



Marcin CHRZAN, Paweł PIROSZ, Tomasz MAREK

ANALIZA MOŻLIWYCH KIERUNKÓW ROZWOJU SYSTEMU GSM-R

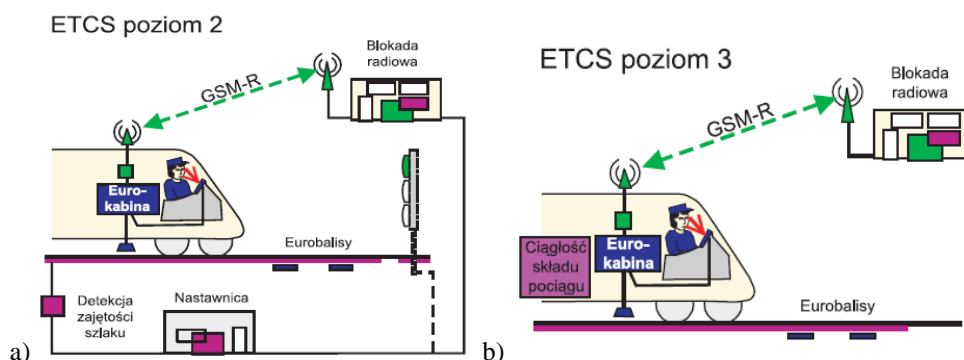
Streszczenie

W artykule przedstawiono charakterystykę wykorzystywanych obecnie nowoczesnych systemów radiokomunikacji ruchomej przeznaczonych dla potrzeb kolei. Opisano w nim istniejące systemy bezprzewodowego przekazywania informacji oraz system LTE, który jest rozważany jako następcą wprowadzanego w Polsce systemu GSM-R.

1. WSTĘP

Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym (ERTMS) jest nowoczesnym systemem sterowania i zarządzania ruchem kolejowym, który wpisuje się w dążenia krajów Unii Europejskiej do stworzenia ujednoczonego systemu transportu kolejowego. Podstawowymi elementami systemu ERTMS są ETCS (Europejski System Sterowania Pociągami oraz GSM-R (GSM dla Kolei). System GSM-R stanowi dwukierunkowy radiowy, wydzielony na potrzeby sterowania, kanał transmisyjny między interfejsem naziemnym modułu Euroradio w Centrum Sterowania Radiowego a anteną na pojeździe kolejowym. Aspekty transmisji radiowej sygnału z toru do pojazdu wykorzystywane w systemie GSM-R i są wprowadzane od poziomu 2 ETCS, stanowiąc podstawę sterowania ruchem w poziomie 3 ETCS (rys. 1).

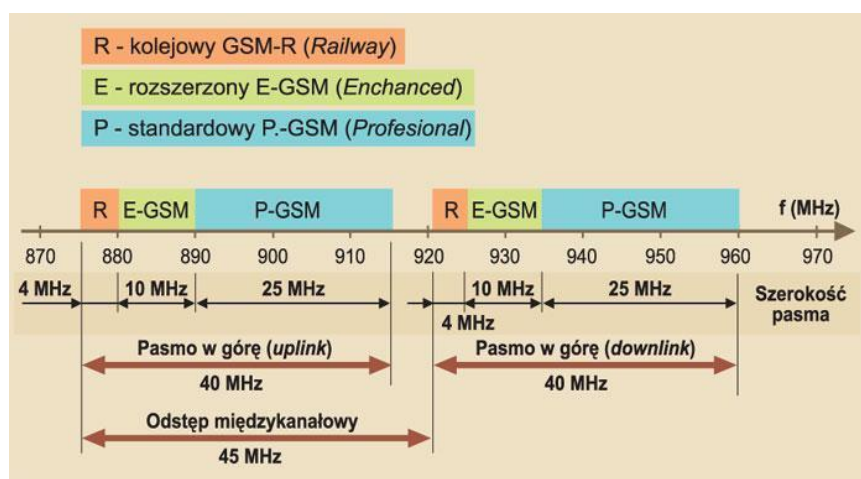
System GSM-R dostarcza zarówno transmisji głosu jak i danych wykorzystując do tego celu komutację pakietów, której sygnały są podstawą zarządzania zdalnego urządzeń pokładowych i trakcyjnych pociągu. I właśnie ten drugi aspekt nabiera w obecnych czasach coraz większego znaczenia. Nowoczesna kolej to nie tylko zdalne sterowanie, ale również komfort obsługi pasażerów. O ile GSM-R zapewnia odpowiedni poziom usług dla potrzeb bezpieczeństwa i niezawodności systemów sterowania to niestety wraz ze wzrostem wymagań odnośnie usług transmisji danych na potrzeby pasażerów (np.: dostęp do Internetu, VoIP, realizacja transakcji pieniężnych w pociągu) nie jest w stanie sprostać tym wymaganiom. Dlatego ważnym aspektem dla kolei staje się możliwość wykorzystania otwartych sieci radiowych opartych o transmisję szerokopasmową. W dalszej części zostanie przedstawione porównanie systemu GSM-R z nowoczesnymi technologiami dostępu szerokopasmowego, w szczególności z LTE (Long Term Evolution) i dokonana ocena możliwości wykorzystania LTE na kolei.



