



Das Parallel Redundancy Protocol erhöht die Zuverlässigkeit von Industrial Wireless deutlich

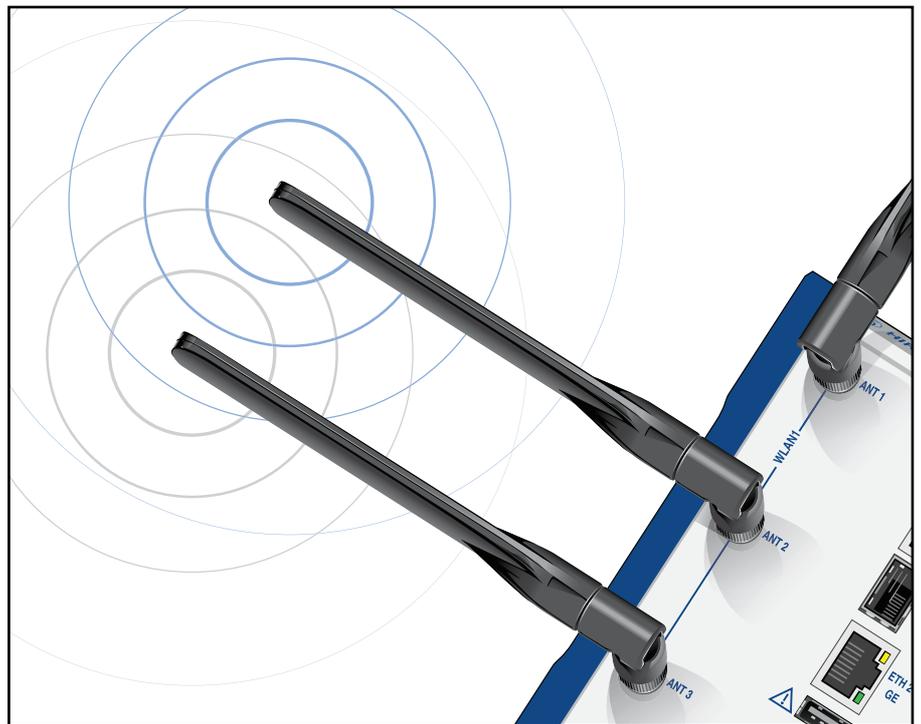
Dr. Tobias Heer
Leiter Embedded Software Development - Functions
tobias.heer@belden.com

Zusammenfassung

Drahtlose Lösungen werden häufig für störanfällig und unzuverlässig gehalten. Trotz jüngster technischer Weiterentwicklungen löst die drahtlose Übertragungstechnik nach wie vor Bedenken aus, wenn unternehmenskritische Prozesse über WLAN-Verbindungen gesteuert oder überwacht werden sollen. Allerdings kann die Stabilität, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von drahtlosen Verbindungen durch die Verwendung von Redundanztechniken wie dem Parallel Redundancy Protocol (PRP) deutlich erhöht werden. Dieser Beitrag beschreibt die technischen Grundlagen, die Anforderungen und die Anwendungsszenarien für den Einsatz von PRP in WLAN-Netzen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Einleitung	2
PRP – Schaffung von Redundanz durch Paketverdopplung	2-4
1. Nutzen in der Praxis	2-3
2. Topologien und Anwendungen	3
3. Resümee	3-4
Conclusion	4



Einleitung

Wireless LAN ermöglicht mittlerweile eine Vielzahl heutiger Kommunikationsanwendungen in der Industrie. WLAN stellt immer dann eine hervorragende Lösung dar, wenn der Einsatz von Kabeln zu schwierig, unzuverlässig (Verschleiß), teuer oder aufgrund beweglicher Teile und Fahrzeuge schlichtweg unmöglich ist. Außerdem ermöglicht der Einsatz von Wireless im Produktionsbereich einen völlig neuen Ansatz für die Planung und Durchführung der Fertigungsprozesse (Industrie 4.0).

