

WYKORZYSTANIE SIECI OTWARTYCH OPARTYCH O STANDARD LTE DO TRANSMISJI DANYCH POMIĘDZY URZĄDZENIAMI STACJONARNYMI STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Streszczenie

W artykule przedstawiono ogólną charakterystykę systemu LTE w aspekcie wykorzystanie tej technologii do transmisji telegramów kolejowych. Zawiera on rozważania na temat możliwości przejścia od technologii GSM-R do LTE. Wstępna analiza teoretyczna i weryfikacja terenowa potwierdzają możliwości migracji GSM-R do LTE.

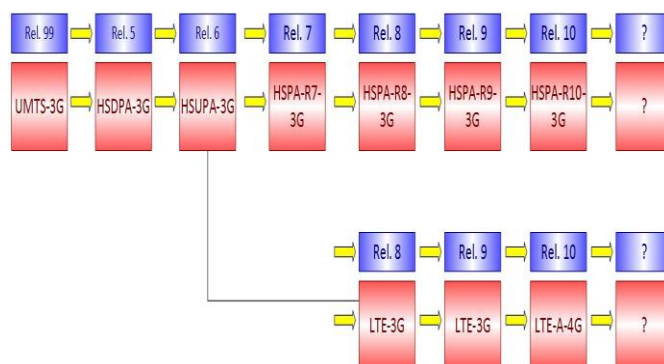
WSTĘP

Kolej i zainstalowane na niej Systemy Sterowania Ruchem Kolejowym w Polsce od niedawna przeżywają gwałtowny rozwój technologiczny. Jest to niewątpliwie zasługa środków, jakie Polska uzyskuje od Unii Europejskiej na modernizację infrastruktury kolejowej.

Ze względu na degradację przewodowej infrastruktury łączącej element systemów sterowania kolejowego, a związane przede wszystkim z ich dewastacją, coraz częściej rozważa się wykorzystanie medium transmisji radiowej do niezależnego zarządzania urządzeniami sterowania ruchem kolejowym. Niewątpliwym problemem przy implikowaniu takich rozwiązań jest bezpieczeństwo transmisji w takich systemach. Należy podkreślić, iż bezpieczeństwo na określonym poziomie transmisji obecnie już oferują same systemy transmisji radiowej, co również wykorzystano w standardzie GSM-R. Stworzenie odrębnego wydzielonego systemu na potrzeby kolei wiąże się z ogromnymi nakładami na projektowanie, badanie, certyfikację a na końcu wybudowanie i wdrożenie takiej technologii. Dlatego też, możliwe jest wykorzystanie publicznych otwartych sieci radiowych na potrzeby kolei, co w znaczny sposób ogranicza koszty, ponieważ system taki opiera się na istniejącej infrastrukturze. Należy opracować sposób przesyłania informacji spełniający wymagania transmisji bezpiecznej w rozumieniu kolejowych systemów sterowania ruchem. Zadaniem jest opracowanie ogólnego modelu dla transmisji radiowej otwartej w systemach sterowania ruchem opartej o najnowszy standard radiokomunikacji publicznym, jakim jest system LTE.

1. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU LTE

Rozwój technologii LTE jest ściśle związany z rozwojem możliwości systemów komórkowych w aspekcie ich transmisji danych. Na rysunku 1 przedstawiono etapy rozwoju technologii przesyłu informacji opracowany na podstawie dokumentów opublikowanych przez ETSI (European Telecommunications Standards Institute), a przygotowanych przez organizację standaryzacyjną skupioną w 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

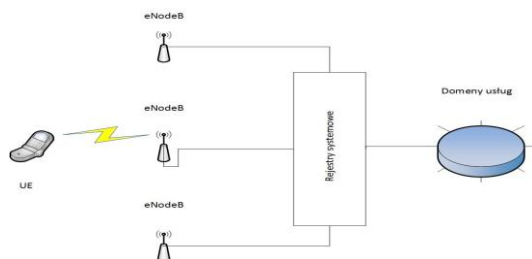


Rys.1 Rozwój systemów transmisji danych w nawiązaniu do dokumentów standaryzujących 3GPP