Rys. 1. Europejski System Sterowania Pociągiem (ETCS): a) poziom 2, b) poziom 3 [1]

2. CHARAKTERYSTYKA I USŁUGI SYSTEMU GSM-R

Dla resortu kolejnictwa w ramach ERTMS przyjęto standard GSM w wersji 2+, wyposażony w transmisję danych w technologii GPRS oraz EDGE o minimalnej prędkości transmisji danych określonej na poziomie 2,4 kbit/s. Pasma GSM-R rozszerzono o dwa przedziały częstotliwości: od 876 do 880 MHz „w górę” oraz od 921 do 925 MHz „w dół” (rys. 2). Standaryzacja pasma radiowego zapewnia międzynarodową współpracę poszczególnych kolei krajowych wykorzystujących przydzielone UIC pasmo 4 MHz i pozwala zwolnić część zajmowanych do tej pory przez służby kolejowe innych zakresów częstotliwości, zwłaszcza powszechnie wykorzystywanego w Polsce pasma 150 MHz. W ramach częstotliwości dla GSM-R w Polsce przyjęto 5 kanałów rozłożonych co 12,5 kHz dla komunikacji bezpośredniej w trybie Direct Mode Operation (876 – 876,1 MHz) oraz 7 kanałów rozłożonych co 200 kHz używanych w standardzie GSM [12]. Systemowi GSM-R postawione zostały wymagania jakości usług QoS (Quality of Service), wśród których najważniejsze to dostępność usług na poziomie 99,95%, bitowa stopa błędów BER (Bit Error Rate) na poziomie 10^{-4} , przełączanie komórek (handover) w czasie nie większym niż 300 ms czy działanie systemu przy prędkościach do 500 km/h.