Die stetige technische Weiterentwicklung und die in den letzten Jahren stark gestiegene Akzeptanz von drahtlosen Lösungen ermöglicht immer anspruchsvollere und hoch komplexe Anwendungsszenarien. Dennoch können die Zuverlässigkeit und die Qualität der Dienste drahtloser Verbindungen in Anwendungen mit strengen Anforderungen bezüglich Zuverlässigkeit und Latenz Bedenken verursachen.

Beispiele für solche kritischen bzw. sensiblen Anwendungen sind sowohl die Steuerung von Produktionsabläufen oder Videosysteme für Sicherheitsaufgaben als auch die Überwachung von Gefahrenbereichen einer Fabrik oder des Innenraums von Personenzügen. Netzwerkstörungen können schnell zu schwerwiegenden Problemen und somit zu hohen Folgekosten führen.

PRP – Schaffung von Redundanz durch Paketverdopplung

Um Netzwerkstörungen in drahtgebundenen Industrial Ethernet-Netzwerken zu verhindern, sind Redundanztechniken eingeführt worden, die sicherstellen, dass das Netzwerk auch beim Ausfall einzelner Verbindungen weiterhin reibungslos funktioniert. Diese Redundanztechniken können ebenso in drahtlosen Netzwerken eingesetzt werden, um die Zuverlässigkeit und Stabilität der Verbindungen deutlich zu erhöhen.

Ein anschauliches Beispiel ist das standardisierte Parallel Redundancy Protocol (PRP). PRP gemäß IEC 62439 wird in drahtgebundenen Netzwerken zunehmend eingesetzt, um beim Ausfall eines Netzwerkpfades oder Geräts eine nahtlose Redundanz, das heißt ein unterbrechungsfreies Umschalten, zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, werden die Datenpakete dupliziert und auf zwei unterschiedlichen, unabhängigen Pfaden parallel übertragen.

Bevor die duplizierten Pakete über diese Netzwerkpfade ausgeliefert werden, werden die parallelen Datenströme zusammengeführt und die Duplikate entfernt. Sollte einer der beiden Pfade ausfallen, werden die Pakete des anderen verwendet. Die Anwendung, die über dieses Netzwerk läuft, kann somit auch bei schwerwiegenden Störungen im Netzwerk fehlerfrei weiter arbeiten (Abbildungen 1 und 2 zeigen die Funktionsweise von PRP).

PRP kann auch in einer drahtlosen Umgebung eingesetzt werden, jedoch stellt sich die Wirkung in einer vollkommen anderen und noch nutzbringenderen Weise ein, als in einem kabelgebundenen Szenario. Denn die parallele Redundanz kann nicht nur dazu verwendet werden, den totalen Ausfall eines Netzwerk zu verhindern, sondern auch dazu, kleinere, systembedingte Störungen in Wireless-Netzwerken (z. B. durch Interferenzen) zu kompensieren. Mit PRP können die Pakete gleichzeitig über zwei unterschiedliche Funkpfade übertragen werden (Abbildung 3). Dadurch lassen sich die Auswirkungen von Paketverlusten auf einem Pfad ausgleichen. Ein Sende- oder Empfangsfehler auf einem der Pfade wirkt sich also nur dann aus, wenn beide Pfade bei der Übertragung desselben Pakets gleichzeitig ausfallen. Mit anderen Worten: Unkorrelierte Paketverluste können durch PRP ausgeglichen werden.

Obwohl die Mechanismen von PRP sowohl in drahtlosen als auch in drahtgebundenen Szenarien identisch sind (Paket-Duplizierung und -Eliminierung), ist die Wirkung, die bei Wireless erreicht wird noch effektiver. Während der Einsatz von PRP sowohl im drahtgebundenen als auch im drahtlosen Szenario ein unterbrechungsfreies Umschalten zwischen zwei Netzwerken ermöglicht, bietet der Einsatz in einem Wireless-Szenario unmittelbar eine Reihe zusätzlicher Vorteile:

- Die Kompensation einzelner Paketverluste bei zeitlich begrenzten Störungen wie Interferenzen, die von anderen Funksystemen verursacht werden, erhöht die Zuverlässigkeit deutlich.
- Verringerte Latenz, da stets das schnellere der beiden duplizierten Pakete weitergeleitet wird.
- Reduzierung der Laufzeitschwankungen (Jitter), da mit b) lange Verzögerungen, die durch ein belegtes Medium oder durch Übertragungswiederholungen auf der Netzwerkschicht verursacht werden, reduziert sind. Schwankungen können also nur auftreten, wenn beide Pakete verspätet ankommen.

