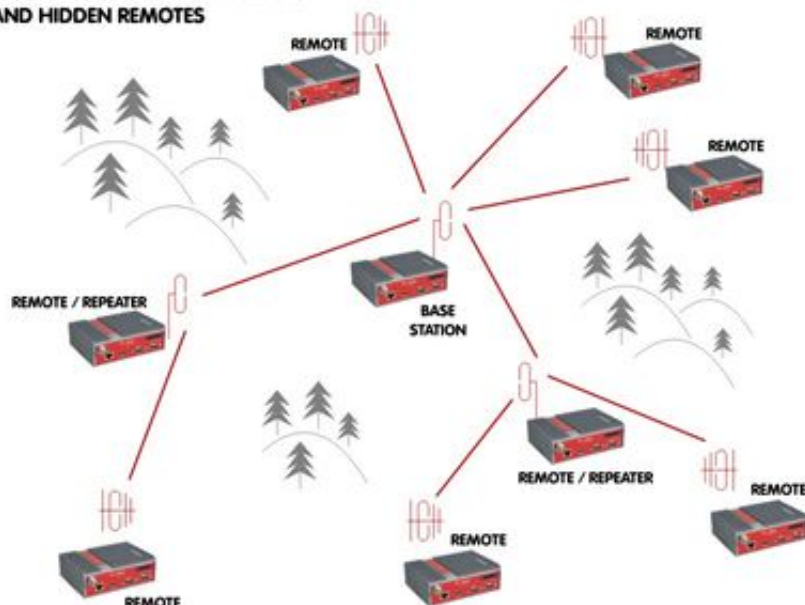


Base Driven Protocol

STAR TOPOLOGY WITH REPEATERS AND HIDDEN REMOTES



Inżynierowie z firmy RACOM znaleźli rozwiązanie, które od lat było poszukiwane na rynku. **Base Driven Protocol**, zaprojektowany dla aplikacji **TCP/IP (IEC104)** oraz dostosowany do sieci kolizyjnych, gdzie zdalne radio nie może być słyszane przez inne radia zdalne i/lub wykorzystywane są oddzielne częstotliwości dla RX / RX. Wszystkie transmitowane pakiety są zarządzane przez lokalną stację bazową i dystrybuowane równomiernie do wszystkich jednostek zdalnych.

Ten protokół jest rezultatem 20 lat doświadczeń RACOM w opracowywaniu protokołów na kanale radiowym w obrębie sieci wąskopasmowych, aby sprostać wymaganiom rynku. Do zakończenia prac nad protokołem potrzeba było dwóch lat pracy naszych najlepszych światowych programistów we współpracy z Uniwersytetem Technicznym w Pradze.

Cechy

- Zaprojektowany do sieci o topologii gwiazdy z możliwością retransmisji,
- Optymizowany dla TCP/IP, szczególnie dla protokołu IEC104,
- Dostosowany do sieci kolizyjnych, gdzie zdalne radio nie może być słyszane przez inne radia zdalne i/lub wykorzystywane są oddzielne częstotliwości dla RX / RX.
- Ponad 90% pojemności kanału jest dostępne dla danych użytkownika
- Cały ruch w sieci jest zarządzany i optymizowany przez stację bazową.
- Brak kolizji w sieci,
- Dostęp do kanału radiowego jest udzielany przez własny algorytm deterministyczny
- Stabilne czasy odpowiedzi z minimalnym odchyleniem,
- Sprawiedliwy podział pojemności kanału pomiędzy wszystkimi jednostkami zdalnymi.
- Stacja bazowa może obsługiwać do 255 stacji zdalnych, w tym do 128 stacji retransmisyjnych,
- Wysoka niezawodność – potwierdzone pakiety *unicast* na kanale radiowym.

Wstęp do rewolucji

Tyle słowem wstępu od strony marketingu, a jak to wygląda od strony praktycznej? Zanim do tego przejdziemy, trzeba jasno powiedzieć, że w dobie kiedy wszystko jest produkowane *bez końca*, czyli każda większa zmiana funkcjonalna urządzenia, skutkuje nową wersją sprzętową z kolejnym numerkiem wersji, firma RACOM postępuje wprost przeciwnie, zapewniając stały rozwój swojego produktu. Do tej pory było jedno urządzenie, które pełniło funkcję stacji bazowej, stacji zdalnej, repetera lub wszystkich trzech jednocześnie. Po aktualizacji oprogramowania do nowej wersji 1.6 otrzymujemy dwa, zupełnie nowe urządzenia. Jedno z nich pracuje w trybie **FLEXIBLE** czyli w tym co znamy, a nowość polega na tym, że aktualnie można dowolnie mieszać modulacje w kanale radiowym. Drugie to **Base Driven** czyli sterownik sieci radiowej z możliwością retransmisji z całym inwentarzem nowych możliwości.

Flexible

Tryb ten umożliwia tworzenie sieci o dowolnej topologii i dowolnej ilości urządzeń końcowych. Liczbę pracujących jednostek zdalnych i urządzeń końcowych doń podłączonych definiują takie parametry jak: rozmiar paczki danych, interwał zapytań, żądany czas odpowiedzi/reakcji sieci, szerokość kanału radiowego oraz stosowana modulacja czyli szybkość transmisji danych. W tej sieci typowy repeter (retransmisja) nie występuje, ponieważ każde urządzenie ma możliwość przesyłania danych do serwera SCADA ścieżkami alternatywnymi, które określamy (lub nie) w tablicy routingu. RipEXy w tym trybie wykorzystują autorski protokół anty-kolizyjny, który umożliwia urządzeniom ustalenie dostępu do kanału radiowego w najbardziej efektywny sposób oraz wyboru trasy doręczenia pakietu danych do miejsca przeznaczenia (nie mylić z trasami zapasowymi – Backup routes). Ten tryb pracy ma bardzo wiele zalet ale wymaga drobiazgowego podejścia do projektu, jak i optymalizacji zapytań systemów SCADA aby nie spowodować zatorów, choć protokół anty-kolizyjny do pewnego stopnia sobie z nimi radzi. W trybie Flexible prócz *pull* mamy też *push* czyli możliwość wysyłania danych do serwera po wystąpieniu zdarzenia. Serwer może tylko nasłuchiwać w oczekiwaniu na dane. W tym trybie możliwa jest jednoczesna praca wszystkich interfejsów użytkownika, czyli wszystkie porty ETH i COM mogą jednocześnie wysyłać i odbierać dane w całej sieci! Jest to semi-duplex z podziałem czasu 50/50. Protokół Flexible idealnie nadaje się do zastosowań telemetrycznych, zdalnej kontroli i sterowania oraz systemów SCADA. Nam się udało wykorzystać go również do transmisji VoIP ale o tym innym razem.