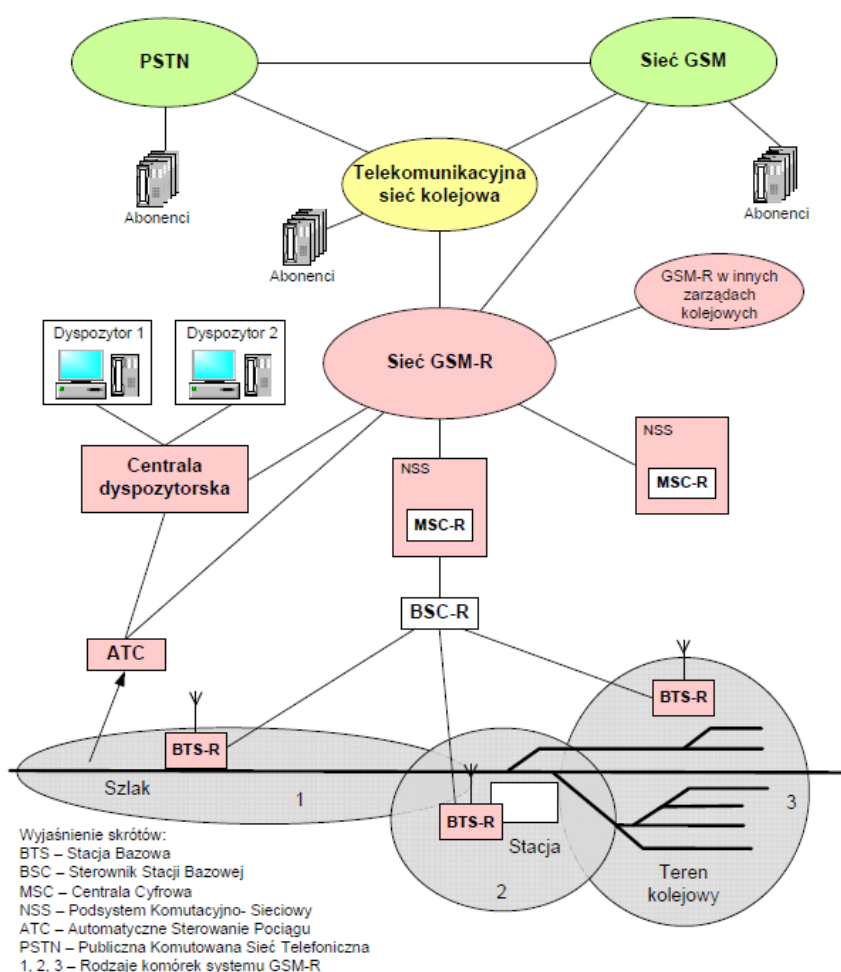


Rys. 2. Zakresy częstotliwości przewidziane dla GSM-R [7]

Architektura sieci GSM-R jest w zasadzie taka sama jak stosowana w publicznych sieciach GSM Phase 2+, jednak dla potrzeb usług kolejowych rozbudowano ją o: rejestr wywołań grupowych, rejestr adresowania funkcyjnego, centralę obsługującą dyspozytorów oraz podzespoły współpracujące z systemem ATC (Automatic Train Control). Infrastrukturę systemu GSM-R przedstawiono na rys. 3.

Do najważniejszych usług systemu GSM-R można zaliczyć:

- nadawanie komunikatów do wielu użytkowników równocześnie (komunikacja rozsiewcza),
- adresowanie funkcyjne czyli przypisanie danemu abonentowi numeru ze względu na pełnioną funkcję,
- połączenia priorytetowe dla sytuacji awaryjnych, zestawiane w czasie poniżej 1 s,
- lokalizacja i położenie, realizowane poprzez wysyłanie komend zawierających numery identyfikacyjne stacji bazowej, w której znajduje się pociąg; w sytuacjach wymagających precyzyjnych informacji wykorzystuje się system GPS,
- wezwanie alarmowe jako funkcja o najwyższym priorytecie,
- przesyłanie krótkich wiadomości tekstowych do przekazu szyfrowanych komunikatów decyzyjnych,
- łączność bezpośrednia, w tym transmisja danych pomiarowych i diagnostycznych.



Rys. 3. Organizacja sieci GSM-R na potrzeby kolei [5]

Dla zapewnienia funkcji ATC system GSM-R okazał się wystarczający. Wykorzystując możliwość transmisji pakietowej w tym systemie można zapewnić pasażerom dostęp do usług internetowych, obejmujących bardzo szeroki wachlarz usług włącznie z e-biletami, rezerwacją hoteli, informacją o komunikacji zbiorowej, itp.. Na tej podstawie w pociągach można zbudować lokalne sieci WLAN wykorzystując standardy IEEE 802.11, jednak przepływność danych będzie niewielka ze względu na rozwiązania zastosowane w GSM-R. Lepszym rozwiązaniem wydają się koncepcja wykorzystania systemu UMTS jako następcy

GSM, gdzie przepływności danych są znacznie większe. Jeszcze lepszym rozwiązaniem staje się wykorzystanie się systemu WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) czy HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access). Co prawda system WiMax pozwala na uzyskiwanie teoretycznej przepływności 75 Mbit/s w odległościach do 50 km, jednak wraz ze wzrostem odległości ulega obniżeniu transferu. Niedogodność tę eliminuje system LTE, a dodatkowo dzięki zastosowaniu technologii MIMO (Multiple Input Multiple Output) oraz wielodostępu OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – Ortogonalne zwielokrotnianie w dziedzinie częstotliwości) pozwala na uzyskanie większych przepływności danych. W tabeli 1 zestawiono podstawowe informacje o wielkoobszarowych systemach bezprzewodowych realizujących pakietową transmisję danych, na które należy zwrócić uwagę pod kątem wykorzystania w zastosowaniach kolejowych. W kolejnym rozdziale zostanie scharakteryzowany system LTE i ocena możliwości jego wykorzystania jako następcy systemu GSM-R.