Z przedstawiono powyżej rozwoju jasno wynika, iż przyszłość systemów transmisji danych począwszy od dokumentu Rel.8 oparty jest o technologię LTE. W specyfikacji tej między innymi podano wartości parametrów transmisji:

- maksymalna szybkość transmisji danych DL 100 Mb/s oraz UL 50 Mb/s przy maksymalnej szerokości pasma 20 MHz;
- rozwiązania MIMO: DL 4x2, 2x2, 1x2, 1x1
UL 1x2, 1x1;
- co najmniej 200 użytkowników w każdej komórce;
- opóźnienie małych pakietów 10 ms (w praktyce 10 – 50 ms, co zostanie przedstawione w dalszej części artykułu);
- promień komórki do 5[km], bez konieczności korygowania mocy na podstawie BLER (Block Error Rate). Jeżeli BLER jest większe od założonej wartości (przyjmuje się 10%) to stacja bazowa (eNodeB) zwiększa SIR (Signal to Interference) współczynnik mocy sygnału emitowanego przez terminal ruchomy UE do mocy szumu w danej komórce;
- praca w trybie FDD (Frequency Division Duplex) i TDD (Time Division Duplex);
- zachowanie swoich parametrów transmisji danych dla użytkowników mobilnych poruszających się z prędkością do 120 km/h, natomiast funkcjonalnie do 350 km/h.

Uproszczoną architekturę systemu LTE przedstawia rysunek 2.

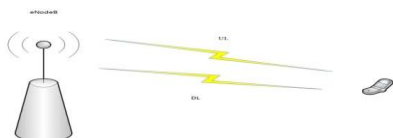


Rys. 2 Uproszczony schemat systemu LTE

Uproszczony schemat przedstawiony na rysunku 2 odpowiada głównej idei, jaką sobie postawili projektanci systemu. Ideę tą można zawrzeć w słowach: maksimum przepustowości, minimalizacja ilości danych, minimum opóźnień.

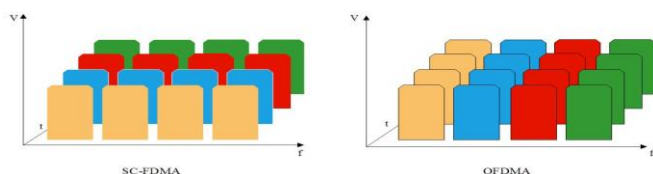
2. TRANSMISJA SYGNAŁU W ŁĄCZU W GÓRĘ ORAZ W ŁĄCZU W DÓŁ

System LTE jest naturalnym następcą systemu UMTS, w którym podstawowa transmisja odbywała się z FDD i dlatego wykorzystuje transmisję duplexową, jako podstawową w systemie LTE [6, 7]. Ideę przedstawia rysunek 3.