Optymalizacja zapytań serwerów SCADA, jak życie pokazało, nie idzie w parze w poszanowaniu transmisji wąskopasmowej przez programistów ale też niektóre protokoły komunikacyjne powodują duże zamieszanie w takiej sieci, przez co tworzą się zwyczajne korki, a fachowo kolizje w kanale radiowym. Rozwiązaniem tego problemu, według zapewnień producenta jest:

Base Driven Protocol

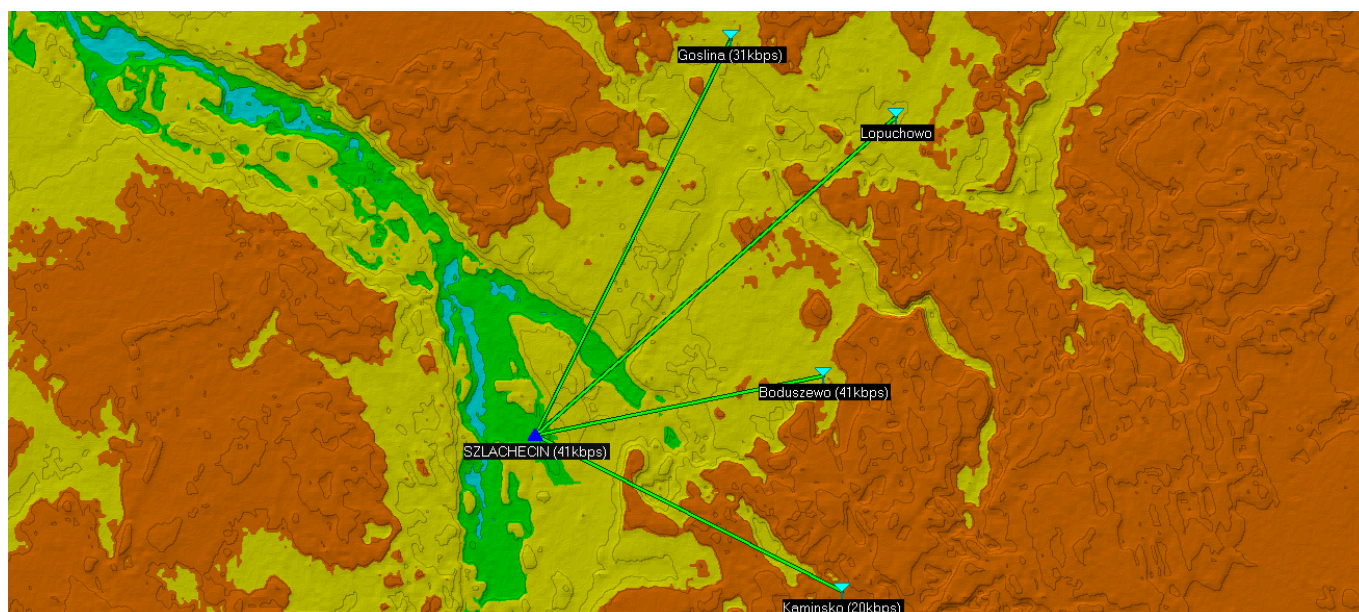
Dosłownie - Sterownik Bazowy - sieci radiowej. Protokół ten został zaprojektowany od podstaw na potrzeby komunikacji TCP/IP z uwzględnieniem IEC104. Base Driven pozwala na budowę sieci wyłącznie o topologii gwiazdy z możliwością stosowania repeterów, czyli typowej struktury budowanych sieci radiowych. Ilość stacji zdalnych została ograniczona do 255, z możliwością użycia 128 repeterów wewnątrz sieci, ale za repeterem nie możemy stosować kolejnych repeterów. W zamian dostajemy rozwiązanie kilku problemów. Pierwszy, najważniejszy to nowoczesne aplikacje SCADA - czyli problem optymalizacji zapytań, który Base Driven skutecznie rozwiązuje. Drugi, to wzajemna widoczność stacji zdalnych (remote), czyli przerywanie transmisji przez sąsiednie radiomodemy, które pytają o dostępność kanału radiowego. Ten problem nie występuje w protokole Base Driven. Sesje pomiędzy stacją bazową, a zdalną nawiązywane są w trybie bezpośrednim (unicast) z potwierdzeniem doręczenia. W czasie trwania sesji, sąsiednie radiomodemy nie zagłuszają trwającej transmisji. W efekcie zostały wyeliminowane kolizje w kanale radiowym. Radio bazowe steruje komunikacją w całej sieci, przydzielając stacjom zdalnym „czas antenowy” w zależności od zapotrzebowania na transmisję i warunki propagacyjne. Obiekt, który generuje dużą ilość zmiennych, np. 2-3 sterowniki PLC otrzyma więcej czasu niż obiekt, na którym pracuje jeden sterownik, odpowiedzialny np. za sterowanie pompą i kontrolą poziomu zbiornika. W nowym protokole nie znajdziemy mechanizmów używanych w trybie **Flexible**. Nie ma tu protokołu anty-kolizyjnego i innych mechanizmów z nim powiązanych. Dzięki uproszczonej strukturze sieci, protokoły sterujące zajmują mniej niż 10% pasma, a to oznacza, że dla użytkownika dostępne jest ponad **90% zasobów!** W trybie Base Driven dostępem do kanału radiowego zarządza własny algorytm deterministyczny, który pozwala również na jednoczesną pracę wszystkich portów komunikacyjnych w całej sieci. Mamy więc do czynienia z bardzo wyrafinowanym rozwiązaniem.

Base Driven w praktyce

Nowy protokół komunikacyjny opracowany przez firmę RACOM, został wdrożony w sieci radiowej, należącej do poznańskiej spółki Aquanet S.A. Po modernizacji jednej ze stacji SUW oraz włączeniu jej do sieci IT powstał problem, którego nikt wcześniej nie był w stanie przewidzieć, a mianowicie ilość i częstotliwość przesyłanych danych pomiędzy sterownikami PLC, a serwerem SCADA. Postanowiliśmy więc sprawdzić, czy nowe oprogramowanie urządzeń RipEX będzie tak skuteczne, jak zapewnia producent.

AKPiA

W ramach modernizacji SUW Kamińsko, zainstalowane zostały dwa sterowniki PLC firmy Schneider Electric, odpowiedzialne za automatyzację wszystkich procesów. Pierwszy sterownik odpowiada jest za prace zestawu sieciowego, a drugi za pracę pomp głębinowych włącznie z kontrolą poziomu zbiorników.

