

# Systemy radiowe PtP

Autor: Grzegorz Kucia  
14.06.2006.  
Zmieniony 05.11.2007.

Systemy radiowe PtP - łącza nielicencjonowane vs radiolinie cyfrowe.  
Wstęp

Radiowe łącza punkt-punkt (PtP) coraz częściej znajdują zastosowanie zarówno w sieciach dostępowych jak i w połączeniach szkieletowych. Łącza tego typu nie są nowością i z powodzeniem są wykorzystywane od wielu lat głównie przez operatorów telekomunikacyjnych. Jednak od jakiegoś czasu systemy te stały się z jednej strony bardziej zaawansowane technicznie i dostosowane do różnorodnych potrzeb użytkowników, z drugiej strony bardziej dostępne pod względem kosztów.

Dla łączy typu punkt-punkt stosowane są dwie kluczowe technologie wywodzące się z całkiem różnych obszarów pierwotnych zastosowań. Są to łącza PtP na pasmach nielicencjonowanych (uwolnionych) oraz cyfrowe linie radiowe (radiolinie). Różnica między nimi nie polega wyłącznie na tym czy wykorzystywane pasmo radiowe wymaga licencji, czy też nie - na ogół różnice pomiędzy tymi systemami są daleko głębsze i wynikają nie tylko z historii i sposobu ich rozwoju ale także ze złożoności i wydajności.

Pisząc o pasmach uwolnionych mam tutaj na myśli głównie pasma z zakresu od 2,4 do 5,8 GHz. Niekiedy stosowane są także inne pasma takie jak 24, 58 czy też 60 GHz ale to jest klasa urządzeń bardziej zbliżonych do radiolinii cyfrowych. Poniżej przedstawiono krótką analizę i rozwój obydwu technologii.

Krótki opis i rozwój technologii

## A. Łącza na pasmach nielicencjonowanych

Pierwotnie systemy nielicencjonowane zostały zaprojektowane dla tworzenia komputerowych sieci bezprzewodowych o zasięgu lokalnym (sieci LAN) w strukturze gwiazdy (punkt - wielopunkt). Klasycznym tego przykładem (i pierwowzorem) są sieci typu Wi-Fi budowane w oparciu o Access Pointy pracujące na paśmie 2,4 GHz. Są to typowe sieci rywalizacyjne pracujące z protokołem CSMA tak samo jak kablowy Ethernet. Z czasem okazało się, że stosując te systemy na zewnątrz wraz z kierunkowymi antenami można uzyskiwać znaczne zasięgi. W późniejszym czasie pojawiły się systemy oparte na protokołach firmowych lub protokołach pollingu (przepytywania) co lepiej się sprawdziło na dłuższych dystansach. Opracowano też modele urządzeń specjalizowane do pracy typu punkt-punkt. Takie łącza PtP są dość powszechnie nazywane radioliniami. Choć nie ma jednej definicji pojęcia radiolinia, to jednak częściej radioliniami określa się systemy pracujące na pasmach licencjonowanych. Obecnie wśród łączy nielicencjonowanych PtP najczęściej występują następujące typy urządzeń:

- Klasyczny AP stosujący protokół CSMA współpracujący z jednym urządzeniem klienckim - jest to sytuacja, w której system punkt-wielopunkt dla sieci LAN został zaadaptowany do symulowania radiolinii.
- Specjalizowana para urządzeń dla łącza punkt-punkt z protokołem CSMA. Jest to sytuacja kiedy protokół sieci LAN został wykorzystany do budowania łącza PtP na znaczne odległości.

- AP (stacja bazowa) stosujący protokół pollingu (i zwykle technikę OFDM) współpracujący z jednym urządzeniem klienckim - jest to sytuacja, w której system punkt-wielopunkt dla sieci WAN został zaadoptowany do symulowania radiolinii.
- Specjalizowana para urządzeń dla łącza punkt-punkt pracująca z firmowym protokołem i techniką OFDM - układ pracy najbardziej zbliżony do radiolinii cyfrowych na pasmach licencjonowanych. Zapewnia też najlepsze parametry dla pracy PtP na paśmie uwolnionym. Tego typu łącza niekiedy posiadają także interfejsy E1.