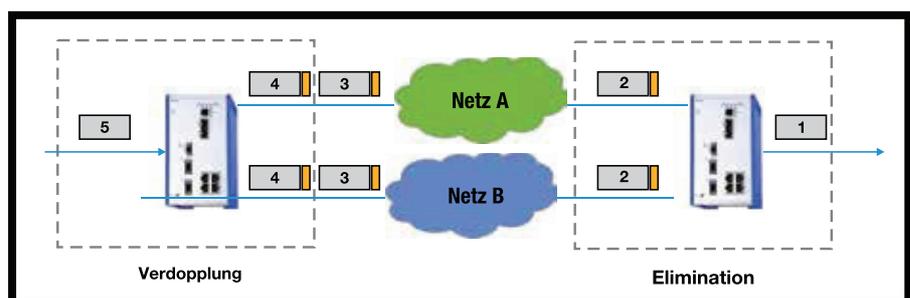


Abbildung 1. PRP in einem störungsfreien Netzwerk: Zwei redundante Pfade werden gleichzeitig verwendet. Am Punkt 5 erfolgt die Duplizierung der Pakete und am Punkt 1 werden die Duplikate entfernt.

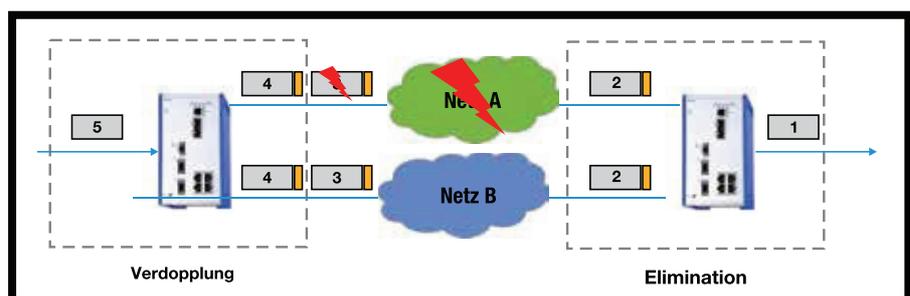


Abbildung 2. PRP im Fall einer Netzwerkstörung: Die Pakete des zweiten Netzwerkpfades werden ohne jegliche Umschaltzeit verwendet.

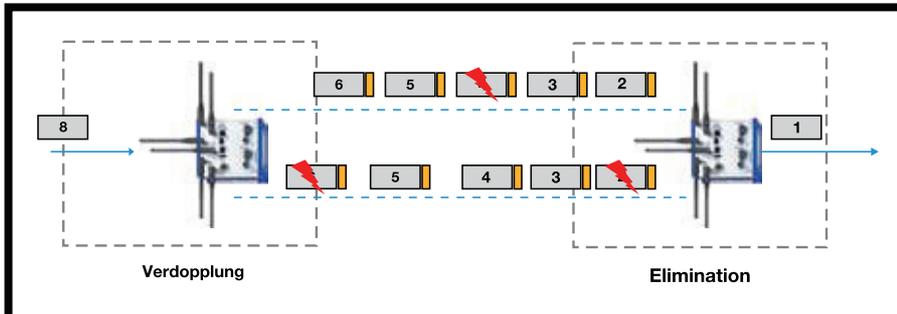
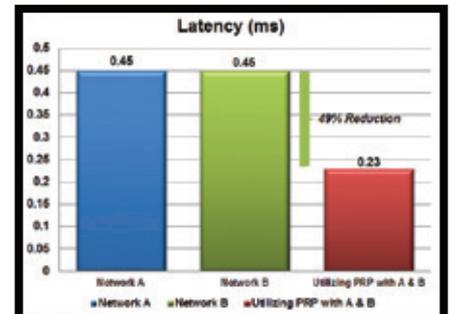


Abbildung 3. PRP über zwei WLAN-Funkstrecken: Die redundante Übertragung kompensiert Paketverluste und gleicht last- und interferenzbedingte Laufzeitunterschiede aus.