Tab. 1. Porównanie parametrów technik transmisji danych w systemach bezprzewodowych

Parametr	HSCSD	GPRS	EDGE	WCDMA (UMTS)	HSPA (HSDPA/HSUPA)	HSPA+	LTE
Technika transmisji (wielodostępu)	TDMA	TDMA	TDMA	CDMA	CDMA	CDMA	SC-FDMA (w górę)/OFDMA (w dół)
Modulacja	GMSK	GMSK	GMSK, 8PSK	QPSK	QPSK, 16QAM	16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Max przepływność „w dół”	14,4 kbit/s*	21,4 kbit/s*	59,2 kbit/s*	384 kbit/s	14 Mbit/s	42 Mbit/s	326 Mbit/s
Max przepływność „w górę”	14,4 kbit/s	21,4 kbit/s	59,2 kbit/s	128 kbit/s	5,8 Mbit/s	11 Mbit/s	86,4 Mbit/s
MIMO	nie	nie	nie	tak	tak	Tak (2x2)	SU-MIMO, MU-MIMO (4x4)
Zakres częstotliwości „w dół”	925 – 960 MHz (z EGSM) 1805 – 1880 MHz			2110 – 2170 MHz**		2620 – 2690 MHz***	
Zakres częstotliwości „w górę”	880 – 915 MHz (z E-GSM) 1710 – 1785 MHz			1920 – 1980 MHz**		2500 - 2570 MHz***	

* dla jednej szczeliny czasowej

** oraz 1900-1920 i 2010-2025 MHz w trybie nieskojarzonym z dupleksem TDD

*** mogą być również wykorzystywane częstotliwości dla UMTS poprzez rozbudowę istniejącej infrastruktury

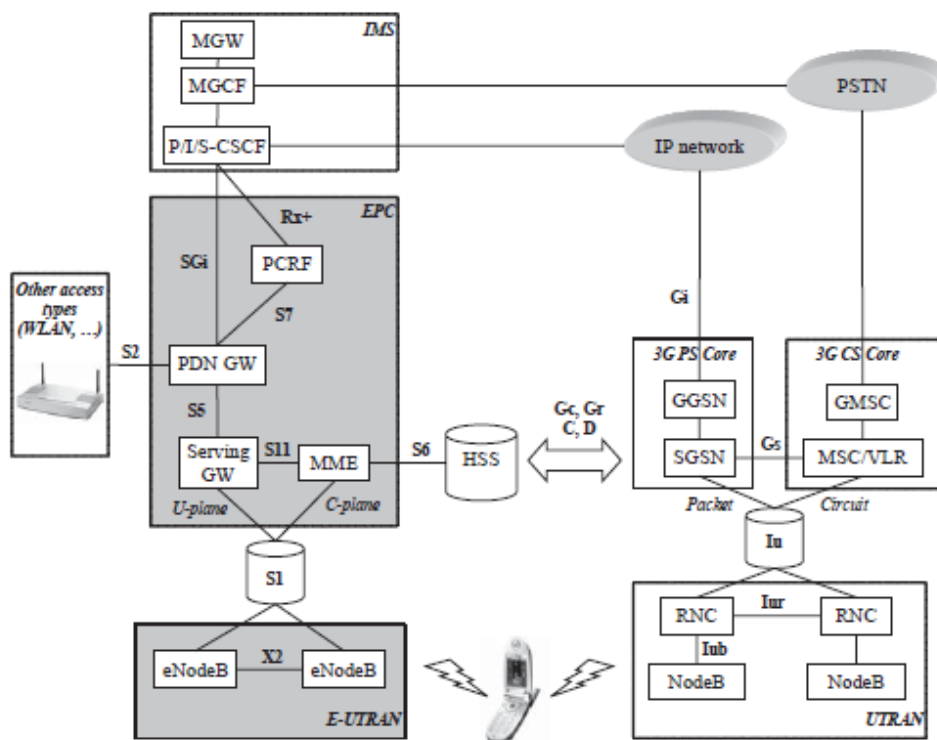
3. SYSTEM LTE

System LTE opracowywany w ramach projektu 3GPP organizacji standaryzacyjnych jest odpowiedzią na wzrost zapotrzebowania na usługi pakietowej transmisji danych w sieciach bezprzewodowych. Podstawowe założenia systemu LTE opierają się na:

- znaczącym wzroście przepływności danych,
- poprawie efektywności i elastyczności wykorzystania widma częstotliwości,
- zmniejszeniu opóźnień w torze transmisji danych,
- zapewnieniu skalowalności w procesie przydziału zasobów radiowych,
- uproszczeniu architektury sieci,
- szerokości kanału 20 MHz, przy maksymalnej szybkości łącza w dół 10 Mbit/s,
- maksymalnej szybkości łącza w górę 50 Mbit/s przy szerokości kanału 20 MHz.