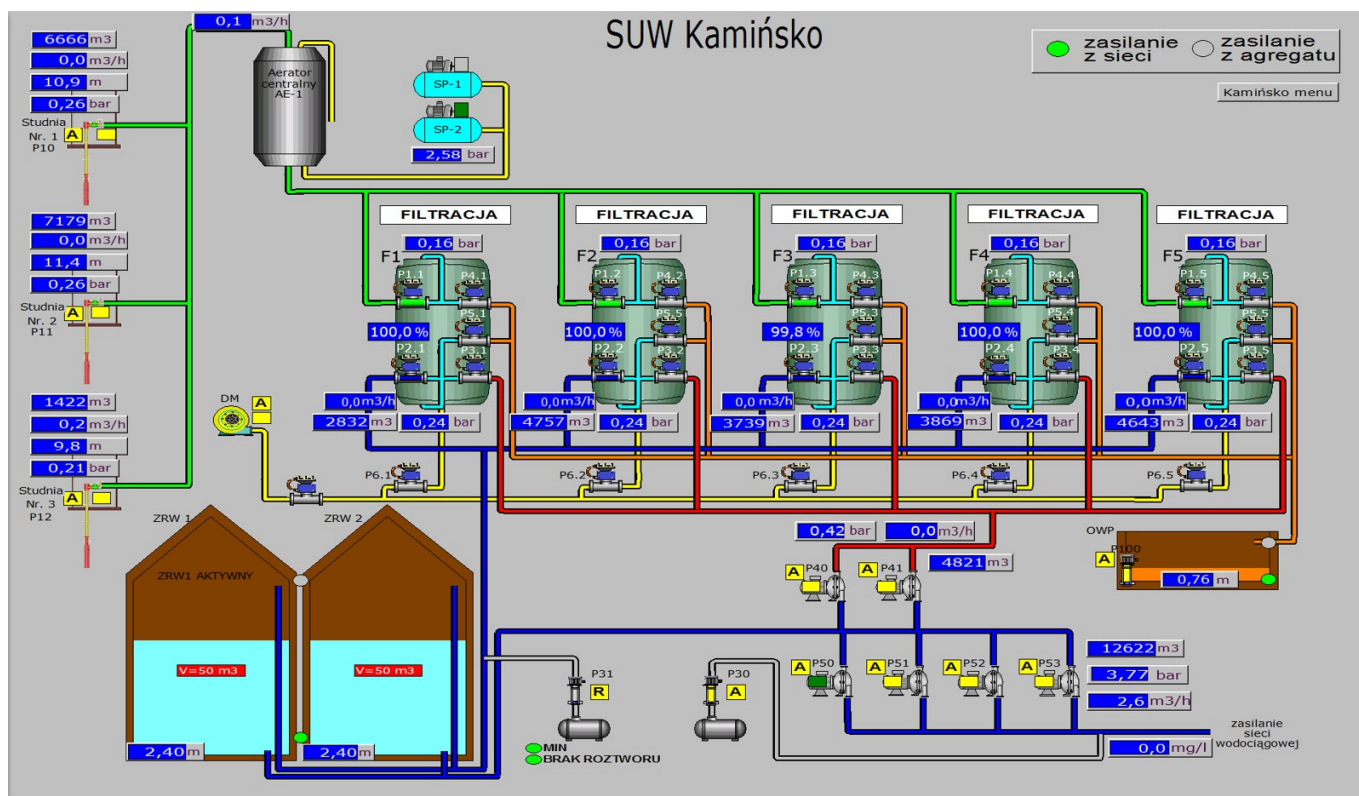


_ Rys. Topologia sieci RipEX i profil terenu

Poprzez tor radiowy przesyłane są wszystkie stany 123 wejść, stany wszystkich 53 wyjść, 217 flag oraz 381 rejestrów. Stan wejść pozwala na odczytanie aktualnego stanu pracy urządzeń. Flagi pozwalają na zarządzanie pracą technologiczną i załączaniem/wyłączaniem odpowiednich urządzeń. W rejestrach są przetrzymywane pomiary oraz wartości umożliwiające utrzymywanie odpowiednich ciśnień, poziomów wody, itp. oraz dane archiwalne.

SCADA

Komunikacja pomiędzy wizualizacją przemysłową, a sterownikami PLC odbywa się dwukierunkowo, tzn. na wizualizacji SCADA jest możliwość odczytywania wartości jak i zadawania nowych oraz możliwość zdalnego sterowania wybranymi pompami. Ze sterownikami komunikują się dwa niezależne stanowiska komputerowe z wizualizacją SCADA, w interwałach czasu co 5000ms (podstawowe) i 8000ms (zapasowe).



_ Rys. Wizualizacja SCADA

Implementacja Base Driven

Po aktualizacji oprogramowania do nowej wersji pojawiają się nowe opcje w panelu zarządzania, co widać na poniższym rysunku. W tym miejscu możemy zdefiniować zakres dostępnych adresów (Protocol adress) oraz dostępnych modulacji (prędkości transmisji danych). Na tym przykładzie, w celu przeprowadzenia testu zostały zdefiniowane wszystkie dostępne modulacje cyfrowe, aby sprawdzić jak bardzo moje decyzje zostaną podważone przez zaawansowany algorytm. Oczywiście do projektanta sieci należy ostatnie słowo.

Values from: SZLACHECIN

Fast remote access ?

Device

Unit name: SZLACHECIN
Operating mode: Router
Hot Standby: Off

Radio

Radio protocol: Base Driven
Station type: Base
IP: 10.10.10.1
Mask: 255.255.255.0
TX frequency:
RX frequency:
Channel spacing [kHz]: 12.5
Modulation rate [kbps]: 41.67 | 16DEQAM
RF power [W]: 2
Optimization: Off
Encryption: Off
MTU [bytes]: 1500

Radio protocol

Radio protocol: Base Driven
Station type: Base
Mode: CE
Modulation type: QAM
Modulation rate [kbps]: 41.67 | 16DEQAM
FEC: 41.67 | 16DEQAM
31.25 | D8PSK
20.83 | π/4QPSK
10.42 | DPSK

Remotes

Protocol addresses	Modulation rate	FEC	ACK Retries	CTS retries	Connection	Repeater Protocol addr.	Note	Active
1 - 5	41.67 16DEQAM	Off	2	2	Direct			✓ Delete Add
6 - 10	41.67 16DEQAM	On (FEC 3/4)	2	2	Direct			✓ Delete Add
11 - 15	31.25 D8PSK	Off	2	2	Direct			✓ Delete Add
16 - 20	31.25 D8PSK	On (FEC 3/4)	2	2	Direct			✓ Delete Add
21 - 25	20.83 π/4QPSK	Off	2	2	Direct			✓ Delete Add
26 - 30	20.83 π/4QPSK	On (FEC 3/4)	2	2	Direct			✓ Delete Add
31 - 35	10.42 DPSK	Off	3	3	Direct			✓ Delete Add
36 - 40	10.42 DPSK	On (FEC 3/4)	3	3	Direct			✓ Delete Add

_ Rys. Konfiguracja stacji bazowej

Poniżej panel konfiguracji stacji zdalnej (remote). Tutaj należy tylko wybrać protokół i tryb pracy, w tym przypadku Base Driven => Remote oraz rodzaj modulacji => QAM. Resztę zostawiamy automatycznie.

Device ?

Unit name	DługaGosłina	Time	NTP	Alarm management	Default	Neighbours&Statistics	Default
Operating mode	Router	SNMP	On	Power management	Always On	Graphs	Default
Hot Standby	Off	Firewall	Off	WiFi	On	Management	Default

Radio ?