Rys. 3 Transmisja duplexowa w systemie LTE

Wysoka prędkość transmisji danych standardu LTE nie tylko wymaga szerszego pasma, ale również bardziej zaawansowanych technik modulacji. Ze względu, że wraz z zwiększaniem przepływności transmisji danych spotykamy się ze zjawiskiem wielodrogowości, dlatego też do eliminacji (ograniczenia) tego zjawiska wykorzystuje się technikę multipleksowania OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ze względu na zapewnienie odpowiednich właściwości transmisji w postaci PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) [1]. Polega ona na tym, że zamiast jednej szybkiej transmisji przesyła się odpowiednio wolniejsze strumienie danych, co powoduje, iż w środowisku wielodrogowym są one mniej narażone na zniekształcenie. OFDM w głównej mierze opiera się na metodzie współdzielenia pasma z wykorzystaniem podziału częstotliwości FDM (Frequency Division Multiplexing), a ich transmisje odbywają się na oddzielnych podnośnych (subcarriers) z wykorzystaniem modulacji fazowej PSK (Pulse Shift Keying) oraz amplitudowo-fazowe QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Odległości poszczególnych podnośnych dobrane są tak, aby wyeliminować wzajemne zakłócenia. Tą technikę stosuje się głównie podczas transmisji Down Link [2, 3]. Natomiast w kierunku przeciwnym wykorzystuje się technikę SC-FDMA. Główną zaletą tej transmisji w odniesieniu do OFDM jest lepszy współczynnik PAPR uzyskiwany dzięki wykorzystaniu jednej nośnej podczas transmisji. Graficzne porównanie przedstawionych metod stanowi rysunek 4.



Rys. 4 Zasada konstrukcji transmisji OFDMA oraz SC-FDMA

Należy w tym miejscu zaznaczyć, iż transmisja SC-FDMA powstała w wyniku dodania bloku dyskretnej transformaty Fouriera w bloku nadawczym i odbiorczym systemu. Podobnie jak w transmisji OFDMA urządzenie nadawcze w SC-FDMA wykorzystuje do przesłania danych różne podnośne, jednak w odróżnieniu od OFDMA są one przesyłane sekwencyjnie, a nie jednocześnie, co przedstawiono również na rysunku 4.

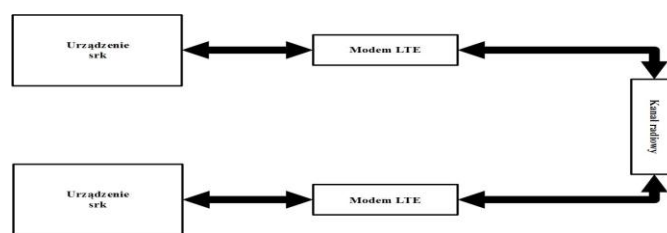
3. CHARAKTERYSTYKA MODELU – TRANSMISJA POMIĘDZY URZĄDZENIAMI STACJONARNYMI STEROWANIA RUCHEM - WARUNKI

Dla zamodelowania systemu otwartej transmisji radiowej telegramów pomiędzy urządzeniami sterowania ruchem kolejowym. Przyjęto następujące założenia upraszczające:

- w systemie występują urządzenia sterowania ruchem o określonej funkcjonalności i charakterystyce;
- urządzenia te posiadają dopuszczenia eksploatacyjne oraz posiadają certyfikaty bezpieczeństwa na określonym poziomie SIL;
- transmisja radiowa zmienia medium transmisyjne z przewodowego na bezprzewodowe, co powoduje, że zachowanie tych urządzeń nie powinno się zmienić – parametry ich są zdeterminowane;
- transmisja radiowa odbywać się będzie w warunkach LOS i NLOS;
- obciążenie sieci jest obciążeniem naturalnym, nie mamy wpływu na ruch sieciowy nie generowany przez nas – warunki rzeczywiste, w jakich ma pracować system;
- do modelowania przyjmujemy wybrane możliwe do realizacji w warunkach laboratoryjnych parametry dla transmisji GSM-R, zakładając, że spełnienie co najmniej tych warunków spełnia warunki bezpieczeństwa dla sieci GSM-R.

3.1. Weryfikacja modelu na bazie prób terenowych w warunkach rzeczywistych

W celu dokonania analizy w fizycznym środowisku odpowiadającym parametrom opisywanym powyżej zbudowano model transmisji dla omawianego systemu otwartego. Do analizy zaproponowano model jak na rysunek 5.