W odniesieniu do architektury systemu LTE stosowane są terminy SAE (System Architecture Evolution) i EPS (Evolved Packet System). W ramach systemu wyróżnia się dwa podsystemy: sieć radiową E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Access Network) oraz sieć szkieletową EPC (Evolved Packet Core), zatem architektura systemu LTE bazuje na

architekturze systemu UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Jednak system UMTS ani jego architektura nie będzie rozpatrywany w tym artykule pod kątem bezpośredniego zastosowania w systemach kolejowych, ponieważ szybki rozwój sieci pakietowych wyklucza go z możliwości świadczenia określonych usług zarówno dla pasażerów (a taka jest tendencja), jak i wykorzystaniu jako systemu ATC. Dokładniejsze informacje na temat UMTS można znaleźć w [6].

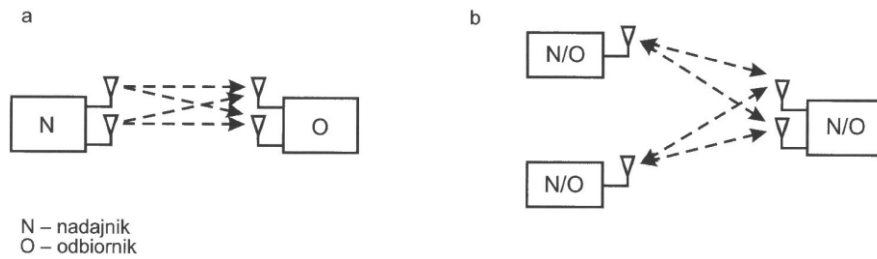


Rys.4. Podstawowa architektura sieci LTE [11]

Architekturę EPS przedstawiono na rys. 4. Blok MME (Mobile Management Entity) pełni funkcję związane z wymianą sygnalizacji i sterowaniem, zaś transmisję danych użytkownika obsługują dwie bramy: Serving GW (S-GW) oraz PDN-GW (Packet Data Network Gateway). Elementy: Node B stanowi odpowiednik stacji bazowej w systemie GSM, RNC (Radio Network Controller) stanowi odpowiednik sterownika stacji bazowej w systemie GSM. Brama S-GW pełni rolę węzła pośredniczącego w transmisji E-UTRAN i siecią szkieletową. W systemie LTE jeszcze uproszczono architekturę systemu rezygnując ze sterownika RNC na korzyść stacji eNodeB. Blok funkcjonalny PCRF (Policy and Charging Rules Function) określa zasady profili QoS realizowanym usługom.

W systemie LTE zastosowano interfejs radiowy przeznaczony wyłącznie do transmisji z komutacją pakietów. A ponieważ używane obecnie w transmisji UMTS i HSPA techniki modulacji i kodowania okazały się zbyt wolne, dlatego zdecydowano się na wielodostęp OFDMA/SC-FDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access/Single Carrier FDMA) przy paśmie transmisji 20 MHz (dotyczy wersji 8 standardu) – tabela 1.

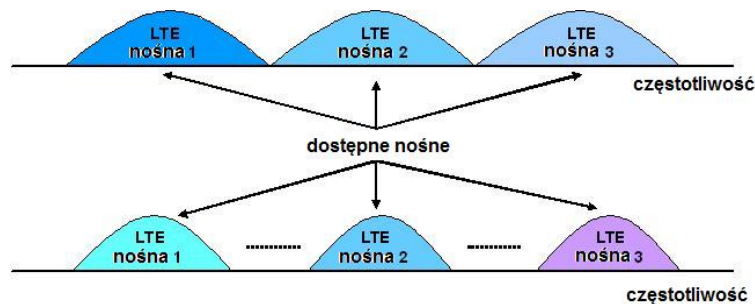
Jednak kolejne wersje standardu LTE stawiają coraz to nowsze wyzwania w zakresie zwiększenia przepustowości oraz rozwiązania pozwalające uzyskiwać je coraz większe, dzięki zastosowanej technologii MIMO. W systemie LTE przewidziane jest wykorzystanie dwóch wersji techniki MIMO: SU-MIMO (Single User MIMO) oraz MU-MIMO (Multi User MIMO), których zasady realizacji przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Techniki MIMO: a) SU-MIMO, b) MU-MIMO [6]

W technice SU-MIMO kanał transmisyjny jest przypisany tylko jednej stacji ruchomej. Dzięki jednoczesnej transmisji różnych strumieni danych z wykorzystaniem zestawu anten możliwe jest zwielokrotnienie przepustowości kanału. Zastosowanie tej techniki wymaga użycia co najmniej dwóch anten w terminalu. Istotą techniki MU-MIMO jest wykorzystanie do transmisji tych samych danych zasobów przez wielu użytkowników. Dzięki zastosowaniu anten umożliwiających formowanie wiązek i przestrzennemu rozpraszaniu użytkowników jest możliwe zwiększenie pojemności sieci. Zaletą techniki jest możliwość wykorzystania stacji ruchomych wyposażonych tylko w jedną antenę.