Radio protocol	Base Driven
Station type	Remote
IP	10.10.10.8
Mask	255.255.255.0
TX frequency	
RX frequency	
Channel spacing [kHz]	12.5
Modulation type	QAM
RF power [W]	2
Optimization	Off
Encryption	Off
MTU [bytes]	1500

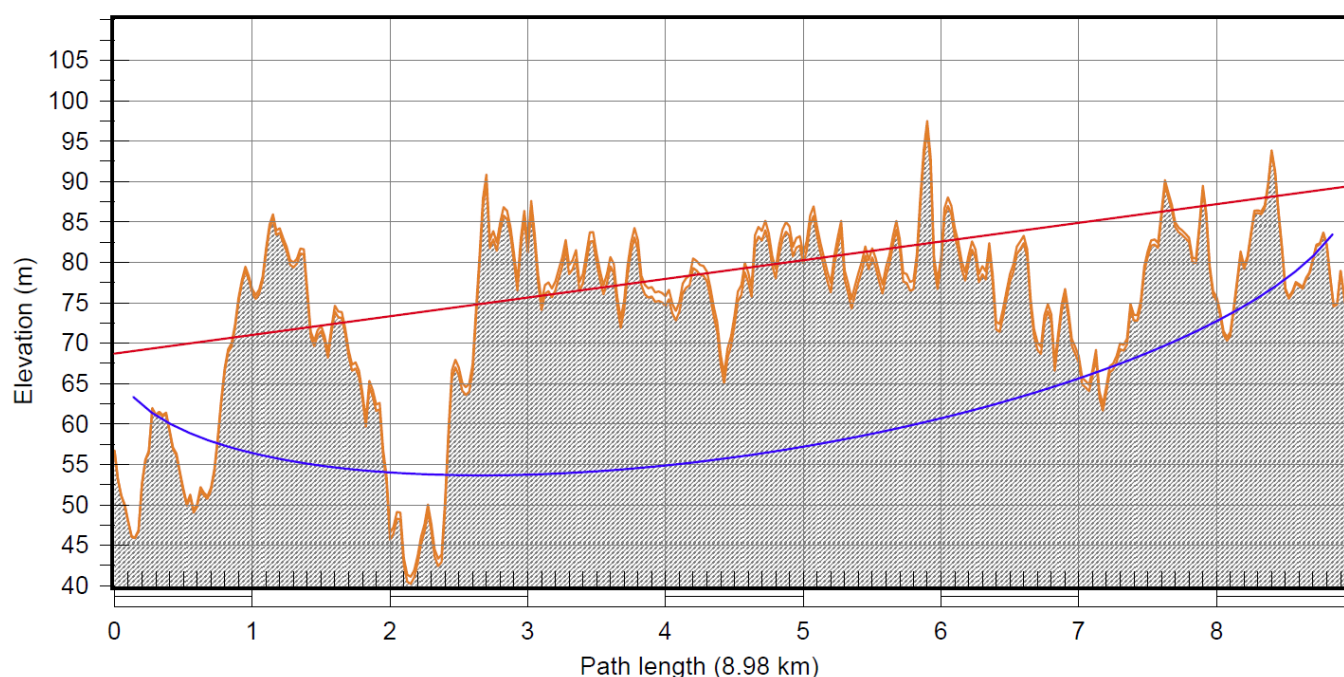
ETH ?

Radio protocol	Base Driven
Station type	Remote
Mode	CE
Modulation type	QAM
Protocol address mode	Automatic
Protocol address	8
ACK	On
Retries [No]	2

COM's ?

Autospeed - czyli rozbieżności projektant via algorytm

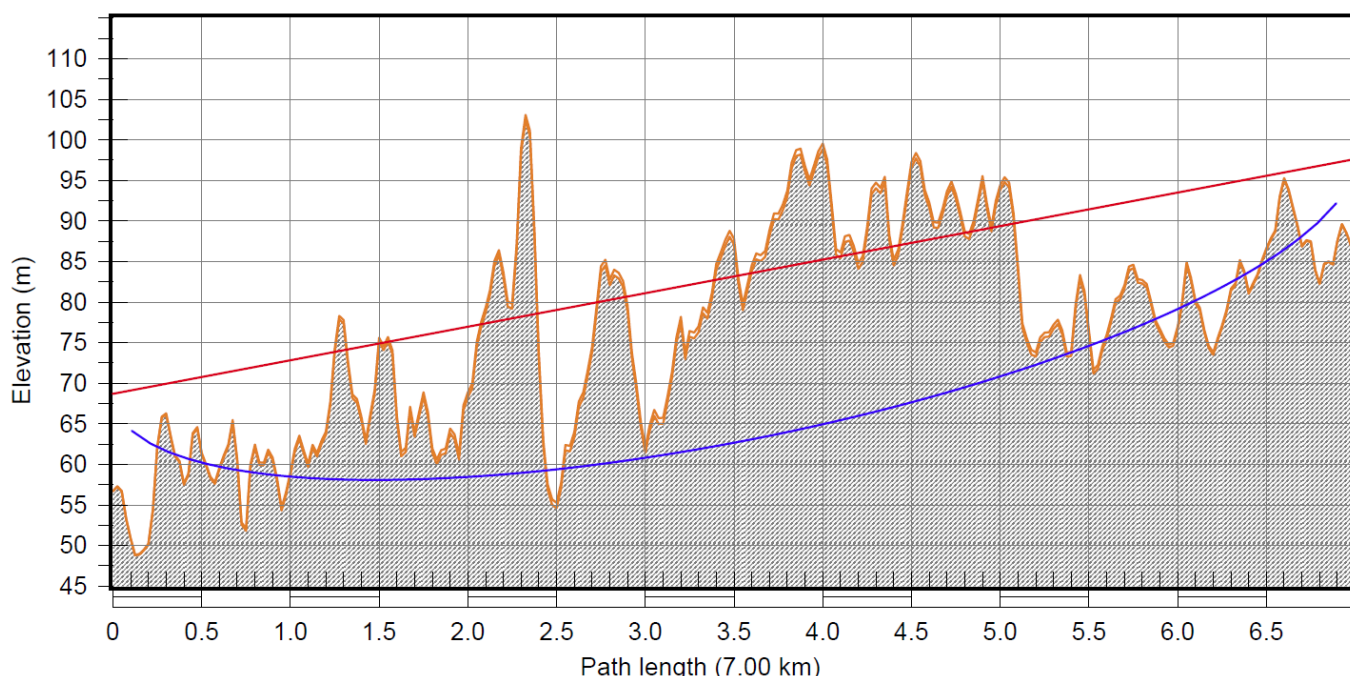
Na tym linku można swobodnie operować modulacją 16DEQAM bez FEC. Zdecydowałem jednak użyć modulacji D8PSK bez FEC. Pomimo odległości 9km, łącze cechuje się bardzo stabilnym sygnałem (ponad 20dBm zapasu), o bardzo dobrej jakości (DQ >230). Algorytm "wykalkulował" jednak 16DEQAM z FEC3/4. Można więc powiedzieć, że poszedł tutaj na kompromis.