Grafik 3. Latency (ms).

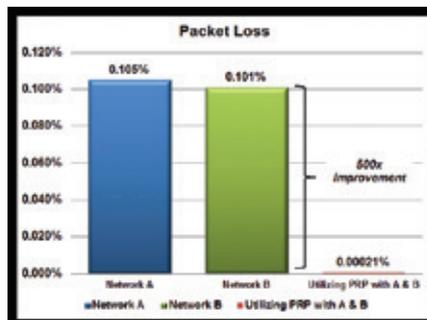
Nutzen in der Praxis

Der Nutzen des Einsatzes von standardisiertem PRP kann anhand eines einfachen Beispiels verdeutlicht werden: Angenommen, die Verlustrate auf beiden Pfaden ist identisch und beträgt 0,1 Prozent, so läge die Verlustrate (oder die Verlustwahrscheinlichkeit) des gesamten PRP-Systems bei nur 0,0001 Prozent ($0,001 \times 0,001 = 0,000001$) – eine Verbesserung um den Faktor 1000.

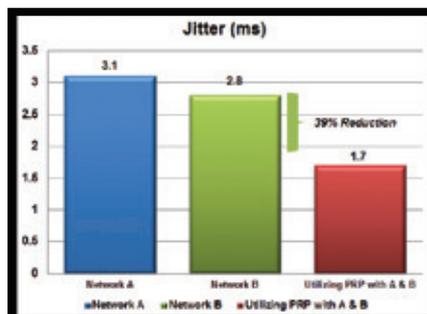
Diese Berechnung geht davon aus, dass Verluste gleichmäßig verteilt und unkorreliert sind. Um dies in der Praxis zu erreichen, ist es notwendig, dass keine Einflussfaktoren auftreten, die beide Funkkanäle gleichermaßen beeinträchtigen. Dieses wird z.B. durch eine Diversität in den Übertragungswegen erreicht. Im speziellen können beide Pfade in verschiedenen Frequenzbändern betrieben werden. Das Resultat: Eine konkurrierende Funkübertragung oder andere Umgebungseinflüsse können nicht beide Pfade gleichzeitig beeinflussen. Andere Faktoren, die korrelierte Verluste verursachen und die gleichmäßige Verteilung der Verluste reduzieren, sollten ebenfalls minimiert werden. Zum Beispiel kann eine dauerhafte Überlastung einer Verbindung dazu führen, dass Paketsequenzen nicht zugestellt werden, was die Verlustrate dieser Verbindung in die Höhe treibt und somit zugleich die kombinierte Verlustrate deutlich verschlechtert.

Diese drastischen Verbesserungen können auch in der Realität erreicht werden. In praktischen Tests wurden die wahrnehmbaren Paketverluste der Anwendung mit PRP von 0,105 Prozent und 0,101 Prozent für die einzelnen Verbindungen durch den Einsatz einer parallelen redundanten PRP-Verbindung auf 0,00021 Prozent reduziert – eine rund 500-fache Verbesserung.

Ein weiterer positiver Effekt des Einsatzes von PRP ist, dass die Netzwerklatenz und die Laufzeitunterschiede, der Jitter, im



Grafik 1. Packet Loss.



Grafik 2. Jitter (ms).

Netzwerk deutlich zurückgehen. In der Praxis lässt sich in obigem Beispiel ein Rückgang der durchschnittlichen Latenz von 3,1 ms bzw. 2,8 ms auf 1,7 ms beobachten. Ebenso verringert sich der Jitter-Wert von 0,45 ms auf 0,23 ms. Der Grund für die Verbesserung dieser Werte besteht darin, dass das schnellere der beiden Pakete, die über die drahtlosen Links gesendet werden, stets mit PRP weitergeleitet wird. Ausreißerpakete mit langen Übertragungszeiten, wie sie bei WLAN aufgrund des geteilten Mediums und den nicht deterministischen Kanalzugriff gelegentlich auftreten, lassen sich auf diesem Weg weitgehend eliminieren. Somit werden drei der wichtigsten Qualitätsindikatoren eines Netzwerkes (Verlustrate, Jitter und Übertragungszeit) mit PRP deutlich verbessert.