W wersji 10 standardu pojawiła się koncepcja agregacji pasm (rys. 6) przypadających dla pojedynczego użytkownika [14, 15], co pozwala na osiągnięcie szerokości pasma do 100 MHz przy połączeniu i uzyskaniu przepływności ponad 300 Mbit/s.



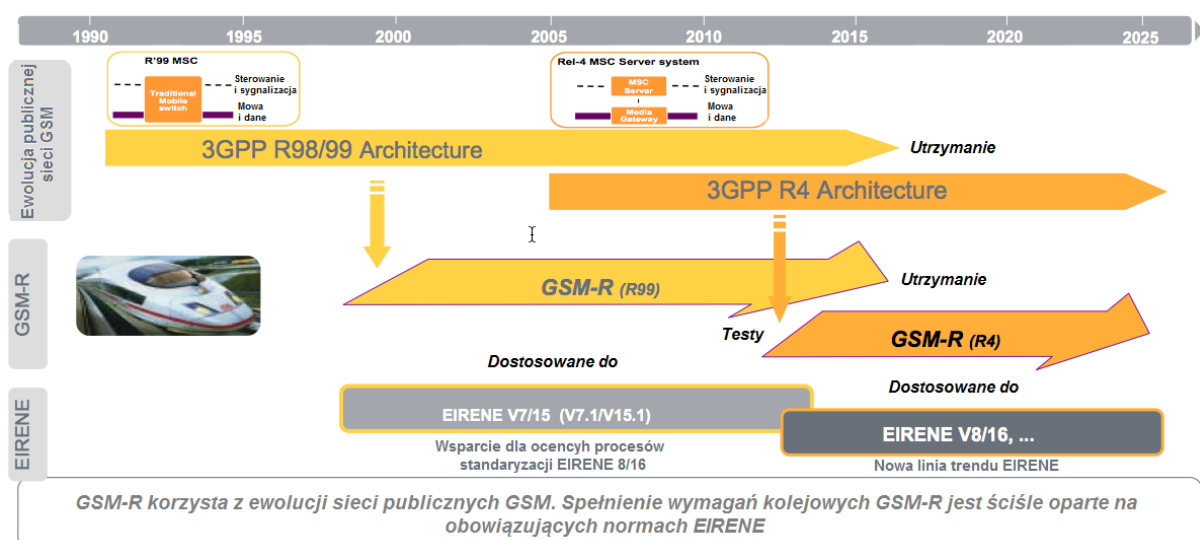
Rys. 6. Ciągła i nieciągła agregacja pasma w systemie LTE [14]

W krajach azjatyckich powstają koncepcje adaptacji systemu LTE dla potrzeb kolejnictwa i opracowywanie standardu LTE-R [8, 9]. Proces migracji standardu GSM-R do standardu opartego o system LTE dla potrzeb kolejnictwa przedstawiło konsorcjum Nokia Siemens Network już w roku 2010 [16], proponując ramy czasowe wprowadzenia systemu LTE dla potrzeb kolejnictwa, uwzględniając zarówno systemy sterowania ruchem kolejowym, monitoring, jak również potrzeby pasażerów na zapotrzebowanie usług systemów szerokopasmowych w dostępie do Internetu, zmierzając, poprzez analogię do systemu GSM-R, do opracowania i wdrożenia standardu LTE-R, co przedstawiono na rys. 7. Opracowywanie standardu wiąże się również z opracowaniem z zapewnieniem bezpieczeństwa informacyjnego w przyszłym standardzie LTE-R, który zaczyna być analizowany i opracowywany. W Polsce badania nad LTE w wykorzystaniu na kolei nie są obecnie prowadzone, badania nad możliwością zastąpienia systemu GSM-R systemem LTE w dla potrzeb kolejnictwa, zwłaszcza kolei dużych prędkości, trwają w krajach azjatyckich [8, 9].