Stosowanie łączy nielicencjonowanych ograniczone jest dwoma zasadniczymi czynnikami związanymi z regulacjami prawnymi odnośnie częstotliwości uwolnionych:

- ograniczenie mocy nadawania sprawia, że zasięg transmisji jest ograniczony,
- sam fakt uwolnienia pasma powoduje realne zagrożenie zakłóceń radiowych ze strony innych użytkowników tego samego pasma na określonym terenie.

Główne aplikacje łączy nielicencjonowanych PtP:

- szkieletowe połączenia w sieciach małych i średnich ISP
- łącza WAN dla potrzeb korporacyjnych (łączenie oddziałów lub budynków firmy)
- łącze dostępowe do dużego klienta w sieciach ISP

## B. Radiolinie cyfrowe

Radiolinie (linie radiowe) to systemy, które od samego początku zostały zaprojektowane i zoptymalizowane dla łączności typu PtP. O ile sieci na pasmach nielicencjonowanych wyrosły z potrzeb budowania "bezwolnowej wersji sieci Ethernet" o tyle radiolinie powstały jako ekwiwalent łącza światłowodowego dla potrzeb łączenia central telefonicznych w sieciach szkieletowych operatorów telekomunikacyjnych. Stąd pierwsze radiolinie obsługiwały w zasadzie wyłącznie kanały typu PDH (E1) a później E3 i SDH. Rozwój systemów radioliniowych dla potrzeb sieciowania central telefonicznych wymusił od samego początku bardzo wysoką jakość i stabilność transmisji. Wymogi operatorów odnośnie łączy międzycentralowych są bardzo wysokie gdyż były zawsze odnoszone do jakości, niezawodności i stabilności światłowodowych systemów PDH i SDH. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na usługi transmisji danych w stosunku do połączeń głosowych, zmieniły się też potrzeby stawiane radioliniom. Najpierw wprowadzono proste mapowanie Ethernetu do struktury PDH i SDH. Na tym etapie pojawiły się radiolinie Ethernet o przepustowościach odpowiadających kanałom E1, E3 i STM1 a więc 2 Mbit/s (i wielokrotności), 34 Mbit/s i 155 Mbit/s.

Obecnie nowoczesne radiolinie cyfrowe są bardzo elastycznymi platformami dla przenoszenia ruchu różnej przepustowości i o różnej strukturze niezwiązanej wprost ze standardami PDH i SDH. Wielosługowe platformy mają przeważnie niestandardową prędkość po stronie radiowej (niekoniecznie związane z SDH) i pełną paletę interfejsów użytkownika (E1, E3, Ethernet, Gigabit Ethernet, SDH).

Główne aplikacje łączy licencjonowanych PtP:

- szkieletowe połączenia w sieciach operatorów telekomunikacyjnych
- łącze dostępowe do dużego klienta w sieciach operatorów telekomunikacyjnych

- szkieletowe połączenia w sieciach ISP
- łącze między operatorskie (pomiędzy ogólnokrajowym a lokalnym operatorem ISP)
- łącze WAN dla potrzeb korporacyjnych (łączenie oddziałów lub budynków firmy)

Przyszłość w aplikacjach dla ruchu IP

Obecnie coraz częściej zarówno łącza nielicencjonowane jak i radiolinie wykorzystywane są dla podobnych potrzeb tzn. połączeń szkieletowych dla sieci typu IP. Decyzja o wyborze jednej lub drugiej technologii zależy od kilku istotnych czynników:

- odległość pomiędzy lokalizacjami
- wymagana przepustowość
- wymagania odnośnie pewności (dostępności) łącza w kontekście różnego rodzaju zakłóceń
- wymagania odnośnie opóźnień pakietów
- czy jest zachowana widoczność pomiędzy lokalizacjami czy też nie
- wymagania odnośnie czasu (szybkości) wdrożenia

Cztery pierwsze wymagania są znacznie lepiej spełniane przez radiolinie licencjonowane, ostatnie dwa są domeną łącz na pasmach uwolnionych z modulacją OFDM.

