

1928-2018



Przeгляд



MIESIĘCZNIK  
STOWARZYSZENIA  
ELEKTRYKÓW  
POLSKICH

# ELEKOMUNIKACYJNY

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT



8-9  
2018

ISSN 1230-3496, e-ISSN 2449-7487

Cena: 60 zł (w tym 5% VAT)



## KSTiT 2018

Krajowe Sympozjum Telekomunikacji  
i Teleinformatyki KSTiT 2018

UTP UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH W BYDGOSZCZY  
12-14 września 2018 r.



## Szanowni Państwo

Witamy na XXXIV Krajowym Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki – i po raz 23. w Bydgoszczy.

Dziękujemy tym wszystkim, którzy w rozmaity sposób wzięli udział w pracach Sympozjum oraz tym, którzy przyczynili się do jego zorganizowania.

Przede wszystkim więc dziękujemy uczestnikom, którzy swoją obecnością i pracą wypełnili harmonogram trzech sympozjalnych dni. Przygotowanie artykułów i prezentacja treści zawartych w tych artykułach to wielka indywidualna praca autorów.

Wielką wdzięczność mamy dla recenzentów. W tym roku przyjęliśmy zmienioną nieco organizację ich działania, a mianowicie artykuły oceniali tylko ci członkowie Komitetu Sterującego i Komitetu Programowego, którym czas i obowiązki na to pozwalały i którzy zadeklarowali recenzowanie określonej tematyki. Grono to powiększyło kilka osób znanych ze swej aktywności. W ten sposób osiągnęliśmy pożądaną cel: niemal wszystkie prace zostały ocenione trzy razy.

Sympozjum odbywa się pod stałym patronatem Sekcji Telekomunikacji Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji Polskiej Akademii Nauk. Członkom tej Sekcji zawdzięczamy wsparcie, radę i pomoc. Szczególnie zaś, za wielkie zaangażowanie, dziękujemy przewodniczącemu Sekcji, prof. Józefowi Woźniakowi.

Prace konferencji są, jak co roku, wspierane przez wielu członków Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji Polskiej Akademii Nauk. Organizatorzy, jak zawsze, są im winni wdzięczność.

Historia Sympozjum jest następująca. Na początku lat osiemdziesiątych grupa uczonych i inżynierów, związanych z resortem łączności, z inicjatywy ówczesnego przewodniczącego Sekcji Telekomunikacji – prof. Stanisława Sławińskiego, postanowiła zorganizować konferencję naukową. Dzięki patronatowi merytorycznemu i naukowemu Polskiej Akademii Nauk inicjatywa corocznego organizowania Sympozjum spotkała się z szerokim poparciem, szczególnie ze strony zajmujących się problemami telekomunikacji wyższych uczelni i instytutów naukowych. Tak więc z inicjatywy prof. Stanisława Sławińskiego zostało powołane Krajowe Sympozjum Telekomunikacji. Miało ono usprawnić dyskusję pomiędzy przedstawicielami nauki, przemysłu i eksploatacji.

Pierwsze Sympozjum odbyło się w Borkowie koło Kielc we wrześniu 1985 roku, a drugie w Ryni koło Warszawy we wrześniu 1986 roku. Kolejne sympozja były organizowane od 1987 do 2008 roku w Bydgoszczy, na terenie Akademii Techniczno-Rolniczej, obecnie Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich. Uczelnia dysponowała znaczną powierzchnią, umożliwiającą sprawne organizowanie obrad w wielu sekcjach tematycznych oraz prezentację osiągnięć firm. Dzięki temu realizowano podstawowe cele założone przez Radę Sympozjum: obrazowanie przemian w telekomunikacji, wymianę poglądów między przedstawicielami różnych środowisk naukowych i przemysłu, prezentację sprzętu telekomunikacyjnego, integrację środowiska telekomunikacyjnego, między innymi przez poszerzenie możliwości uczestnictwa w obradach. Z tematyką obrad nurtu naukowego korespondowała tematyka prezentacji firmowych, stanowiących istotny element promocyjny.

W KST'87 uczestniczyły 284 osoby. Zgłoszono 140 referatów naukowych. Na wystawie 6 firm prezentowało aparaturę dla potrzeb telekomunikacji. Zostały także przedstawione 4 referaty firmowe. Dwanaście lat później w KST'98 brało udział 768 uczestników, wygłoszono 170 referatów naukowych, eksponowano osiągnięcia 162 firm, które zaprezentowały 42 seminaria firmowe.

Od roku 2009 Sympozjum „wędrowało” po największych ośrodkach naukowych kraju i rozmach Sympozjum malał. W tegorocznym Sympozjum zgłosiło swój udział nieco ponad stu uczestników. Przyjęto do wygłoszenia i publikacji 60 referatów. To wcale nie małe, wzięwszy pod uwagę, że w bieżącym roku odbyło się w Polsce jeszcze dwie inne imprezy o podobnym charakterze.

Pamiętając historię Sympozjum, organizujemy obecnie specjalną sesję plenarną poświęconą osobom szczególnie związanym z organizacją tej imprezy. Robimy to w głębokim przekonaniu, że rola polskich inżynierów i uczonych w rozwoju nauki i techniki jest zawsze zbyt mało podkreślana.

W okresie od 1985 r. do 2008 r. Radzie Sympozjum przewodniczyli profesorowie: Władysław Majewski, Marian Zientalski oraz Daniel Bem. Przewodniczącymi Komitetu Programowego byli profesorowie: Stanisław Sławiński, Władysław Majewski i – aż do dzisiaj – Józef Lubacz. Sesja historyczna im jest właśnie poświęcona.

Tematyka tegorocznego Sympozjum skupia się wokół zagadnień bezpieczeństwa. Pod hasłem: *Bezpieczny użytkownik w bezpiecznej sieci* odbędzie się kilka sesji, na których zostaną przedstawione rozmaite aspekty bezpieczeństwa, w tym: cyberbezpieczeństwa, bezpieczeństwa danych użytkownika, bezpieczeństwa systemów oraz infrastruktury sieciowej.

Jak zwykle, prezentacjom autorskim towarzyszą referaty plenarne. W tym roku do wygłoszenia referatów plenarnych zaprosiliśmy kolegów ze ścisłej krajowej czołówki badaczy. Większość tych referatów jest opublikowana w bieżącym zeszycie PTiWT, pozostałe zaś pojawiają się w kolejnych zeszytach. Warto dodać, że miesięcznik *Przegląd Telekomunikacyjny* i *Wiadomości Telekomunikacyjne*, który w tym roku obchodzi 90. rocznicę istnienia na rynku czytelnictwa, od chwili powołania do życia Krajowego Sympozjum Telekomunikacji udostępniał swe łamy dla publikacji materiałów konferencyjnych. Począwszy od 2007 roku materiały te publikowane są w całości w wersji elektronicznej na płycie CD dołączanej do zeszytu.

Podczas obrad, jak co roku, zostaną wręczone statuetki Złotego Cyborga – Lidera Teleinformatyki. Nazwiska tegorocznych kawalerów zostaną ogłoszone w trakcie Sympozjum przez Kapitułę ZC.

W imieniu tegorocznych organizatorów zapraszamy Państwa do aktywnego udziału we wszystkich spotkaniach. Wierzymy, że wyjeżdżając z Bydgoszczy, wyniesiecie Państwo z Sympozjum najmiłsze wspomnienia i zechcecie do nas wrócić.