Topologien und Anwendungen

PRP erreicht, wie oben beschrieben, eine deutliche Verbesserung des redundanten Schutzes einzelner Übertragungspfade. Der Umstand, dass diese standardisierte Lösung nicht auf die reine Funkkommunikation begrenzt ist, verdeutlicht ihre Flexibilität in komplexen Netzwerstrukturen. Zwar bieten auch proprietäre WLAN-Redundanzlösungen potentiell eine erhöhte Übertragungsleistung, jedoch sind die Verbesserungen stets auf einen einzelnen Übertragungspfad fokussiert. Dagegen ermöglicht das standardisierte PRP die Realisierung komplexerer Szenarien mit drahtgebundenen und drahtlosen Ethernet-Verbindungen sowie mobile Applikationen mit roamenden Geräten. Die Abbildung 4 (nächste Seite) zeigt ein Szenario, in dem PRP sowohl über einen drahtgebundenen als auch einen drahtlosen Übertragungspfad eingesetzt wird. Der drahtlose Übertragungspfad kann in Anwendungen mit schwierigen Bedingungen (z. B. bewegliche Teile oder hoher Verschleiß durch hohe Temperaturen) als umschaltfreie Backup-Verbindung des drahtgebundenen Pfades verwendet werden. Eine solche Kombination ist mit proprietären WLAN-Redundanzlösungen nicht möglich.

Die Abbildung 5 (nächste Seite) zeigt den Einsatz von PRP in einem mobilen Szenario: Ein Dual-Radio Client (z. B. auf einer beweglichen Maschine oder einem Zug) fährt entlang einer Strecke mit mehreren Access Points. Der Client ist in der Lage, zwei Verbindungen gleichzeitig zu betreiben, sodass der Pfad mit PRP geschützt werden kann.

Außerdem kann der Client redundante Verbindungen zu verschiedenen Access Points entlang der Strecke aufbauen und von Access Point zu Access Point roamen, wobei eine der beiden PRP-Verbindungen stets aktiv bleibt. Darüber hinaus bleibt die daraus resultierende Qualität der Verbindung immer so gut oder



besser als die beste der beiden Verbindungen, und zwar unabhängig von mobilen Einflüssen (z. B. schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis oder Fading), da der PRP-Algorithmus automatisch die Pakete der besseren Verbindung auswählt. Dadurch können Roaming-Unterbrechungen und eine Beeinträchtigung des Dienstes ohne Umschaltungen vermieden werden. Wichtig bei diesem Szenario ist wiederum, dass PRP nicht auf den drahtlosen Kanal begrenzt ist, da die verschiedenen WLAN-Verbindungen über mehrere Access Points laufen, die auf unterschiedliche Weise an das Netz angeschlossen sind. Duplizierte Pakete müssen an einem zentralen Punkt des Netzwerkes eliminiert werden, was nur mit einer standardisierten und WLAN-unabhängigen Methode möglich ist.

Belden und Hirschmann bieten mit den Switches der RSP-Familie ein Portfolio an PRP-fähigen Geräten, mit denen es möglich ist, die zuvor beschriebenen Lösungen zu realisieren. Darüber hinaus bietet Hirschmann als Erweiterung seiner umfassenden Industrial WLAN-Lösungen jetzt als Bestelloption seine IEEE 802.11n Access Points der OpenBAT-Serie mit integrierter PRP-Funktionalität an.

Resümee

Als eine standardisierte Redundanzlösung eignet sich PRP hervorragend, um die Zuverlässigkeit und die Qualität der Dienste von drahtlosen Verbindungen drastisch zu verbessern. Zusätzlich ist es mit PRP möglich, vielfältige Netzwerktopologien aus drahtgebundenen und drahtlosen Verbindungen zu schützen. So können verlust- und latenzsensible Anwendungen erfolgreich über drahtlose Verbindungen betrieben werden.