Tabela porównawcza

Łącza nielicencjonowane na pasmach poniżej 6 GHz

Radiolinie cyfrowe

Przepustowość radiowa (maksymalna)

300 Mbit/s Half Duplex

622 Mbit/s Full Duplex

Przepustowość radiowa (dla typowych rozwiązań)

od 6 do 54 Mbit/s

od 2 do 155 Mbit/s

Przepustowość efektywna dla typowych rozwiązań

od 4 do 20 Mbit/s

od 2 do 155 Mbit/s

Rozbieżność między przepustowością brutto i netto

bardzo duża nawet ponad 100%

minimalna, w granicach 5%

Tryb transmisji

Half Duplex

Full Duplex

Najczęściej spotykane interfejsy

Ethernet 10/100 (niekiedy także E1)

Ethernet, PDH, SDH, Gigabit Ethernet

Pasma częstotliwości (najczęściej stosowane)

2,4; 5,4 oraz 5,8 GHz

7; 13; 18; 23; 26; 38 GHz

Zasięg transmisji (zgodnie z regulacjami prawnymi w Polsce)

do około 15 km po obniżeniu przepustowości

do około 50 km

Ograniczenie mocy nadawania (EIRP)

do 1W lub 100mW w zależności od pasma (ograniczenia prawne)

brak konkretnych ograniczeń (tylko względy techniczne)

Typowe opóźnienia pakietów (ping)

od 2 do 20 ms

od 0,8 do 3 ms

Spadek wydajności (przepływności) wraz ze wzrostem obciążenia

znaczący

nieznaczący

Bezpieczeństwo transmisji

średnie lub wysokie

bardzo wysokie

Typowa stopa błędów BER

od  $10^{-6}$  do  $10^{-9}$

od 10-11 do 10-13

Budowa

najczęściej Full Indoor lub Full Outdoor

najczęściej typu Split IDU+ODU

Możliwości pracy bez widoczności

tak (dla systemów OFDM)

nie

Wymagania odnośnie stabilności konstrukcji wsporczych (masztów)

niewielkie

wysokie

Występowanie zakłóceń radiowych

znaczące

minimalne (lub wcale)

Wymagane pozwolenie radiowe

nie

tak

Wymagane pozwolenie budowlane

nie

tak (dla mocy < 15W)

Cena (orientacyjnie)

od 500 do 20000 USD za łącze

od 6000 do 40000 USD za łącze

#### Podsumowanie

Gwałtowny rozwój łącz nielicencjonowanych PtP w ostatnim czasie sprawił, że zaczęły one rywalizować z radioliniami na wybranych obszarach zastosowań, głównie w sieciach szkieletowych operatorów ISP oraz w zastosowaniach korporacyjnych. Sieci szkieletowe operatorów telekomunikacyjnych zarezerwowane są dla radiolinii. Prognozy wskazują, że stopień nasycenia pasm uwolnionych w niedługim czasie skieruje większe zainteresowanie na radiolinie cyfrowe, jednak w miejscach gdzie eter nie jest zbyt mocno zaszumiony, łącza nielicencjonowane będą ciągle stosowane zwłaszcza, że ich jakość i wydajność są coraz lepsze. Główną różnicą jaką trzeba mieć na uwadze jest przepływność efektywna. Stosowane w ulotkach i materiałach reklamowych przepustowości "radiowe" mogą być bardzo mylące. Przykładowo:

- Radiolinia 50 Mbit/s przenosi realnie 50 Mbit/s jednocześnie w każdym kierunku (Full Duplex)
- łącza nielicencjonowane 54 Mbit/s (teoretycznie o większej przepustowości) przenosi realnie około 20 do 25 Mbit/s sumarycznie (Half Duplex) a więc około 10 Mbit/s w każdym kierunku

Oznacza to, że typowe łącza nielicencjonowane 54 Mbit/s odpowiada realnie radiolinii 10 Mbit/s co wygląda kuriozalnie ale jest faktem.