TREŚĆ

STRONA  
PAGE

CONTENTS

**M. WALKOWIAK**

Krajowe Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki  
KSTiT 2018 .....

II okt.

**Spis referatów zamieszczonych na CD**

543

**Referaty plenarne**

**J. WOŹNIAK, K. GIERŁOWSKI, M. HOEFT, M. LEWCZUK**

Szerokopasmowe systemy komunikacyjne na morzu  
– scenariusze użycia i przykładowe instalacje .....

545

**K. WESOŁOWSKI**

Warstwa fizyczna sieci dostępu radiowego 5G według  
wydania 15 standardów 3GPP .....

558

**A. KOZAKIEWICZ**

Świadomość sytuacyjna cyberzagrożeń .....

562

**R. J. KATULSKI**

Radiowe łącze ruchome do szybkiej transmisji danych  
multimedialnych dla systemu kontroli obszaru .....

569

**Referaty sesyjne**

**P. TRUSZCZYŃSKI, A. BĘBEN**

Nowy algorytm adaptacji uwzględniający metryki jakości  
postrzeganej przez użytkownika dla adaptacyjnego  
strumieniowania wideo .....

575

**R. J. ZIELIŃSKI**

Rozmieszczenie obszaru zaników w jednoczęstotliwościowej  
sieci SFN na przykładzie sieci DAB+ .....

581

**S. J. AMBROZIAK, K. TURBIĆ, L. M. CORREIA**

Badania i analiza zaników w sieciach WBAN typu  
*body-to-body* pracujących w różnych środowiskach  
propagacyjnych .....

585

**D. DZIERŻANOWSKI, K. KARDACZ, A. WITENBERG**

Symulacja i prototyp anteny Kosheleva .....

588

**M. WALKOWIAK**

The National Symposium Telecommunications  
and Teleinformatics KSTiT 2018

**Abstracts of the papers included on the CD**

**Plenary address**

**J. WOŹNIAK, K. GIERŁOWSKI, M. HOEFT, M. LEWCZUK**

Maritime broadband communication systems  
– usage scenarios and example installations

**K. WESOŁOWSKI**

Physical layer of 5G radio access network in view of 3GPP  
Release 15 standards

**A. KOZAKIEWICZ**

Cyber-threat situational awareness

**R. J. KATULSKI**

Mobile radio link for fast data transmission for the area  
control system

**Selected papers**

**P. TRUSZCZYŃSKI, A. BĘBEN**

New QoE-based adaptation algorithm for HTTP adaptive  
video streaming

**R. J. ZIELIŃSKI**

Distribution of fading area at single frequency network  
SFN on the example of a DAB+ network

**S. J. AMBROZIAK, K. TURBIĆ, L. M. CORREIA**

Research and analysis of fading in body-to-body  
networks for different propagation environments

**D. DZIERŻANOWSKI, K. KARDACZ, A. WITENBERG**

Simulation and working model of Koshelev's antenna

Artykuły naukowe publikowane w PTiWT uzyskują 9 punktów (zgodnie z wykazem czasopism naukowych ogłoszonym  
w komunikacie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 23 grudnia 2015 r.).

Artykuły naukowe publikowane w niniejszym zeszycie są recenzowane.

Zeszyt wydany w wersji elektronicznej jako pierwotnej (referencyjnej)

KOLEGIUM REDAKCYJNE	
PRASA FACHOWA <b>SIGMA-NOT</b> www.sigma-not.pl 00-950 Warszawa skrytka pocztowa 1004 ul. Ratuszowa 11 tel.: 022 818-09-18, 022 818-98-32 fax: 022 619-21-87 Internet: http://www.sigma-not.pl Prenumerata e-mail: prenumerata@sigma-not.pl Sekretariat e-mail: sekretariat@sigma-not.pl Dział Reklamy i Marketingu e-mail: reklama@sigma-not.pl	Redaktor naczelny: dr inż. BOGDAN ZBIERZCHOWSKI Honorowy redaktor naczelny: dr inż. KRYSZTOF PLEWKO Redaktorzy: mgr WITOLD GRABOŚ, prof. dr hab. inż. TADEUSZ ŁUBA, prof. dr hab. inż. MARIAN ZIENTALSKI Redaktor językowy: mgr HANNA WASIAK Redaktor statystyczny: dr inż. GRZEGORZ BOROWIK Z-ca red. naczelnego: mgr HANNA WASIAK Opracowanie graficzne: dr inż. PAWEŁ TOMASZEWICZ Redakcyjna strona internetowa: dr inż. MARIUSZ RAWSKI <b>RADA PROGRAMOWA</b> prof. dr hab. inż. Józef Modelski (przewodniczący), mgr inż. Krystyn Antczak, prof. dr hab. inż. Jerzy Czajkowski, prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrogowski, dr inż. Andrzej Dulka, dr inż. Władysław Grabowski, mgr inż. Andrzej Grześkowiak, mgr inż. Bertrand Le Guern, prof. dr hab. inż. Stefan Hahn, prof. dr hab. inż. Andrzej Jajszczyk, inż. Stefan Kamiński, inż. Zdzisław Kleszcz, mgr inż. Krzysztof Kwiecień, mgr inż. Zbigniew Lange, prof. dr hab. inż. Józef Lubacz, dr inż. Janusz Morawski, dr inż. Andrzej Wilk, prof. dr hab. inż. Tadeusz Więckowski, prof. dr hab. inż. Józef Woźniak, plk dr inż. Mieczysław Żurawski <b>Redakcja: ul. Ratuszowa 11 (budynek Instytutu Tele- i Radiotechnicznego), VII piętro, pokój 737, tel. 22 670-08-20 (+ poczta głosowa), tel. kom. 501 222 782. Przyjęcia interesantów w godz. 10–14.</b> <b>Adres do korespondencji: ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa 1, skrytka pocz. 1004</b> <b>E-mail: przeg.tel@sigma-not.pl, przeg.tel@interia.pl Internet: www.przegladtelekomunikacyjny.pl</b> Czasopismo dostępne wyłącznie w prenumeracie Artykułów niezamówionych redakcja nie zwraca. Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania skrótów i poprawek w nadesłanych materiałach. Przygotowanie: Studio DTP SIGMA-NOT Sp. z o.o., Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa Druk i oprawa: Drukarnia Wydawnictwa SIGMA-NOT, www.sigma-not.pl
Zamówienia na ogłoszenia należy kierować pod adresem Redakcji (adres jak wyżej) lub Działu Reklamy i Marketingu Wydawnictwa SIGMA-NOT, ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa, tel. 22 827-43-65, fax 22 826-80-16. Za treść i wygląd graficzny ogłoszeń Redakcja nie bierze odpowiedzialności.	

# O fal propagacji – jedenastozgłoskowcem

Wiersz ten jest dla tych, co wciąż nie poznali,  
Mimo codziennych w jej mocy kąpiele,  
Jak trudne jest życie radiowej fali,  
Zrozumie każdy, kto wnet w nią się wcieli.

Rodzi się w bólach niedopasowania,  
Albo – co gorsza – w symetryzatorach,  
Do charakterystyk promieniowania,  
Ciągłe dorosnąć nie za bardzo skora.

Kiedy zaś w główną wiązkę już wpuszczona,  
A – dzięki Bogu – nie w boczną lub wsteczną,  
Pędzi dopóki jej Poynting nie skona,  
I stanie się całkiem bezużyteczną.

