Verfahren ähnlich, jedoch sind die FER-Werte für 802.11n erneut etwas größer.

Die Ergebnisse der Datendurchsatzmessungen sind in **Bild 13** und **Bild 14** dargestellt. Zwei Balkendiagramme zeigen jeweils die Mittelwerte des Durchsatzes für LOS- und NLOS-Verbindungen. In beiden Szenarien konnte mit 802.11n eine dreifache Steigerung des Durchsatzes im Vergleich zu 802.11a erzielt werden, die weitestgehend unabhängig von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger ist. Im NLOS-Aufbau kann ein geringfügiger Einbruch des Durchsatzes ab einer Entfernung von 15 m beobachtet werden. Der 802.11a-Durchsatz verbleibt hingegen auf einem konstanten Wert von 28 Mbit/s. In dem LOS-Aufbau bricht der Durchsatz nicht ein und bleibt nahezu konstant: etwa 28 Mbit/s für 802.11a und etwa 98 Mbit/s für 802.11n.

Zur Bewertung der Durchsatz- und FER-Ergebnisse muss allerdings in Betracht gezogen werden, dass das verkürzte Guard-Intervall von 400 ms verwendet wurde, da nur so ein maximaler Durchsatz erreicht werden kann. Weiterhin ist es von Bedeutung, dass der „Block Acknowledgment“-Mechanismus verwendet wurde. Die Kombination beider Verfahren und die anspruchsvolle industrielle Umgebung könnten zu einer verstärkten Intersymbol-Interferenz geführt haben, was wiederum zu einer erhöhten Anzahl von Retransmissions geführt und die erhöhten FER-Werte verursacht hat. jw

Literatur

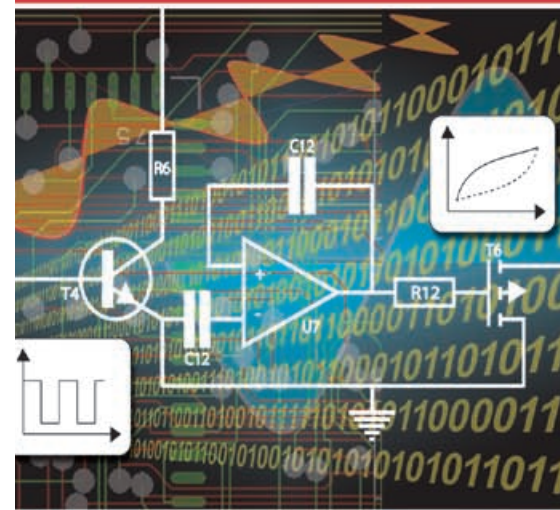
- [1] *Deppe, H.; Trsek, H.; Jasperneite, J.: WLAN-Geträte für die Industrie im Vergleich. Teil 1. Das WLAN in der industriellen Anwendung. Elektronik 2011, H. 6, S. 42ff.*

Die Autoren

wurden bereits in [1] vorgestellt.

OrCAD PSpice

Standard für Simulation
elektronischer Schaltungen



Qualität und Zuverlässigkeit einer Schaltung lässt sich mit PSpice vorhersagen. Ermitteln Sie ob Ihre Schaltung mit den Fertigungstoleranzen der elektronischen Bauteile noch das gewünschte Ergebnis liefert. Berücksichtigen Sie die Kombination der unterschiedlich gestreuten Toleranzen aller verwendeten Bauteile.

Optimieren Sie durch virtuelle Messungen und Simulationen Ihre Schaltung mit Funktionen der Advanced Analyse:

- Sensitivity Analyse findet empfindliche Bauteile
- Statistische Toleranzstreuung für die Serienfertigung (Monte Carlo)
- Stressanalyse und De-rating für Zuverlässigkeit (Smoke)
- MatLab Simulink - PSpice Schnittstelle zur Software Co-Simulation (SLPS)

Nur die Bauteile, deren Toleranz einen großen Einfluss auf die Funktion der Schaltung haben, werden dann mit teuren Bauteilen und einer kleinen Toleranz bestückt. Bei Bauteilen mit weniger Einfluss auf die Gesamtfunktion können kostengünstigere Varianten eingeplant werden.

Fordern Sie eine kostenlose Demo DVD der aktuellen Cadence PSpice Version an!

Mehr Informationen erhalten Sie unter:
Telefon +49 (89) 4563-7770

cadence
Channel Partner