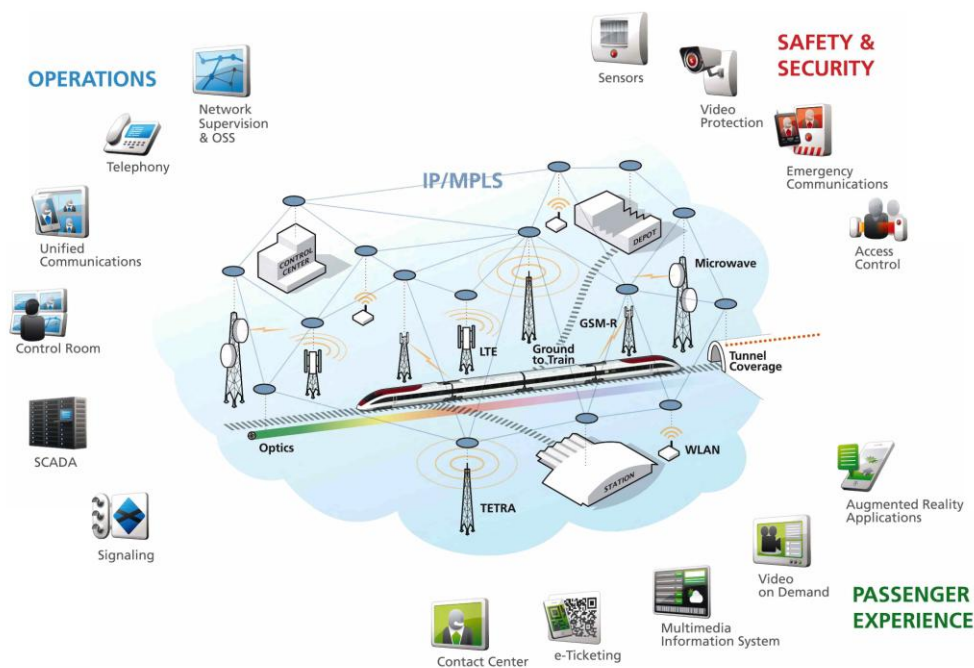
LTE for railways / September 2010

Ewolucja GSM i GSM-R w wersji R4
Strategia dostosowywania standardu wg Nokia Siemens Network



Rys. 7. Propozycje wdrażania systemu LTE dla potrzeb kolejnictwa wg Nokia Siemens [16, 17]

Koncepcję wykorzystania systemu LTE dla potrzeb kolei przedstawiła m.in. firma Alcatel-Lucent a zaproponowane rozwiązanie przedstawiono na rys. 8. Rozwiązanie to integruje szerokopasmowe systemy łączności umożliwiając globalne podejście do sterowania, nadzoru oraz świadczenia usług dla pasażerów. Dzięki integralności można realizować zarówno funkcje związane z automatycznym prowadzeniem pociągu, diagnostyką urządzeń w pociągu, zarządzaniem całym taborem przez danego przewoźnika a także związane z nadzorowaniem ruchu i monitoringiem, co zwiększa bezpieczeństwo pasażerów. Dzięki koncepcji wykorzystania bezprzewodowych systemów szerokopasmowych również pasażerowie mogą korzystać z dostępu do Internetu, usług wideo na żądanie (VoD) czy zakupu biletów w pociągu, co poprawia komfort podróży.



Rys.8. Globalny system sterowania ruchem kolejowym według firmy Alcatel-Lucent[13]

Obecnie organy normalizacyjne rozpatrujące standard LTE nie biorą jednak pod uwagę wszystkich wymagań jakie muszą zostać postawione temu systemowi w przypadku kolei. Wydaje się zatem iż istnieje ryzyko związane z "LTE-R", że będzie on odbiegał od głównego standardu LTE, zwłaszcza w kwestiach związanych z funkcjami sterowania ruchem kolejowym. Pojawia się zatem koncepcja, aby funkcjonalność LTE związana z transportem kolejowym została wyższą warstwą standardu LTE, jednak jej wykonalność w zakresie funkcjonalności i wydajności musi zostać zweryfikowana [18] i potwierdzona kolejowymi procedurami bezpieczeństwa.

PODSUMOWANIE

Koleje dużych szybkości są ważnym środkiem w celu poprawy konkurencyjności w obszarze transportu, jednak wraz ze wzrostem prędkości rosną również wymagania w stosunku do kolejowej technologii bezprzewodowej, umożliwiającej sterowanie pociągiem. System LTE wydaje się być atrakcyjną alternatywą dla obecnego GSM-R. Jest to szczególnie istotne w przypadku Polski, gdzie zachodzi problem zakłóceń w we wszystkich (siedmiu) kanałach GSM-R, gdzie nawet rozpatrywana jest transmisja GPRS dla systemów sterowania ruchem kolejowym.