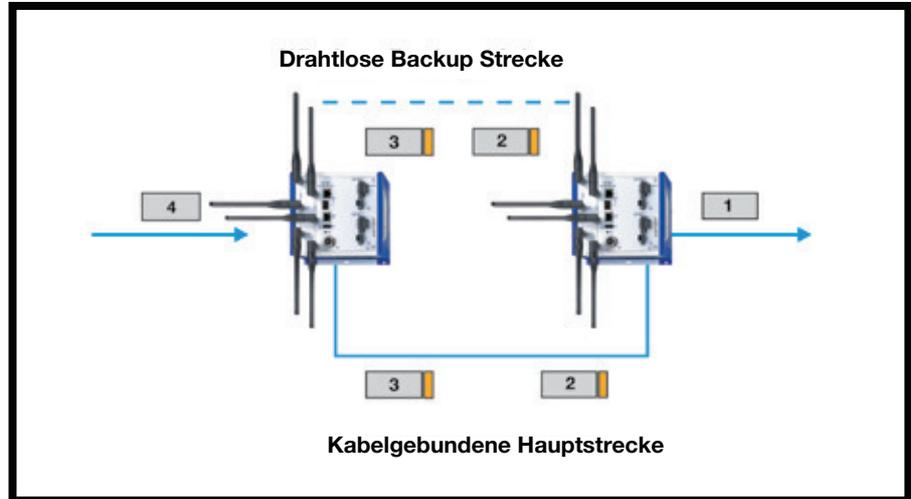


Abbildung 4. PRP erlaubt es, sowohl drahtgebundene wie auch drahtlose Strecken als redundante Pfade zu verwenden, was vielfältige Netzwerktopologien ermöglicht. Hier zu sehen ist ein drahtgebundener Pfad mit einem drahtlosen Backup-Pfad.

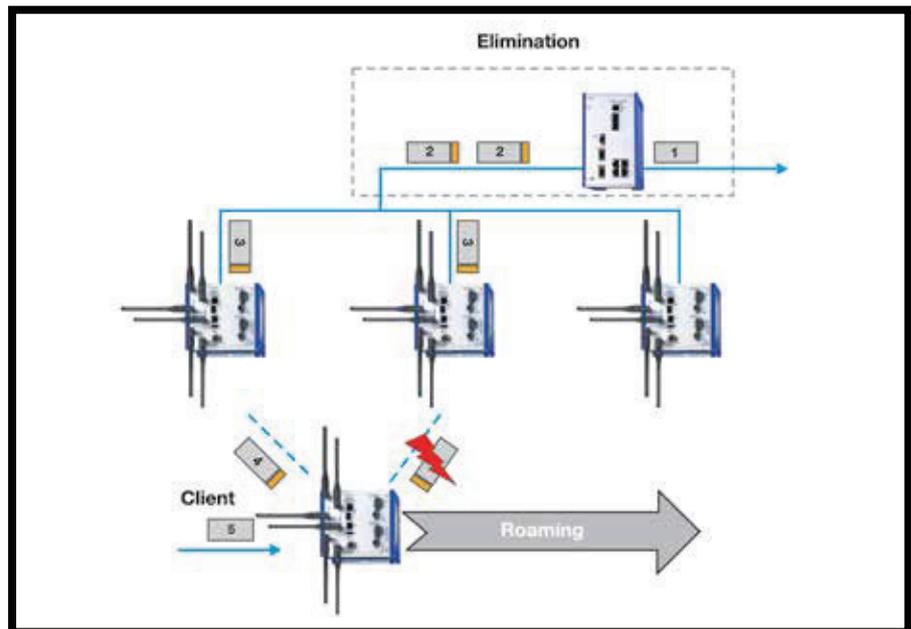


Abbildung 5. PRP in einem WLAN-Netzwerk, das aus mehreren Access Points und einem Client besteht. Die Eliminierung wird an zentraler Stelle durch einen PRP-fähigen Switch durchgeführt.