Dalszy jej żywot cały z przeszkodami,  
Tłumienie, dyfrakcja, efekty cienia,  
Czoło jej płaskie obsiadły chmurami,  
O Line-of-Sight sny – skrzydlate marzenia.

A gdy cel osiągnie na końcu łącza,  
Rozdarta skutek wielodrogowości,  
Nie chcą jej wypuścić wyłamane złącza,  
Przyciąga poniżej progu czułości.

I tutaj jakiś powinien być morał,  
By w myśl jedną skupić wypowiedziane,  
Aby twój padół za bardzo nie bolał,  
Wybieraj drogi te... zbilansowane.

Sławomir J. Ambroziak

## WARUNKI PRENUMERATY

Zamówienia na prenumeratę czasopism wydawanych przez Wydawnictwo SIGMA-NOT można składać w **dowolnym terminie**. Mogą one obejmować dowolny okres czasu, tzn. dotyczyć dowolnej liczby kolejnych zeszytów każdego czasopisma.

Zamawiający – po dokonaniu wpłaty – może otrzymywać zaprenumerowane przez siebie tytuły począwszy od następnego miesiąca. Zamówienia na zeszyty sprzed daty otrzymania wpłaty będą realizowane w miarę możliwości z posiadanych zapasów magazynowych.

**Prenumerata roczna** czasopism Wydawnictwa jest możliwa w dwóch wariantach:

- prenumerata w wersji papierowej,
- prenumerata w **wersji PLUS** (prenumerata w wersji papierowej + roczny dostęp do Portalu Informacji Technicznej w ramach zaprenumerowanego tytułu).

PORTAL INFORMACJI TECHNICZNEJ – to największa internetowa baza artykułów technicznych, umożliwiająca dostęp on-line do tysięcy publikacji z lat 2004–2011. Dostęp do Portalu tylko dla klientów, którzy wykupili prenumeratę w wersji papierowej.

Prenumeratory, podpisujący z Wydawnictwem **umowę prenumeraty ciągłej** (odnawianej automatycznie co roku), otrzymują **10% bonifikaty** od cen katalogowych czasopism.

Członkowie stowarzyszeń naukowo-technicznych zrzeszonych w FSNT-NOT oraz uczniowie szkół technicznych każdego szczebla mają prawo do zaprenumerowania 1 egz. wybranego czasopisma po cenie ulgowej – pod warunkiem przesłania do Wydawnictwa formularza zamówienia (lub kserokopii blankietu wpłaty), ostemplowanego pieczęcią koła SNT lub szkoły.

Prenumeratę można zamówić:

faksem: 22 891 13 74, 22 840 35 89, 22 840 59 49  
mailem: [prenumerata@sigma-not.pl](mailto:prenumerata@sigma-not.pl)  
poprzez Internet: [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl)  
listownie: Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o., ul. Ku Wiśle 7, 00-707 Warszawa  
telefonicznie: 22 840 35 89  
fax: 22 891 13 74

Na życzenie klienta wysyłamy blankiety zamówień wraz z aktualną listą tytułów i cennikiem czasopism.

Warunkiem przyjęcia i realizacji zamówienia jest otrzymanie z banku potwierdzenia dokonania wpłaty przez prenumeratora. Dokument wpłaty jest równoznaczny ze złożeniem zamówienia.

Wpłaty na prenumeratę można dokonywać na ogólnie dostępnych blankietach w urzędach pocztowych (przekazy pieniężne) lub bankach (polecenie przelewu), przekazując środki na konto:

**Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.:**

ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa, skr. pocz. 1004  
Bank PKO S.A., nr konta: 24 1020 1026 0000 1002 0250 0577

Na blankiecie wpłaty należy czytelnie podać nazwę zamawianego czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy, okres, wersję i cenę prenumeraty oraz adres zamawiającego.

W przypadku zmiany cen w okresie objętym prenumeratą lub zmian stawki VAT, Wydawnictwo zastrzega sobie prawo do wystąpienia o dopłatę różnicy cen oraz prawo do realizowania prenumeraty tylko w pełni opłaconej.

### Cennik PTiWT na 2018 r.

Cena 1 egzemplarza .....	30 zł
<b>Prenumerata w wersji papierowej</b>	
– roczna .....	360 zł
– półroczna .....	180 zł
– kwartalna .....	90 zł
Prenumerata roczna z 10% rabatem ( <b>umowa ciągła w wersji PLUS</b> ) .....	413,10 zł
<b>Prenumerata w wersji PLUS</b> .....	459 zł
Prenumerata ulgowa – 70% ceny podstawowej (tylko na wersję papierową) Do cen ( <b>poza prenumeratą PLUS</b> ) należy doliczyć opłatę roczną za dostawę czasopisma w wysokości 30 zł	

**Podane ceny zawierają VAT**





Niniejszy, podwójny zeszyt (8-9'2018) naszego miesięcznika, jest związany z **XXXIV Krajowym Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki KSTiT'2018**. Odbędzie się ono w Bydgoszczy w dniach 12 – 14 września br.

Zeszyt zawiera całość materiałów konferencyjnych. Referaty plenarne oraz wybrane referaty sekcyjne, są prezentowane w formie artykułów drukowanych, zaś pozostałe referaty znajdują się na płycie CD, stanowiącej integralną część zeszytu, oraz na Portalu Informacji Technicznej SIGMA-NOT. **Wszystkie artykuły i referaty są recenzowane.** Obszerne informacje na temat konferencji znajdują Państwo w artykule wstępnym (II str. okładki), przygotowanym przez prof. Macieja Walkowiaka – przewodniczącą Sympozjum.

#### Lista recenzentów

Hanna Bogucka, Sławomir Bujnowski, Leszek Chybowski, Krzysztof Cwalina, Grzegorz Danilewicz, Andrzej Dąbrowski, Marek Domański, Przemysław Dymarski, Katarzyna Jagodzińska, Wojciech Kabaciński, Sylwester Kaczmarek, Ryszard Katulski, Stanisław Kozielski, Jerzy Kubasik, Jacek Majewski, Beata Marciniak, Tomasz Marciniak, Marek Natkaniec, Mateusz Pasternak, Piotr Rajchowski, Grzegorz Różański, Jerzy Siuzdak, Jacek Stefański, Krzysztof Szczypiorski, Hubert Trzaska, Maciej Walkowiak, Anna Witenberg, Marian Wnuk, Józef Woźniak, Ryszard Zieliński.