12:22:55.202387 [RF:phy:Tx] IP 192.168.213.3 > 192.168.213.8: ICMP echo request, length 62
RLhead: 4860 08a6 9da2 3160 44 ((MC:B1) 10.10.10.1 > 10.10.10.8 DATA: T:8 LN:49 Rp:- nA:y
A:68)
DChead: 00 (lF:-lC:-lE:-l)

MC:B1 - oznacza 16DQAM z FEC3/4, natomiast parametr T pokazuje numer kanału.

Kolejny link, choć tylko (aż) 7km, za to w bardzo trudnych warunkach (miasto, puszcza, dwa wzgórza po drodze, obie strony w zagłębieniu terenu). Tutaj na podstawie testów i długiej obserwacji zdecydowałem użyć modulacji $\pi/4$ -DQPSK z FEC3/4, która oferuje przepustowość 15.62kbps przy granicznej czułości odbiornika -109dBm. Wybór ten stanowił swego rodzaju kompromis, który ostatecznie się sprawdził. Średni poziom sygnału oscyluje w okolicy -100dBm, a w czasie testu było -96dBm. Łącze radiowe ma więc połowę wymaganego zapasu, lecz w groźnych warunkach już pracować nie będzie. Za to cechuje się wysoką jakością połączenia, parametrem DQ >200. Algorytm jednak podważył moją decyzję i zastosował modulację DPSK, więc mniej złożoną i bez FEC. Modulacja DPSK pozwala na transfer danych z prędkością 10.42kbps. Algorytm najwyraźniej obliczył, że dodatkowe dane do odbudowy ewentualnie uszkodzonych ramek, czyli FEC, są zbędne, za to mniej złożona modulacja będzie zachowywać się jeszcze stabilniej.



12:22:39.583019 [RF:phy:Tx] IP 192.168.12.158 > 192.168.213.34: ICMP destination unreachable, length 85

RLhead: 4860 20a6 9da2 ce60 43 ((MC:80) 10.10.10.1 > 10.10.10.32 DATA: T:32 LN:206 Rp:- nA:y A:67)

DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

MC:80 - oznacza DPSK, a wartość T wskazuje na kanał 32.

Z powyższego wynika, że nowy algorytm deterministyczny, odpowiedzialny za dostęp do kanału radiowego, potrafi ocenić jakość połączenia radiowego i dopasować najbardziej efektywną modulację czyli szybkość transmisji danych, indywidualnie dla każdej stacji zdalnej.

Informację o stosowanej modulacji możemy odczytać, w menu **Monitoring** /zakładka **Diagnostic**

Monitoring

RADIO☒

COM1☐

COM2☐

ETH☐

Internal☐

show params

Show time diff.☐

File period: 5 min

File size: 100 kB

12:35:01.662905 [RF:phy:Tx] IP 192.168.213.3 > 192.168.213.8: ICMP echo request, length 62
RLhead: 4860 08a6 9da2 b260 c5 ((MC:B1) 10.10.10.1 > 10.10.10.8 DATA: T:8 LN:178 Rp:- nA:y A:197)
DChhead: 00 (|F:-|C:-|E:-|)

12:35:04.412443 [RF:phy:Rx] IP 192.168.213.8 > 192.168.213.3: ICMP echo reply, length 62, rss:82 dq:223
RLhead: 4880 08a3 4a12 c640 ((MC:B1) 10.10.10.8 > 10.10.10.1 DATA_RTS: T:8 LN:198 Rp:- nA:y Ofr:0)
DChhead: 00 (|F:-|C:-|E:-|)

12:35:04.614835 [RF:phy:Rx] IP 192.168.213.34 > 192.168.12.158: ICMP destination unreachable, length 82, rss:96 dq:251
RLhead: 4880 20b5 8ac1 a444 ((MC:80) 10.10.10.32 > 10.10.10.1 DATA_RTS: T:32 LN:164 Rp:- nA:y Ofr:4)
DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

12:35:05.324284 [RF:phy:Rx] IP 192.168.213.34 > 192.168.12.158: ICMP destination unreachable, length 82, rss:96 dq:247
RLhead: 4880 20b5 8ac1 a842 ((MC:80) 10.10.10.32 > 10.10.10.1 DATA_RTS: T:32 LN:168 Rp:- nA:y Ofr:2)
DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

12:35:06.476095 [RF:phy:Rx] IP 192.168.213.34 > 192.168.12.158: ICMP destination unreachable, length 82, rss:97 dq:247
RLhead: 4880 20b5 8ac1 ad41 ((MC:80) 10.10.10.32 > 10.10.10.1 DATA_RTS: T:32 LN:173 Rp:- nA:y Ofr:1)
DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

12:35:07.639993 [RF:phy:Tx] IP 192.168.12.158 > 192.168.213.34: ICMP echo request, length 62
RLhead: 4860 20a6 9da2 e860 ad ((MC:80) 10.10.10.1 > 10.10.10.32 DATA: T:32 LN:232 Rp:- nA:y A:173)
DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

12:35:08.436167 [RF:phy:Rx] IP 192.168.213.34 > 192.168.12.158: ICMP echo reply, length 62, rss:97 dq:247
RLhead: 4880 20b5 8ac1 b344 ((MC:80) 10.10.10.32 > 10.10.10.1 DATA_RTS: T:32 LN:179 Rp:- nA:y Ofr:4)
DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

12:35:08.525182 [RF:phy:Tx] IP 192.168.12.158 > 192.168.213.34: ICMP echo request, length 62
RLhead: 4860 20a6 9da2 ed60 b2 ((MC:80) 10.10.10.1 > 10.10.10.32 DATA: T:32 LN:237 Rp:- nA:y A:178)
DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

12:35:08.631072 [RF:phy:Tx] IP 192.168.12.158 > 192.168.213.34: ICMP destination unreachable, length 85
RLhead: 4860 20a6 9da2 ee60 b3 ((MC:80) 10.10.10.1 > 10.10.10.32 DATA: T:32 LN:238 Rp:- nA:y A:179)
DChhead: 10 (|F:-|C:l|E:-|)

TX Modulation and Coding

[7.4] Modulation Select Nibble

0x0 = 2-CPFSK (default)