W Chinach w ramach CTSC (Chinese Train Control System) trwają badania [9] nad możliwością wykorzystania systemu LTE dla potrzeb kolei, a tym samym zastąpienia systemu GSM-R systemem oferującym znacznie większe przepustowości i pozwalającym osiągnąć nie tylko możliwości wykorzystania dla potrzeb kolei dużych prędkości, ale również obsługi pasażerów w zakresie pakietowej transmisji danych [5]. Uzyskane w wyniku badań wartości bitowej stopy błędów BER są na poziomie 10^{-3} przy prędkościach do 350 km/h [9], co jest wynikiem dość obiecującym. System LTE ma możliwość stania się systemem All-IP, a więc systemem wykorzystującym protokół IP do świadczenia wszelakiego rodzaju usług zarówno dla pasażerów, jak dla systemów ATC.

ANALYSIS OF THE POTENTIAL DEVELOPMENT DIRECTION GSM-R

Abstract

The article presents the characteristics of currently used modern mobile radio communications systems designed for the needs of the railways. It describes the existing wireless communications systems, and LTE system, which is considered as the successor in Poland introduced GSM-R.

BIBLIOGRAFIA

1. Białoń A., Gradowski P., *System zarządzania ruchem kolejowym (ERTMS)*, Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem nr 1/2007, str. 2 – 11.
2. Białoń A., Gradowski P., *ERTMS Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym – cz. 1*, Infrastruktura Transportu nr 4/2009, str. 14 – 17.
3. Chrzan M., *Wdrażanie nowoczesnych technologii telematycznych na PKP*, Infrastruktura Transportu nr 1/2008, str. 46 – 48.
4. Chrzan M., Pirosz P., *Systemy radiowe zapewniające komfort pasażerom i bezpieczeństwo sterowania ruchem kolejowym*, Logistyka nr 3/12, str. 317 – 322.
5. Siergiejczyk M., *System mobilnego dostępu do sieci Internet w pociągach z wykorzystaniem sieci GSM-R*, Logistyka nr 3/2011, str. 2449 – 2458.
6. Kołakowski J., Cichocki J., *UMTS System telefonii komórkowej trzeciej generacji*, Warszawa, WKŁ 2007.
7. Urbanek A., *Komunikacja kolejowa GSM-R*, Networld nr 1, Warszawa, IDG 2005.
8. Tingting G., Bin S., *A High-speed Railway Mobile Communication System Based on LTE*, Kyoto, International Conference on Electronics and Information Engineering 2010
9. Guan K., Zhong Z., Ai B., *Assessment of LTE-R using High Speed Railway Channel Model*, Qingdao, Third International Conference on Communications and Mobile Computing 2011.
10. Parkval S., Furuskar A., Dahlman E., *Evolution of LTE toward IMT-Advanced*, IEEE Communication Magazine, February 2011.
11. Lescuyer P., Lucidarme T., *Evolved Packet System (EPS) The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*, West Sussex, John Wiley & Sons Ltd 2008.
12. Zarządzenie Nr 23. Prezesa Urzędu Komunikacji Elektronicznej z dnia 7 czerwca 2006 r. w sprawie planu zagospodarowania częstotliwości dla zakresów 876 – 915 MHz oraz 921 – 960 MHz
13. *A Global Railway in the Digital Age*, materiały firmowe Alcatel-Lucent, http://enterprise.alcatel-lucent.com/private/images/public/si/pdf_globalRailways.pdf
14. <http://lteworld.org/blog/carrier-aggregation-lte-advanced>
15. ETSI TR 136 913 V8.0.1 (2009-04)
16. Garstenauer J.: *GSM-R evolution towards LTE*, New Delhi, Institution of Railway Signal Engineers International Convention 2010.
17. Kuti D., *Rail Network Solutions 2012*, The future of interoperable Railway Communications, Sibiu, 23 February 2012, materiały firmowe Nokia Siemens Network
18. Andre O., *LTE and its applications in Railways*, Cambridge, 9 November 2010, materiały firmowe Alcatel-Lucent

Autorzy:

dr inż. Marcin CHRZAN – UTH Radom

mgr inż. Paweł PIROSZ – student studiów III^o - UTH Radom

mgr Tomasz MAREK – student studiów III^o - UTH Radom