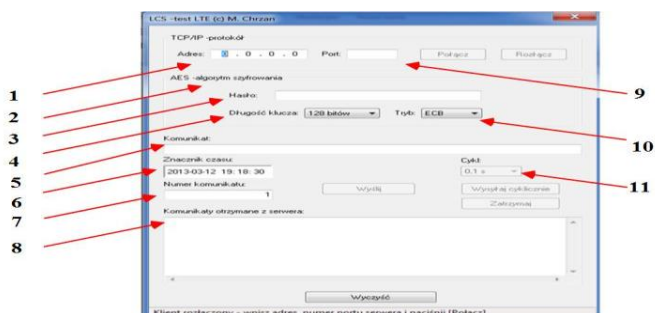
Rys. 5 Model ogólny modelowanej transmisji

Do analizy zostanie wykorzystany system, w którym transmisja odbywa się w pierwszym etapie badań pomiędzy wirtualnym programowo LCS (Lokalnym Centrum Serowania) a wirtualnym urządzeniem sterowania ruchem znajdującym się na szlaku kolejowym.

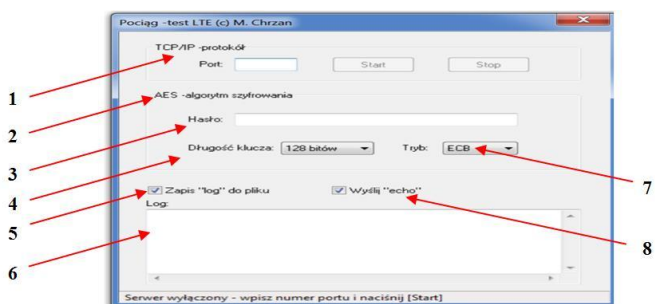
W ramach tego badania zostaną określone na wstępie opóźnienia, jakie mogą wynikać z użytkowania systemów niebędących systemami czasu rzeczywistego. (Według autora za system czasu rzeczywistego należy uważać system, który wykonuje zadania w określonym przedziale czasowym.)

Ze względu na fakt wykorzystywania, jako bazy systemowej systemów operacyjnych Windows, które nie należą do systemów czasu rzeczywistego, dlatego też wstępnie zostanie określona średnia wartość opóźnienia wyznaczona na podstawie transmisji

telegramów w obrębie jednostki komputera. Do tego celu skonstruowano program wysyłający telegramy zbudowane zgodnie z B0 wg. normy PN EN 50159:2010. Program składa się z dwóch modułów. Modułu Serwer (będącego symulatorem Lokalnego Centrum Sterowania)

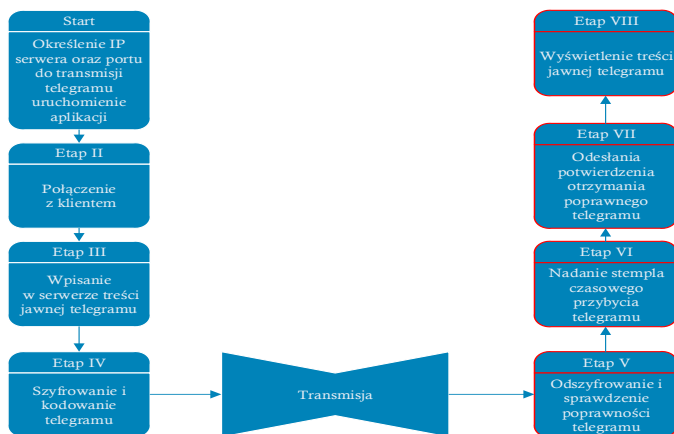


Rys. 6 Widok modułu serwer (1 – adres IP protokołu TCP/IP, 2 – tryb szyfrowania, 3 – typ algorytmu szyfrowania, 4 – długość klucza w bitach, 5 – treść telegramu do przesłania, 6 – znacznik czasu, 7 – numer kolejny komunikatu, 8 – treść komunikatu w postaci potwierdzenia, 9 – port na który jest kierowany ruch, 10 – tryb szyfrowania, 11 – cykl wysyłania komunikatów oraz modułu Klient (będącego odbiornikiem transmisji)).