0x1 = 4-CPFSK

0x8 = DPSK

0x9 = $\pi/4$ -DQPSK

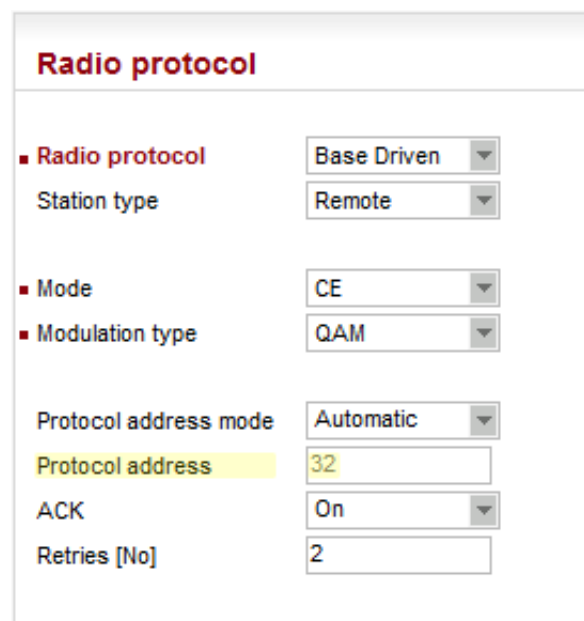
0xA = 8DPSK

0xB = 16-DEQAM

[3..0] Coding Select Nibble

0x0 = coding Off (default)

0x1 = FEC $\frac{3}{4}$



■ Radio protocol	Base Driven
Station type	Remote
■ Mode	CE
■ Modulation type	QAM
Protocol address mode	Automatic
Protocol address	32
ACK	On
Retries [No]	2

Aktualnie STATUS radiomodemu pokazuje ostatnią modulację, jaka była używana w trybie Flexible. Zostanie to poprawione w kolejnej wersji oprogramowania. Aby ustalić typ emisji, czyli użytej modulacji, można połączyć się zdalnie z radiem i podejrzeć wartość pola **Protocol Address**. Na poniższym rysunku widnieje wartość **32**, co w naszym przykładzie oznacza modulację **DPSK bez FEC**, ponieważ radio bazowe przydziela tę modulację w zakresie adresów **31-35** (wyżej > Konfiguracja sieci).

Protocol address to indywidualny numer radiomodemu, który pracuje pod kontrolą protokołu Base Driven.

Dostępność i efektywność kanału radiowego

Teraz przyjrzymy się Base Driven od strony efektywności transmisji i dostępu do kanału radiowego. Główny problemem w tej części sieci, to "przeładowanie" portu Ethernet w radiomodemie. Radio nie jest w stanie „upchnąć” otrzymanych danych w kanale radiowym.

Rozważane były tutaj dwie możliwości, w celu rozwiązania problemu: optymalizacja zapytań serwera SCADA lub poszerzenie odstępów międzykanałowego o kolejne 12,5kHz czyli do 25kHz, co się wiąże z dodatkową procedurą i kosztami. W tym miejscu 25kHz rozwiązało by problem na tyle sprawnie, że zostałyby jeszcze "pasma" na zdalną aktualizację oprogramowania samych sterowników PLC, co

potwierdziły testy. Wybrana została trzecia opcja, czyli: dopasowanie konfiguracji radiomodemów do specyfiki transmisji danych/pracy urządzeń. Pomimo uzyskania stabilnej łączności, nadal istniało pewne zagrożenie, o czym nieco dalej.

Poniżej statystyka pakietów TX/RX. Radiomodemy pracują tutaj jeszcze na oprogramowaniu 1.5.7.0.

Statystyki radia bazowego, 3 pełne doby. Oprogramowanie 1.5.

Statistic ?

Date

Log start 2016-11-04 20:58

Log end 2016-11-05 20:58

Log uptime 1d 00:00:00

Log save period

Default (1d 00:00)

Radio ?

IP		DATA				RADIO PROTOCOL								TOTAL		
	Rx	Packets		Bytes		Duplicates		Data error				Control packets		Packets		
	Repeats					Lost		Rejected						Packets		
	Tx	count	count/s	total▼	avg	count	%	count	%	count	%	count	%	count	Bytes	B/s
TOTAL	Rx	257568	2.98	28957829	112.4	2	0.00	9	0.00	-	-	313735	54.91	571314	31156642	360.61
	Tx	314791	3.64	21688481	68.9	40282	12.80	80	0.03	999	0.32	257586	42.04	612659	26265503	304.00
192.168.213.34	Rx	167717	1.94	20821470	124.1	0	0.00	0	0.00	-	-	197253	54.05	364970	22202241	256.97
	Tx	197894	2.29	13659907	69.0	24738	12.50	50	0.03	591	0.30	167719	42.97	390351	16542387	191.46
192.168.213.35	Rx	89723	1.04	8124521	90.6	0	0.00	0	0.00	-	-	116333	56.46	206056	8938852	103.46
	Tx	116769	1.35	8016542	68.7	15526	13.30	29	0.02	407	0.35	89723	40.41	222018	9707594	112.36
10.10.10.32	Rx	53	0.00	4924	92.9	2	3.77	7	13.21	-	-	63	50.40	125	7255	0.08
	Tx	53	0.00	4982	94.0	9	16.98	1	1.89	0	0.00	55	47.01	117	6232	0.07
192.168.213.32	Rx	51	0.00	4722	92.6	0	0.00	0	0.00	-	-	50	49.50	101	5072	0.06
	Tx	51	0.00	4794	94.0	9	17.65	0	0.00	1	1.96	51	45.95	111	5997	0.07

Statistic																	?
Date	Log start 2016-11-06 20:58				Log end 2016-11-07 20:58				Log uptime 1d 00:00:01				Log save period Default (1d 00:00)				
Radio																	?
IP		DATA				RADIO PROTOCOL								TOTAL			
	Rx	Packets		Bytes		Duplicates		Data error		Control packets		Packets					
	Repeats					Lost		Rejected				Packets					
	Tx	count	count/s	total▼	avg	count	%	count	%	count	%	count	%	count	Bytes	B/s	
TOTAL	Rx	267061	3.09	30960006	115.9	0	0.00	6	0.00	-	-	326240	54.99	593307	33245345	384.78	
	Tx	327525	3.79	22626551	69.1	41527	12.68	100	0.03	1206	0.37	267079	41.98	636131	27370591	316.79	
192.168.213.34	Rx	172759	2.00	21980010	127.2	0	0.00	0	0.00	-	-	203326	54.06	376085	23403292	270.87	
	Tx	204030	2.36	14081488	69.0	25177	12.34	58	0.03	646	0.32	172759	42.98	401966	17032474	197.13	
192.168.213.35	Rx	93055	1.08	8518927	91.5	0	0.00	0	0.00	-	-	121335	56.60	214390	9368272	108.43	
	Tx	121849	1.41	8365584	68.7	16056	13.18	39	0.03	475	0.39	93055	40.29	230960	10117596	117.10	
192.168.213.36	Rx	1203	0.01	456989	379.9	0	0.00	0	0.00	-	-	1514	55.72	2717	467587	5.41	
	Tx	1602	0.02	175343	109.5	289	18.04	3	0.19	85	5.31	1203	38.88	3094	214668	2.48	
192.168.213.32	Rx	18	0.00	1668	92.7	0	0.00	0	0.00	-	-	18	50.00	36	1794	0.02	
	Tx	18	0.00	1692	94.0	1	5.56	0	0.00	0	0.00	18	48.65	37	1912	0.02	