## Referaty sesji tematycznych zamieszczone na Portalu Informacji Technicznej SIGMA-NOT i na CD

### Sesja 1: Bezpieczeństwo cz. 1

#### A. GIEŁCZYK, M. CHORAŚ, R. KOZIK

Biometria obrazu dłoni jako część systemu wielopozycyjnego uwierzytelniania użytkownika ..... 593

#### M. PAWLICKI, M. CHORAŚ, R. KOZIK

Najnowsze zastosowania technologii *granular computing*, propozycja taksonomii oraz przydatność w cyberbezpieczeństwie ..... 597

#### M. ŚWIĘTY

Analiza możliwości zastosowania technologii *blockchain* dla celów zapewnienia bezpieczeństwa informacji ..... 601

#### P. AUGUSTYNOWICZ

Dobór funkcji skrótu spełniających wymagania sprzętowej implementacji filtru Blooma ..... 605

#### E. NIEWIADOMSKA-SZYNKIEWICZ, P. ARABAS

Energooszczędne centrum przetwarzania danych ..... 609

### Sesja 2: Telekomunikacja radiowa cz. 1

#### K. KOSSOWSKI, H. TARASIUK

Badania programowych rozwiązań sieciowych w środowisku testowym PL-LAB na potrzeby przyszłych zastosowań w sieci 5G ..... 615

#### A. PIEPRZYCKI, W. LUDWIN

Wybrane aspekty optymalizacji wielokryterialnej w planowaniu sieci WLAN ..... 619

#### S. PLUTA, P. KOSYDOR

Stanowisko laboratoryjne do generacji sygnałów modulacji cyfrowych ..... 623

#### Z. ZAKRZEWSKI

Analiza wpływu technologii stosowanych w interfejsach F1 oraz F2 mobilnego systemu 5G na funkcjonowanie technik hybrydowego kształtowania wiązek ..... 627

#### S. HANCZEWSKI, J. WEISSENBERG

Analityczny model plastrów w sieciach 5G ..... 634

### Sesja 3: Sieci teleinformatyczne cz. 1

#### J. KLEBAN, J. WARCZYŃSKI

Wpływ przyspieszonego rozładowywania kolejek VOMQ na stabilność zmodyfikowanego pola Cloosa typu MSM ... 640

#### R. BRYŚ, P. GAJEWSKI

Ruting z estymacją powiązań węzłów sieci MANET ..... 646

#### M. BÉDNARCZYK

HaLow – WiFi dla IoT ..... 650

#### S. HANCZEWSKI, M. WEISSENBERG

Badania symulacyjne systemów kolejkowych z niepełnodostępnym serwerem ..... 654

#### A. KALISZAN, D. KMIĘCIK

System z przelewem ruchu oraz kolejkami w zasobach pierwotnych oraz wtórnych ..... 660

### Sesja 4: Bezpieczeństwo cz. 2

#### P. ŚCIBOREK, Z. PIOTROWSKI

Koncepcja zdecentralizowanego systemu komunikacyjnego z wykorzystaniem technologii *blockchain* oraz protokołu SIP ..... 666

#### A. JANOSKA

Modyfikacja algorytmu dekodowania *Bit Flipping* w systemach asymetrycznych opartych na teorii kodowania ..... 670

#### M. DAWIEC, A. PASZKIEWICZ

Atak za pomocą kostek na szyfr blokowy CTC ..... 674

#### P. LEWANDOWSKI

Wykorzystanie elektronicznego dowodu tożsamości do bezpiecznego i wygodnego uwierzytelniania w usługach elektronicznych ..... 679

#### K. MYSLIŃSKI

Bezpieczeństwo bankowości internetowej wobec współczesnych cyberzagrożeń ..... 684

### Sesja 5: Kompatybilność elektromagnetyczna

#### M. LASKOWSKI, L. KACHEL

Stan środowiska elektromagnetycznego w pobliżu szlaku kolejowego w świetle obowiązujących standardów ..... 688

#### R. PRZESMYCKI, M. WNUK

Projektor multimedialny w procesie infiltracji elektromagnetycznej ..... 693

#### R. PRZESMYCKI, M. WNUK

Pomiar maksymalnego poziomu harmonicznych dla terminali satelitarnych VSAT ..... 697

#### M. LASKOWSKI, L. KACHEL

Metody minimalizacji zakłóceń w pracy sieci radiowych instalowanych w warunkach kryzysowych ..... 701

#### J. M. KELNER, C. ZIÓŁKOWSKI, L. NOWOSIELSKI

Wpływ źródła zakłócającego z anteną kierunkową na łącze radiowe w warunkach braku bezpośredniej widoczności ..... 706

## Sesja 6: Sesja wojskowa

J. GŁOWACKA, W. BEDNARCZYK, M. CIOLEK,  
K. PAROBCZAK, J. WOJTUŃ

Koncepcja systemu zabezpieczenia radiostacji pola walki opartego na monitorowaniu parametrów życiowych operatora radiostacji ..... 710

## Sesja 7: Sieci i usługi

T. MOTYKA, A. BĘBEN

Metoda rozmieszczania treści dla usługi adaptacyjnego strumieniowania wideo wykorzystującej technikę mgły obliczeniowej ..... 715

P. TRUSZCZYŃSKI, A. BĘBEN

Nowy algorytm adaptacji uwzględniający metryki jakości postrzeganej przez użytkownika dla adaptacyjnego strumienia wideo (PTiWT, str. 575) ..... 715

T. MAZURKIEWICZ, T. ŁUBA

Metody wyboru dekompozycji dla algorytmu z wykorzystaniem zbiorów niezgodności i ich wpływ na minimalizację generatorów indeksów ..... 722

T. W. NOWAK

Przedstawianie parametrów sieciowych z wykorzystaniem skierowanych liczb rozmytych ..... 726

A. BORYS

O wykorzystaniu rachunku sieciowego w analizie ruchu w systemach komunikacji bezprzewodowej ..... 730

## Sesja 8: Telekomunikacja radiowa cz. 2

R. J. ZIELIŃSKI

Rozmieszczenie obrazu zaników w jednoczesnościowej sieci SFN na przykładzie sieci DAB+ (PTiWT, str. 581) ..... 734

SZ. WISZNIEWSKI

Porównanie detekcji obwiedni i detekcji synchronicznej w radiodbiornikach lotniczych VHF ..... 734

K. GRZESIAK

Monitoring widma z wykorzystaniem platformy sprzętowej USRP-2920 ..... 738

R. STUDAŃSKI

Wybrane właściwości estymaty odpowiedzi impulsowej kanału radiowego w paśmie ISM 2,4 GHz ..... 743

G. SZMIT, J. ŁOPATKA

System zarządzania heterogenicznymi sieciami radiowymi ..... 747

## Sesja 9: Sieci teleinformatyczne cz. 2

G. SKOŁYSZEWSKI, A. LASON, M. RZEPKA, P. BORYŁO

Analiza porównawcza metod prowadzenia pomiarów w sieciach sterowanych programowo (SDN) ..... 752

G. RZYM, Z. DULIŃSKI, P. CHOŁDA

Dynamiczny wybór wag na łączach do sterowania ruchem w sieciach SDN z wykorzystaniem transmisji wielościeżkowej i agregacji przepływów ..... 756

Z. DRZYCIŃSKI, D. BUJNOWSKI

Analiza możliwości poprawy własności transmisyjnych sieci dzięki zastosowaniu sterowania jej zasobami ..... 760

E. BIERNACKA, J. DOMŻAŁ, P. BORYŁO

Mechanizm bypass dla dynamicznego ruchu przesyłanego pomiędzy centrami danych w sieciach IP/EON ..... 764

M. KOŁODZIEJ, H. TARASIUK

Badanie wiarygodności pomiarów wykorzystania łącza w sieci SDN z protokołem *Open Flow* ..... 768

## Sesja 10: Bezpieczeństwo cz. 3

P. AUGUSTYNOWICZ, A. PASZKIEWICZ

O trójmianach nierozkładalnych nad GF(2) towarzyszących wielomianom postaci  $X^{2 \cdot 3^l} + X^{3^l} + 1$  ..... 772