Rys. 7 Widok modułu klient (1 – wskazanie portu TCP/IP dla transmisji, 2 – wybór algorytmu szyfrowania, 3 – hasło do szyfrowania danych, 4 – długość klucza w bitach, 5 – żądanie archiwizacji transmisji (zapis „logów” do pliku tekstowego), 6 – zawartość logu, 7 – tryb szyfrowania, 8 – żądanie wysłania echa (potwierdzenia))

W celu przesłania informacji metodyka powstania telegramu i jego przesłania jest następująca zaprezentowana na rysunku 8.



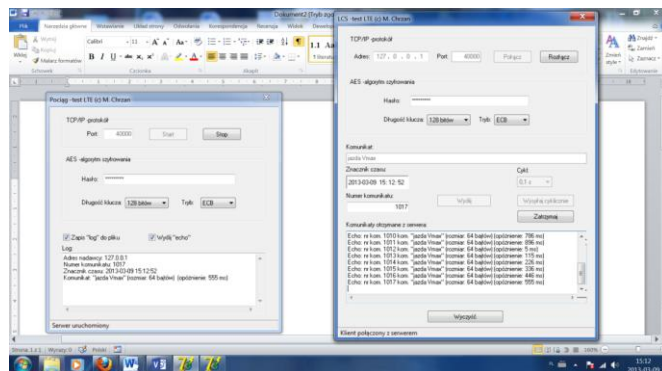
Rys. 8. Schemat obsługi telegramu w systemie

Program Serwer nadaje telegram w postaci:

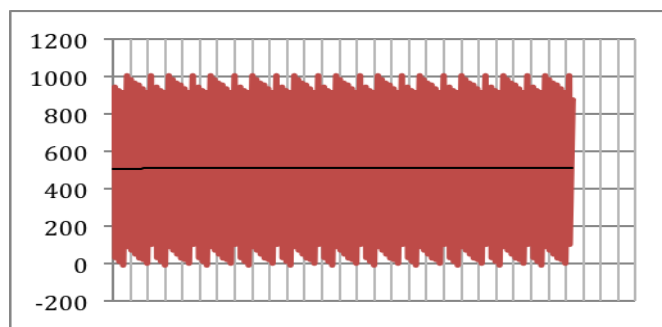
- numer telegramu;

- stempel czasu;
- treść telegramu;
- dodanie CRC;
- szyfrowana AES (do wyboru klucz 128, 192 lub 256 bitów, tryb ECB lub CBC);
- klucz jest generowany automatycznie na podstawie hasła.

Program Klient odbiera telegram odszyfrowywuje, sprawdza integralność i odsyła potwierdzenie odbioru do programu Serwer (rys. 9).



Rys. 9. Test opóźnienia transmisji komunikatu „jazda Vmax” dla długości telegramu 64 bitów

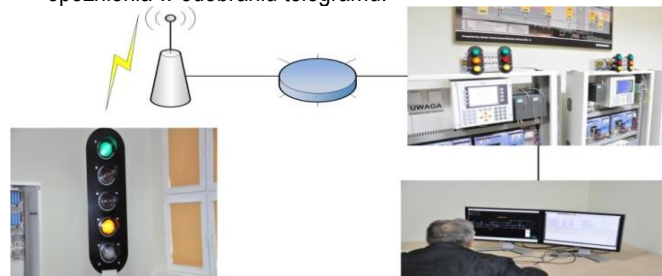


Rys. 10. Wykres opóźnienia transmisji dla przeprowadzonej transmisji (system Windows)

Na podstawie opóźnienia przedstawionego na rysunku 10 w zakresie $2 \text{ ms} < \text{topoż} < 1000 \text{ ms}$ spowodowanego użytkowaniem systemu niebędącym systemem czasu rzeczywistego ustalono medianę dla takiego rodzaju transmisji na poziomie 500 ms.