Statistic ?																
Date	Log start 2016-11-05 20:58				Log end 2016-11-06 20:58				Log uptime 1d 00:00:00				Log save period Default (1d 00:00)			

Radio ?																
IP	Rx Tx	DATA				RADIO PROTOCOL								TOTAL		
		Packets		Bytes		Duplicates Repeats		Data error Lost		Rejected		Control packets		Packets		
														Packets		
		count	count/s	total	avg	count	%	count	%	count	%	count	%	count	Bytes	B/s
TOTAL	Rx	257010	2.97	28943329	112.6	5	0.00	9	0.00	-	-	313226	54.93	570250	31138472	360.40
	Tx	314466	3.64	21655907	68.9	39950	12.70	94	0.03	1170	0.37	257033	42.04	611449	26204983	303.30
192.168.213.34	Rx	167210	1.94	20792298	124.3	0	0.00	0	0.00	-	-	196698	54.05	363908	22169184	256.59
	Tx	197417	2.28	13619373	69.0	24498	12.41	53	0.03	666	0.34	167210	42.97	389125	16480866	190.75
192.168.213.35	Rx	89753	1.04	8146676	90.8	0	0.00	0	0.00	-	-	116457	56.47	206210	8961875	103.73
	Tx	117002	1.35	8032116	68.6	15449	13.20	41	0.04	504	0.43	89758	40.39	222209	9718163	112.48
192.168.213.32	Rx	12	0.00	1126	93.8	0	0.00	0	0.00	-	-	12	50.00	24	1210	0.01
	Tx	12	0.00	1128	94.0	1	8.33	0	0.00	0	0.00	12	48.00	25	1306	0.02
10.10.10.32	Rx	12	0.00	1124	93.7	5	41.67	5	41.67	-	-	27	55.10	49	3067	0.04
	Tx	12	0.00	1128	94.0	1	8.33	0	0.00	0	0.00	16	55.17	29	1372	0.02

Duplikatów praktycznie nie było. W trybie Flexible (Router) przy tym obciążeniu i kanale o przepustowości około 15kbps mamy sporo powtórzeń (Repeats). Błąd danych (Data terror) też praktycznie nie występuje, ponieważ link radiowy jest stabilny.

Podsumowując te trzy dni otrzymujemy:

TX/RX: 154 832 103 bajtów czyli $\sim 148\text{MB} / 3 = 49,3\text{MB}$ na dobę bez pakietów kontrolnych w kanale radiowym.

Statystyki radia głównego, 3 pełne doby. Po zmianie oprogramowania na 1.6 – BDP

Statistic ?																
Date	Log start 2016-11-10 17:25				Log end 2016-11-11 17:25				Log uptime 1d 00:00:00				Log save period Default (1d 00:00)			

Radio ?																
IP	Rx Tx	DATA				RADIO PROTOCOL								TOTAL		
		Packets		Bytes		Duplicates Repeats		Data error Lost		Rejected		Control packets		Packets		
														Packets		
		count	count/s	total	avg	count	%	count	%	count	%	count	%	count	Bytes	B/s
TOTAL	Rx	189146	2.19	23368670	123.5	0	0.00	0	0.00	-	-	310239	62.12	499385	25231568	292.03
	Tx	238727	2.76	16616416	69.6	0	0.00	0	0.00	187	0.08	449989	65.34	688716	22417404	259.46
10.10.10.8	Rx	213	0.00	19397	91.1	0	0.00	0	0.00	-	-	71853	99.70	72066	451201	5.22
	Tx	213	0.00	20022	94.0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	453	68.02	666	23212	0.27
10.10.10.32	Rx	188933	2.19	23349273	123.6	0	0.00	0	0.00	-	-	238386	55.79	427319	24780367	286.81
	Tx	238514	2.76	16596394	69.6	0	0.00	0	0.00	187	0.08	377896	61.31	616410	19241704	222.70
RADIO BROADCAST	Rx	0	0.00	0	-	0	-	0	-	-	-	0	-	0	0	0.00
	Tx	0	0.00	0	-	0	-	0	-	0	-	71640	100.00	71640	3152488	36.49

Statistic ?

Date

Log start 2016-11-12 17:26

Log end 2016-11-13 17:25

Log uptime 23:59:59

Log save period Default (1d 00:00)

Radio ?

IP	Rx	DATA				RADIO PROTOCOL								TOTAL		
		Packets		Bytes		Duplicates		Data error		Rejected		Control packets		Packets		
	Tx	count	count/s	total	avg	Repeats		Lost						Packets		
						count	%	count	%	count	%	count	%	count	Bytes	B/s
TOTAL	Rx	191098	2.21	23530662	123.1	0	0.00	0	0.00	-	-	312602	62.06	503700	25407757	294.07
	Tx	241908	2.80	16852488	69.7	8	0.00	2	0.00	151	0.06	453070	65.19	694986	22645027	262.10
10.10.10.8	Rx	473	0.01	43018	90.9	0	0.00	0	0.00	-	-	71289	99.34	71762	471457	5.46
	Tx	473	0.01	44400	93.9	0	0.00	0	0.00	0	0.00	976	67.36	1449	51270	0.59
10.10.10.32	Rx	190625	2.21	23487644	123.2	0	0.00	0	0.00	-	-	241313	55.87	431938	24936300	288.62
	Tx	241435	2.79	16808088	69.6	8	0.00	2	0.00	151	0.06	381279	61.23	622722	19477603	225.44
RADIO BROADCAST	Rx	0	0.00	0	-	0	-	0	-	-	-	0	-	0	0	0.00
	Tx	0	0.00	0	-	0	-	0	-	0	-	70815	100.00	70815	3116154	36.07

Statistic ?

Date

Log start 2016-11-11 17:25

Log end 2016-11-12 17:25

Log uptime 1d 00:00:00

Log save period Default (1d 00:00)

Radio ?

IP	Rx	DATA				RADIO PROTOCOL								TOTAL		
		Packets		Bytes		Duplicates		Data error		Rejected		Control packets		Packets		
	Tx	count	count/s	total	avg	Repeats		Lost						Packets		
						count	%	count	%	count	%	count	%	count	Bytes	B/s
TOTAL	Rx	189238	2.19	23411964	123.7	0	0.00	0	0.00	-	-	310268	62.11	499506	25274998	292.53
	Tx	238801	2.76	16600577	69.5	8	0.00	1	0.00	151	0.06	450122	65.34	688931	22401246	259.27
10.10.10.8	Rx	253	0.00	23070	91.2	0	0.00	0	0.00	-	-	71847	99.65	72100	454838	5.26
	Tx	253	0.00	23619	93.4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	533	67.81	786	27369	0.32
10.10.10.32	Rx	188985	2.19	23388894	123.8	0	0.00	0	0.00	-	-	238421	55.78	427406	24820160	287.27
	Tx	238548	2.76	16576958	69.5	8	0.00	1	0.00	151	0.06	377996	61.31	616552	19223490	222.49
RADIO BROADCAST	Rx	0	0.00	0	-	0	-	0	-	-	-	0	-	0	0	0.00
	Tx	0	0.00	0	-	0	-	0	-	0	-	71593	100.00	71593	3150387	36.46

Po zmianie oprogramowania sytuacja wygląda nieco inaczej.