W. DUDZIC

Kryptoanaliza algebraiczna rodziny szyfrowych bloków SPECK ..... 775

S. KACZMAREK, L. SMOLEŃSKI

Koncepcja współpracy systemu strumieniowej transmisji danych czasu rzeczywistego STRADAR z europejskim systemem EUROSUR ..... 779

P. AUGUSTYNOWICZ, A. PASZKIEWICZ

Optymalizacja procesu poszukiwania nierozkładalnych wielomianów osadowych ..... 786

A. JERECZEK, P. KACZMAREK, S. KACZMAREK,

J. LITKA

Badanie możliwości symulacyjnych środowiska 'MININET' pod kątem wsparcia protokołu NETCONF ..... 790

P. KUCHARSKI

Wektory ataku cybernetycznego na infrastrukturę krytyczną ..... 795

## Sesja 11: Telekomunikacja radiowa cz. 3

A. WITENBERG, M. WALKOWIAK

Bieżąca transformata Fouriera i przekształcenie Page'a do analizy odpowiedzi prądowej anteny na pobudzenie impulsem Gaussa ..... 799

S. J. AMBROZIAK, K. TURBIĆ, L. M. CORREIA

Badania i analiza zaników w sieciach WBAN typu body-to-body pracujących w różnych środowiskach propagacyjnych (PTiWT, str. 585) ..... 804

K. JAGODZIŃSKA

Projekt samonośnej struktury anteny liniowej ..... 804

M. KUBASZEK, J. MACHETA, M. ZAPART, Ł. KRZAK,

C. WOREK

Algorytm heurystyczny maksymalizacji przepustowości w sieciach IEEE802.15.4E ..... 807

W. KARCYZ

Prawne, techniczne i ekonomiczne aspekty procedur środowiskowych w odniesieniu do stacji bazowych radiokomunikacji ruchomej systemu TETRA ..... 811

D. DZIERŻANOWSKI, K. KARDACZ, A. WITENBERG

Symulacja i prototyp anteny Kosheleva (PTiWT, str. 588) ..... 811

## Sesja 12: Sieci teleinformatyczne cz. 3

W. KABACIŃSKI, R. RAJEWSKI, A. AL-TAMEEMI

Algorytm do jednoczesnego zestawiania połączeń w polach typu WSW1 o pojemności 2x2 obsługujących dwa rodzaje połączeń ..... 815

M. GŁĄBOWSKI, M. SOBIERAJ, H. IVANOV

Symulator węzłów elastycznych sieci optycznych opartych na strukturze 3-sekcyjnego pola Closa ..... 822

M. KOWALCZYK, J. SIUZDAK

Modelowanie kanału dla bezprzewodowej komunikacji optycznej w pomieszczeniu na podstawie zmodyfikowanego algorytmu Monte Carlo ..... 826

I. JAWORSKI, R. JUZEFOWYCZ, Z. ZAKRZEWSKI,

J. MAJEWSKI

Wzajemna koherentna analiza kowariancyjna łącznie okresowo niestacjonarnych sygnałów losowych o nieznanym okresie ..... 831

S. HANCZEWSKI, M. WEISSENBERG

Koncepcja modelu analitycznego chmury obliczeniowej ..... 835

J. MARTYNA

Resource Allocation in LTE-Unlicensed Femtocell Networks ..... 839

# Radiowe łącze ruchome do szybkiej transmisji danych multimedialnych dla systemu kontroli obszaru

## Mobile radio link for fast data transmission for the area control system

Przedstawiono działalność naukowo-badawczą Katedry Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych Politechniki Gdańskiej w dziedzinie obronności i bezpieczeństwa publicznego na przykładzie zagadnienia zastosowania ruchomego kanału radiowego o dużej przepływności do transmisji w czasie rzeczywistym danych multimedialnych. Krótko przeanalizowano przydatność do tego elementów techniki transmisji danych stosowanych w rozwiązaniach komercyjnych. Opisano wykonane badania wstępne i scharakteryzowano ich wyniki pod względem wykorzystania w projektowanym łączy radiowym. Przedstawiono opracowaną innowacyjną koncepcję takiego łącza i wybrane wyniki badań w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych zaprojektowanego i wykonanego demonstratora technologicznego. Podsumowano wnioski wynikające z tych badań.

**Słowa kluczowe:** ruchome łącze radiowe, szybka transmisja danych, multimedialna kontrola obszaru, zastosowania specjalne, bezpieczeństwo i obronność



The research and scientific activity of the Department of Radio-communication Systems and Networks at the Gdansk University of Technology in the field of defense and public safety was presented on a chosen example of the issue of using a mobile

high-rate radio channel for real-time transmission of multimedia data. The suitability of data transmission techniques used in commercial solutions has been briefly analyzed. Initial tests have been described and their results have been characterized for use in the proposed radio link. The innovative concept of such a link was presented and selected results of tests carried out in real operational conditions of the designed and constructed technological demonstrator were presented. Conclusions resulting from these studies have been summarized.

**Key words:** mobile radio link, fast data transmission, area control, special applications, security and defense

Bezprzewodowa technika radiowa jest coraz intensywniej stosowana dla wsparcia telekomunikacyjnego w obszarze obronności i bezpieczeństwa publicznego, zwłaszcza dla potrzeb zdalnego monitorowania wszelkiego rodzaju zagrożeń. Z tego względu na całym świecie w wielu ośrodkach naukowych podejmowane są prace badawcze zmierzające do uzyskania wyników wychodzących naprzeciw wzrastającemu zapotrzebowaniu na rozwiązania użytkowe w tej dziedzinie. Zadania te wymagają rozwiązania wielu zawansowanych problemów badawczych, związanych z kierunkami rozwojowymi w dziedzinie współczesnej radiokomunikacji, osadzonych w różnych jej obszarach. Problemy te polegają m.in. na przetwarzaniu sygnałów w czasie rzeczywistym, co przekłada się na opracowywanie złożonych algorytmów, będących punktem wyjścia do realizacji wydajnych aplikacji obliczeniowych. Mając to na uwadze, od wielu już lat w Katedrze Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych Politechniki Gdańskiej podejmuje się prace badawczo-rozwojowe inspirowane potrzebami m.in. Marynarki Wojennej RP oraz Morskiego Oddziału Straży Granicznej. Projekty takie były i są współfinansowane na drodze konkursowej przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, przy współpracy z Akademią Marynarki Wojennej i zewnętrznymi podmiotami gospodarczymi, głównie z Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Centrum Techniki Morskiej SA w Gdyni i gdańską firmą DGT, specjalizującą się w rozwiązaniach systemowych w dziedzinie telekomunikacji i teleinformatyki. Okolicznością sprzyjającą podejmowaniu takich prac jest uruchomienie w Katedrze w 2010 roku *Środowiskowe laboratorium systemów łączności bezprzewodowej do zastosowań specjalnych*, dofinansowane przez Fundusz Nauki i Technologii Polskiej. Laboratorium to dysponuje szerokim zestawem urządzeń badawczo-pomiarowych najwyższej klasy. Na jego wyposażeniu znajdują się m.in. programowalne urządzenia nadawczo-odbiorcze, analizatory

widma sygnałów i protokołów radiokomunikacyjnych oraz testery praktycznie wszystkich systemów radiokomunikacyjnych, w szerokim zakresie do 26 GHz. Umożliwia to podejmowanie zaawansowanych prac badawczych o charakterze projektowo-konstrukcyjnym. Prace przy realizacji takich projektów zazwyczaj rozpoczynają się od badań o charakterze analityczno-koncepcyjnym. Wnioski z nich stanowią podstawę do podjęcia zadań projektowo-konstrukcyjnych, prowadzących do stworzenia fizycznej formy rozwiązań w postaci demonstratorów technologicznych. W nich implementuje się innowacyjne rozwiązania wypracowane w fazie badawczej projektu. Zbudowane w ten sposób urządzenia służą do wykonania obszernych badań ich właściwości, najczęściej w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Wyniki tych badań stanowią podstawę prac, definiujących dedykowaną postać końcową urządzeń, najczęściej na IX poziomie technologicznym (przykładowo [1–5]). W tym miejscu warto dodać, że gromadzony w trakcie badań dorobek naukowy często jest punktem wyjścia do realizacji przewodów doktorskich o dużym potencjale naukowym i użytkowym, czego przykładem są zrealizowane rozprawy doktorskie [7–11].