Dalsze badanie odbywa się według schematu na rysunku 11. W układzie takim mogą występować następujące zagrożenia dla bezpieczeństwa transmisji:

- powtórzenie telegramu;
- skasowanie telegramu;
- podszycie się pod telegram przez osobę nieuprawnioną;
- następstwo czasowe – zamiana kolejności telegramów;
- uszkodzenie telegramu;
- opóźnienia w odebraniu telegramu.



Rys. 11. Schemat transmisji LTE punkt – punkt

Zastosowano zgodnie z przyjętym na początku założeniem taką konstrukcję telegramu aby spełniał on wymogi bezpieczeństwa dla systemów zamkniętych i otwartych opisane w PN EN 50159:2010. Jest to w szczególności istotne, iż bezpieczeństwo transmisji jest powiązane z wykorzystywanym do tego sprzętem i jego oprogramowaniem [4,5]. Dla zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa transmisja sygnału od nadawcy do odbiorcy telegramu winna być przeprowadzona w sposób umożliwiający:

- wykrywanie błędów w transmisji;
- przerwa w transmisji powyżej określonego czasu powinna powodować przejście system do stanu zapewniającego bezpieczeństwo

PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy literatury oraz warunków propagacyjnych dla systemu GSM-R i LTE można powiedzieć, że z powodzeniem można zastosować technologię LTE do transmisji telegramów kolejowych. Wykorzystanie odpowiedniego stopnia zabezpieczenia komunikatów w oparciu o opisane w normie PN EN 50159:2010 metody szyfrowania gwarantuje poprawną transmisję w zadanym czasie.

BIBLIOGRAFIA

1. E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, P. Beming, 3 G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband, second ed., Academic Press, 2008
2. Alcatel Shanghai Bell, CATT, CMCC, RITT, Spectrum Communications, TD-TECH, ZTE, Introduce TD-SCDMA Industry Standard in CCSA to 3GPP, Document R4-071394, 3GPP TSG-RAN WG4 meeting #44, Athens, Greece, August 2007.
3. Alcatel Shanghai Bell, CATT, CMCC, RITT, Spectrum Communications, TD-TECH, ZTE, Introduce TD-SCDMA Industry Standard in CCSA to 3GPP, Document R4-071394, 3GPP TSG-RAN WG4 meeting #44, Athens, Greece, August 2007.
4. Dyduch J. Moczarski J. : „Podstawy eksploatacji systemów sterowania ruchem kolejowym”, Seria „Monografie”, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej 2008.
5. Dyduch J., Maciejewski A.: "Zagadnienia realizacji bezpieczeństwa w programowanych systemach srk." Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, Z.62, Warszawa 2007.
6. Chrzan M. Krzysztozek K., Szychta E.: Use of third 3G telecommunications in rail heterogenetic wireless networks. Herald of the Ural State University of Railway Transport. Scentificjurnal. No 4 (12) 2011. ISSN 2079 – 0392.
7. Chrzan M., Łukasik Z.: Definition of the network parameters of 3G systems. 7-th International Conference "ELEKTRO 2008". Žilina Slovak Republic, May 20-21, 2008. pp. 25-28. ISBN: 978-80-8070-845-0.

THE USE OF OPEN NETWORKS BASED ON LTE DATA TRANSMISSION BETWEEN DEVICES FIXED RAIL TRAFFIC CONTROL

Abstract

Paper presents the general characteristics of LTE systems in terms of the use of this technology for the transmission of telegrams stations. It contains reflections on the possibility of transition from GSM-R to LTE. Preliminary theoretical analysis and field verification confirmed the possibility of migration of GSM-R to LTE.

Autor:

dr hab. inż. **Marcin CHRZAN, prof. UTH** Wydział Transportu i Elektrotechniki – Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny w Radomiu, ul J. Malczewskiego 29, mail:m.chrzan@uthrad.pl