TX/RX: 120380777 co daje łącznie $\sim 115\text{MB} / 3 = \mathbf{38,3MB}$ na dobę bez pakietów kontrolnych.

Rejected - usunięte ramki z bufora TX po upływie czasu / zbyt duża ilość przychodzących danych względem pojemności kanału radiowego

Lost - utraty przesyłanej ramki ($\% = 100 \times \text{zaginione ramki} / \text{wszystkie przesłane ramki}$)

Data error - kolizje, błędne nagłówki/ramki, odrzucone pakiety z sieci ETH, słaby sygnał

Repeats - próby powtórnej transmisji ramki

Podsumowanie

~24h

DATA TX/RX

Duplicates / repeats

Data error / Lost

Rejected

Flex 1.5.7.0	51610701	40589	99	11
BDP 1.6.3.0	40126926	5	1	1
Zmiana	-22%			

Tabela przedstawia dane uśrednione z radia bazowego w ujęciu dobowym bez pakietów kontrolnych.

Wartość *Data error/Lost* oraz *Rejected* w przypadku tego łącza nie ma znaczenia. Skuteczność **Base Driven** obrazuje ilość powtórek transmisji (*repeats*). Z jednej strony radio próbuje dostarczyć dane, a z drugiej otrzymuje ciągle żądanie nowych. To jest jedna z przyczyn, która obniża efektywność kanału radiowego, czyli kolizje wywołane zbyt dużym ruchem. Ilość przesłanych danych do radia bazowego przez radio zdalne zmniejszyła się tutaj o 22%, co być może związane jest ze zmianą modulacji i wyłączeniem FEC. Forward Error Corection do spółki z protokołem anty-kolizyjnym zabiera część pasma na "własny użytek", a być może ze zmianą sposobu komunikacji radia bazowego, ze stacją zdalną. Aby to dokładnie ustalić potrzebny jest szerszy zakres danych wejściowych, na co zwrócę szczególną uwagę przy kolejnym wdrożeniu BDP.

Oba te łącza radiowe z punktu widzenia SCADY działają perfekcyjnie! Skąd więc pomysł na "25kHz" oraz opis przypadku wdrożenia nowego protokołu komunikacyjnego w sieci RipEX? Rzecz w tym, że w tej jednej lokalizacji możliwości protokołu **Flexible** zostały wykorzystane w pełni. Wystarczy wysłać z jakiegokolwiek komputera pracującego w sieci dodatkowe pakiety, np. ICMP do zdalnego radia lub sterownika za nim aby wywołać awarię łącza, co będzie natychmiast zasygnalizowane przez system SCADA jako błąd komunikacji. Taką sytuację może spowodować w dowolnej chwili np. informatyk, który będzie sprawdzał funkcjonowanie urządzeń pracujących w sieci, kiedy trafi na "coś za radiem". W tym przypadku mamy do czynienia z siecią hybrydową, na którą składają się światłowody, radiolinie mikrofalowe i wąskopasmowe łącza radiowe w paśmie 450Mhz, co razem tworzy rozległą sieć WAN. Przy tak rozbudowanej infrastrukturze nie każdy ma świadomość jaką drogę do celu pokonują pakiety IP.

Po migracji do Base Driven problem został wyeliminowany. Łącze radiowe **nie ulega przeciążeniu**. Dodatkowe zapytania wysyłane do urządzeń pracujących w zdalnej sieci nie powodują "zrywania transmisji". Dzięki temu, można podłączyć jeszcze jeden sterownik na obiekcie lub swobodnie prowadzić zdalne prace serwisowe bez wpływu na stabilność połączenia.

Aby to zweryfikować, otworzyłem 3 dodatkowe sesje ICMP do trzech różnych urządzeń w testowanej stacji. Połączenie nadal pracuje stabilnie, a to już 6ta sesja obsługiwana jednocześnie przez radio! Dodałem więc kolejną - panel zarządzania WWW jednego z urządzeń. Zaowocowało to sporadycznymi *time out* ale odchylenia były w normie. Po godzinie stałego "przeciążenia łącza", zapytałem informatyków o ewentualne problemy. SCADA w tym czasie nie zgłosiła błędów w komunikacji, co potwierdziła centrala słowami "...łącze pracuje stabilnie i wszystko działa jak należy, jest sygnalizacja zdarzeń, itd". Duży sukces, wielkie zaskoczenie! Wcześniej jakakolwiek moja ingerencja w ten kanał radiowy czyli praca zdalna na radiu, skutkowała telefonem telefonem treści ...*mamy problem z łącznością, czy Pan coś robi?*

Podsumujmy: 6 sesji z trzech różnych serwerów, w tym NTP co 4sek (4ty serwer) i praca z panelem administracyjnym WWW (duże obciążenie), czyli w porywach 8 sesji TCP/IP. Po godzinie otrzymujemy: 9% strat na 12549 zapytań ICMP, średni czas odpowiedzi 1618ms! Szybkość transmisji w tym kanale radiowym 10.42kbps.

Wdrożenie BDP zakończono pozytywnie dnia 17 listopada 2016r.

Konkluzja

Z mojej strony, jako opiekuna sieci radiowej w Aquanet SA, problem został rozwiązany. Bez ponoszenia dodatkowych kosztów, spółka dysponuje stabilnym łączem radiowym o 100% dostępności z możliwością dalszej rozbudowy.

RACOM tym samym po raz kolejny umocnił swoją pozycję lidera na rynku. Aby zaprojektować i wdrożyć takie rozwiązania potrzeba oprócz ogromnych środków, zaangażowania i wieloletniego doświadczenia. Take projekty są w stanie zrealizować zespoły, które specjalizują się wyłącznie w jednej dziedzinie - w tym przypadku jest to transmisja danych w wąskopasmowych sieciach radiowych.

Sieć RipEX o której tu mówimy, ma prawie dwa lata, a była już modyfikowana 2 razy. Pierwsza zmiana to wprowadzenie ***multispeed***, czyli dopasowanie prędkości transmisji do warunków propagacyjnych aby zwiększyć jej wydajność. Druga zmiana, to migracja do **Base Driven Protocol** - czyli dopasowanie radiowej transmisji danych do nowoczesnych systemów SCADA.

Opracowanie:

Krzysztof Karcz - Opiekun Sieci Radiowej RipEX w Aquanet S.A.

Pomoc i współpraca:

Mateusz Mikorczyk - Programista PLC oraz SCADA w firmie ELCON.

Jest to pierwsza w Polsce implementacja Base Driven w sieciach radiowych, zbudowanych przy użyciu radiomodemów [RipEX](#). Publikacja będzie stale aktualizowana, wraz z włączaniem do ruchu kolejnych obiektów.