Przedmiotem artykułu jest wybrane zagadnienie zastosowania ruchomego kanału radiowego do szybkiej transmisji danych multimedialnych z jednostki obserwacyjnej poruszającej się na lądzie, morzu lub w powietrzu. Dane te są w ten sposób przekazywane w czasie rzeczywistym do centrum operacyjnego określonej służby nadzoru obszaru. Zagadnienie to stanowiło przedmiot zrealizowanego w Katedrze projektu badawczo-rozwojowego, którego gestorem był Morski Oddział Straży Granicznej [6]. Na wstępie skrótkowo przedstawiono analizę przydatności do tego elementów reprezentatywnych technik transmisji danych stosowanych w aktualnych rozwiązaniach systemowych, m.in. w systemach: UMTS, HSPA/HSPA+, WiMax/WiMax Mobile oraz LTE/LTE-A. Dalej opisano badania wstępne i scharakteryzowano ich wyniki pod względem wykorzystania w radiowym systemie transmisji danych multimedialnych. Na tej podstawie zaproponowano koncepcję budowy i działania ruchomego łącza radiowego przeznaczonego do zastosowania w projektowanym systemie, co przedstawiono

\* Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych, email: ryszard.katulski@eti.pg.edu.pl

w następnej kolejności. W końcowej części artykułu opisano przykładowe badania użytkowe tego łącza wykonane w warunkach morskich oraz przeanalizowano ich wyniki. W podsumowaniu omówiono wytykające z tego wnioski.

## TECHNIKI SZYBKIEJ TRANSMISJI DANYCH W RUCHOMYM ŁĄCZU RADIOWYM

Analiza porównawcza technik szybkiej transmisji danych stosowanych w dostępnych komercyjnie systemach transmisji danych multimedialnych została wykonana z punktu widzenia przydatności tych technik w ruchomym łączu radiowym. Łącze to jest przeznaczone do takiej transmisji o dużych wymaganiach co do przepływności z obiektów poruszających się w strefie przybrzeżnej Morza Bałtyckiego, ze względnie dużą prędkością dochodzącą do kilkuset km/h – w przypadku nadzoru lotniczego, do lądowej stacji odbiorczej oraz w kierunku przeciwnym, w tym przypadku odpowiednio w łączu „w górę” oraz w łączu „w dół”. Przy tym, ze względu na wymagania, zwłaszcza asymetrię co do wymaganej przepływności w obu kierunkach, szczególną uwagę w tej analizie skupiono na możliwości zastosowania trybu **TDD** (*Time Division Duplex*).

Jak wiadomo, najbardziej rozpowszechniony z wymienionych systemów (standardów) jest **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*), który, niestety, charakteryzuje nieduża przepływność, co wynika z tego, że dominującą rolę odgrywa w nim tryb **FDD** (*Frequency Division Duplex*). W takim stanie rzeczy rozwój UMTS nastąpił w kierunku szybkiej transmisji spakietyzowanych danych usługowych **HSPA** (*High Speed Packet Access*), co wynika z kierunku rozwojowego sieci Internet. Niestety, technikę tę charakteryzują znaczne fluktuacje szybkości i jakości transmisji, będące skutkiem niestacjonarności kanału radiowego i zmian odległości pomiędzy stacją bazową a terminalami ruchomymi, z czym mamy do czynienia w systemie będącym przedmiotem tego artykułu. Kolejnym krokiem w kierunku osiągnięcia większej szybkości transmisji jest system **HSPA+**, głównie dzięki wprowadzeniu techniki wieloantenowej **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*). Jednakże w tym przypadku w praktyce daje się zauważyć rozbieżność pomiędzy osiąganą przepływnością a jej wartością, wynikającą z rozważań teoretycznych, dotyczących techniki wieloantenowej. Jednocześnie z tymi pracami wdrażany jest inny rodzaj interfejsu radiowego o nazwie **LTE** (*Long Term Evolution*), wykorzystujący technikę dostępu **OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) w łączu „w dół” oraz technikę **SC-OFDMA** (*Single Carrier OFDMA*) w łączu „w górę”. Z kolei dalsza ewolucja tego systemu prowadzi do wersji **LTE-A** (*LTE-Advanced*), w której przewiduje się bardzo duże przepływności, a mianowicie: do 1 Gbit/s w łączu „w dół” oraz do 500 Mbit/s w łączu „w górę”, lecz, niestety, przy szerokości pasma kanału dochodzącej do 100 MHz i przy zastosowaniu rozbudowanej techniki MIMO w postaci zestawu 8×8 anten składowych. Dodatkowo, doświadczenia praktyczne wskazują na niestabilną pracę tego rozwiązania.

Jak widać, dla potrzeb systemu szybkiej transmisji danych multimedialnych nie można wprost skorzystać z dotychczas wypracowanych rozwiązań. W istotnych szczegółach problem ujęto skrótkowo w następnych punktach artykułu.

### UMTS

Podstawowym typem interfejsu radiowego występującym w tym standardzie jest **WCDMA/FDD**. Jego praca opiera się na technice bezpośredniego, szerokopasmowego rozpraszania widma sygnałów **DS-CDMA** (*Direct Sequence – Code Division Multiple Access*). Dzięki temu jest możliwe wykorzystanie tego samego szerokiego pasma kanału częstotliwościowego równocześnie przez wielu użytkowników, w tym samym czasie. Jak

wiadomo, jest to możliwe w wyniku zastosowania do rozpraszania widma ciągów pseudolosowych indywidualnie dobranych dla każdego użytkownika. W interfejsie tym transmisja sygnałów dla każdego kierunku odbywa się w odrębnych podpasmach częstotliwości, tj. dla transmisji „w górę” w podpaśmie od 1920 do 1980 MHz, natomiast dla transmisji „w dół” w podpaśmie od 2110 MHz do 2170 MHz. Jednakże interfejs ten ma istotnie ograniczone właściwości przepływnościowe.

Jak to już podkreślono, z punktu widzenia przeznaczenia projektowanego łącza radiowego, zdecydowanie właściwszy jest interfejs **WCDMA/TDD**. W Europie dla użytkowników licencjonowanych jest on ulokowany w podpaśmie od 1900 do 1920 MHz, zaś dla użytkowników nielicencjonowanych w podpaśmie od 2010 do 2020 MHz. Interfejs ten pracuje w trybie duplexu czasowego, czyli nadawania i odbioru w tym samym podpaśmie częstotliwościowym, lecz z rozdzieleniem czasowym dzięki zastosowaniu zwielokrotnienia **TDMA** (*Time Division Multiple Access*). Technika ta jest przeznaczona głównie do realizacji usług transmisji danych w wewnątrzbudynkowych systemach bezprzewodowych, z natury rzeczy o niewielkich zasięgach i do realizacji usług o dużej asymetrii natężeń strumieni informacji w obu kierunkach transmisji. Przykładem tego mogą być usługi przeglądania stron WWW, kiedy to można wyraźnie zróżnicować przydział liczby czasowych ramek elementarnych w obu kierunkach transmisji. Jednakże i ten interfejs nie nadaje się do zastosowań mobilnych, ze względu na malejące w takich warunkach możliwości przepływnościowe.

Zatem czynnikami zasadniczymi, które wykluczają zastosowanie wymienionych powyżej interfejsów w projektowanym mobilnym systemie multimedialnej transmisji danych, są niemożność uzyskania odpowiednio dużych przepływności oraz ograniczenia zasięgowe.

### HSPA/HSPA+

Standard **HSPA** jest standardem bezprzewodowej transmisji danych wypracowanym przez organizację **3GPP** (*3rd Generation Partnership Project*). Stanowi on połączenie szybkiej transmisji danych w formie pakietowej, odpowiednio w łączu „w dół” (**HSDPA**) oraz w łączu „w górę” (**HSUPA**). W porównaniu do systemu UMTS wprowadzenie **HSPA** umożliwiło zwiększenie pojemności sieci, zmniejszenie opóźnień w realizacji usług, stosowanie mniejszych mocy w terminalach użytkowników i – co najważniejsze – zwiększenie przepływności transmitowanych danych. Niestety, standard ten nie przewiduje możliwości realizacji trybu **TDD**.

Najogólniej mówiąc, w kolejnych dokumentach standaryzacyjnych zawarto kolejne etapy ewolucji techniki **HSPA** w kierunku **HSPA+**. Ich intencją było zwiększenie przepływności transmisji danych i zmniejszenie opóźnień. Niestety, ta technika również nie nadaje się do zastosowania w opisywanym systemie szybkiej transmisji danych, ponieważ nie wykorzystuje trybu **TDD**.

### WIMAX/WIMAX MOBILE

Standard **WiMax** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) jest oparty na standardach z rodziny IEEE 802.16 oraz ETSI HiperLAN. Sieci pracujące z użyciem tej techniki stały się popularne dzięki poprawie jakości świadczonych usług **QoS** (*Quality of Service*), dużym przepływnościom oraz relatywnie niewielkim kosztom wdrożenia. Według ustaleń standardowych, przepływności te granicznie powinny osiągać wartości odpowiednio 289 Mbit/s w łączu „w dół” oraz 69,1 Mbit/s w łączu „w górę”. Niestety, w praktyce obserwuje się dużo niższe wartości, tzn. 60 Mbit/s i 15 Mbit/s, odpowiednio dla obu kierunków transmisji. Wynika to ze znacznie mniejszych szerokości zajmowanego pasma i uwarunkowań formalno-prawnych obowiązujących w polityce przydziału częstotliwości.

Natomiast, z punktu widzenia potrzeb funkcjonalnych projektowanego systemu szybkiej transmisji danych multimedialnych, zasadniczym interfejsem radiowym w opisywanym w tym miejscu standardzie jest **Wireless MAN OFDMA**, w którym o przepływności



kanalu radiowego decyduje szerokość pasma. To z kolei przekłada się na liczbę możliwych do użycia podnośnych. Poza tym ważnym atrybutem w tym przypadku jest możliwość dostępu do zasobów częstotliwościowych w trybie TDD.

Jednakże w konkluzji, pomimo tego, co napisano wcześniej, również ta technika nie nadaje się bezpośrednio do zastosowania w projektowanym systemie, chociaż wiele jej elementów wzięto pod uwagę w trakcie prac analityczno-projektowych.

## LTE/LTE-A

Jedną z istotnych zmian, jakie zostały wprowadzone z kolei w tym standardzie, w porównaniu do wyżej opisanych, jest nowy rodzaj interfejsu radiowego. Mianowicie, dla potrzeb transmisji w łączu „w dół” zastosowano technikę wielodostępu opartą na wielu podnośnych ortogonalnych OFDMA, natomiast w przypadku transmisji w łączu „w górę” zastosowano technikę z wykorzystaniem jednej nośnej SC-FDMA. Umożliwia to asymetryczne obciążenie kanału radiowego w obu kierunkach transmisji, co powoduje znaczne zwiększenie wydajności widmowej w stosunku do poprzednio opisanych rozwiązań.

Jednakże, pomimo wymienionych zalet, technikę OFDMA charakteryzują istotne ułomności, tzn. jest ona wrażliwa na przesunięcia częstotliwości podnośnych, ponadto wymaga ona względnie dużej wartości stosunku mocy szczytowej do średniej **PAPR** (*Peak to Average Power Ratio*) transmitowanego sygnału. Pierwsza z wad dyskwalifikuje tę technikę do stosowania w łączu ruchomym, ze względu na efekt Dopplera, natomiast druga wymaga stosowania w nadajniku łącza radiowego wzmacniacza o liniowej charakterystyce, z czym wiąże się gorsza sprawność energetyczna. Wady te także uniemożliwiają wprost zastosowanie tej techniki w projektowanym łączu radiowym, jednakże wiele elementów z tego także zostało wziętych pod uwagę w pracach analityczno-projektowych.

## BADANIA I ANALIZA PRZYDATNOŚCI KANAŁU RADIOWEGO DO TRANSMISJI MULTIMEDIALNEJ

Celem tych badań było sprawdzenie na drodze pomiarowej właściwości kanałów radiowych w łączu ruchomym, z punktu widzenia realizacji szybkiej transmisji danych multimedialnych, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów, które mają wpływ na przepływność i jakość tej transmisji. Istotnym przedmiotem tych badań był pomiar i analiza odpowiedzi impulsowej kanału, zaś w szczególności średni czas jej trwania w środowisku pracy badanego łącza radiowego. Przeprowadzenie tych badań wymagało wykonania następujących czynności:

- wytypowania zakresu częstotliwości, dla których należało wykonać badania,
- opracowania metodyki pomiarowej,
- zaprojektowania stanowiska pomiarowego,
- zestawienia i skalibrowania tego stanowiska,
- wykonania pomiarów wybranych parametrów badanego kanału oraz akwizycji, obróbki i analizy otrzymanych wyników pomiarowych.

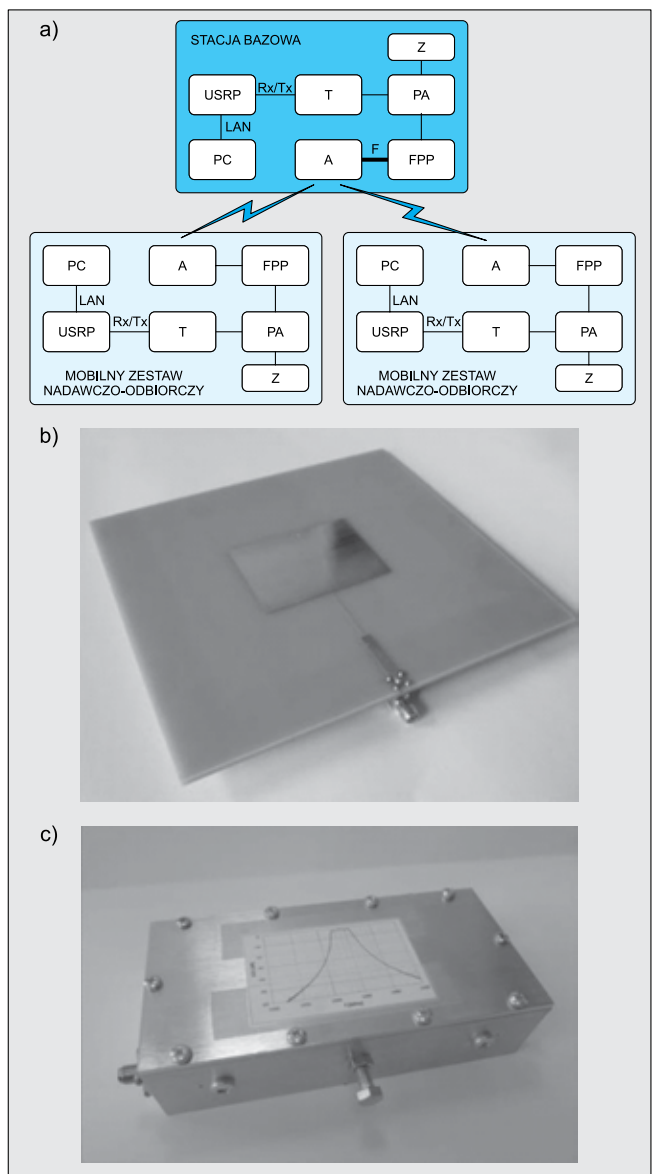
Na podstawie decyzji Urzędu Komunikacji Elektronicznej Politechnika Gdańska uzyskała czasowe zezwolenie na użytkowanie urządzeń nadawczych w służbie radiokomunikacji ruchomej, w zakresie częstotliwości od 1452 MHz do 1462 MHz [12].

Jak wiadomo, właściwości kanału radiowego są jednoznacznie określone przez tzw. odpowiedź impulsową kanału radiowego. Mając to na uwadze, opracowano metodykę pomiarową z zastosowaniem sygnałów z widmem rozproszonym, zmodulowanych binarnym kluczowaniem fazy **BPSK** (*Binary Phase Shift Keying*). Na podstawie teorii sygnałów stochastycznych można przyjąć, że jeżeli kanał radiowy (czwórnik) pobudzi się sygnałem przypadkowym i wyznaczy korelację skrośną pomiędzy tym sygnałem (na

wejściu czwórnika) i odebrany (na wyjściu czwórnika), to wprost otrzyma się odpowiedź impulsową tego kanału. Ta właściwość była podstawą do szacowania odpowiedzi impulsowej badanego kanału, dla jego częstotliwości środkowej, tj. 1457 MHz, w trzech rodzajach kanałów radiowych, tj. w radiowym kanale:

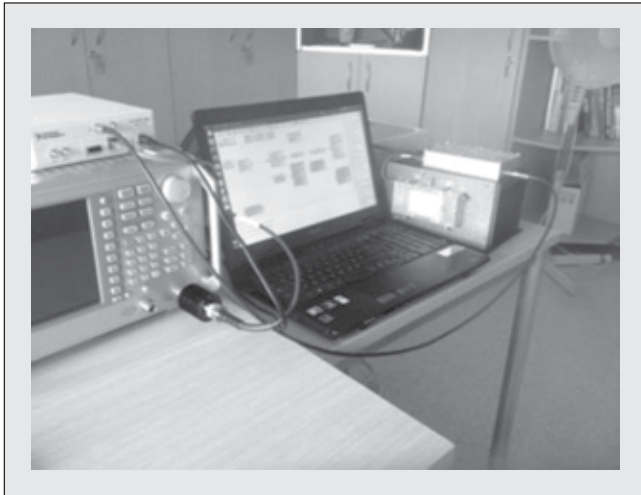
- lądowym, pomiędzy stałą stacją radiową na lądzie i stacją radiową poruszającą się w środowisku miejskim,
- morskim, pomiędzy stałą stacją radiową nadbrzeżną i stacją radiową na jednostce pływającej na morzu,
- lotniczym, pomiędzy stałą stacją radiową nadbrzeżną i stacją radiową w samolocie odbywającym lot na morzem.

Schemat stanowiska badawczo-pomiarowego przedstawiono na rys. 1a, gdzie pokazano schemat blokowy budowy obu części łącza pomiarowego, przy czym na rys. 1b i 1c zilustrowano zaprojektowane i wykonane podzespoły, odpowiednio: antenę wykonaną w technologii mikropaskowej i filtr pasmowo-przepustowy.



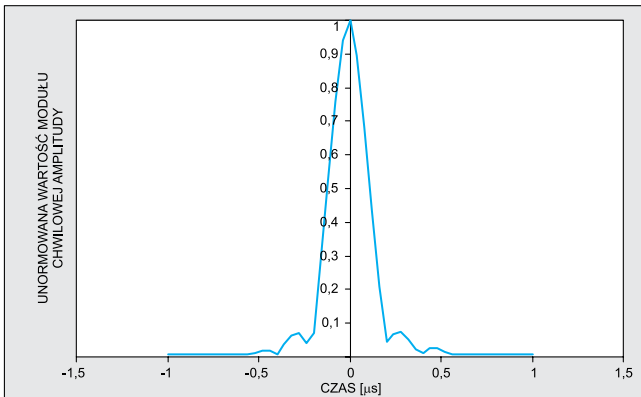
■ Rys. 1. Stanowisko badawczo-pomiarowe: a) schemat blokowy, oznaczenia: PC – komputer przenośny typu laptop (GETAC/TOSHIBA), USRP – uniwersalny sterownik radia programowalnego (SDR), T – tłumik zabezpieczający obwody wejściowe, PA – wzmacniacz mocy, FPP – filtr pasmowo-przepustowy, A – szerokopasmowa antena o dookólnej charakterystyce kierunkowej, F – fider antenowy, Z – zasilacz laboratoryjny; b) antena mikropaskowa zainstalowana w stacji ruchomej, c) filtr pasmowo-przepustowy

Opracowane i zrealizowane stanowisko badawcze skalibrowano w Środowiskowym laboratorium systemów łączności bezprzewodowej do zastosowań specjalnych. Zdjęcie stanowiska kalibracyjnego przedstawiono na rys. 2.



■ Rys. 2. Stanowisko badawczo-pomiarowe podczas prac kalibracyjnych w laboratorium

Rezultatem wykonanych badań było zebranie obszernego materiału badawczego zawierającego 1 TB danych w postaci próbek zespolonych sygnałów odebranych przez mobilny zestaw odbiorczy. Przykładowy wykres modułu takiej odpowiedzi w środowisku kanału morskiego zamieszczono na rys. 3.



■ Rys. 3. Przykładowy wykres modułu odpowiedzi impulsowej badanego kanału radiowego w środowisku morskim

Z przeprowadzonych analiz tych danych wynika, że średni czas odpowiedzi impulsowej badanych kanałów nie przekracza kilku mikrosekund.

## KONCEPCJA RADIOWEGO ŁĄCZA RUCHOMEGO DO ZASTOSOWAŃ W SYSTEMIE MULTIMEDIALNEGO MONITORINGU OBSZARU

Wypracowaną w trakcie prac analityczno-koncepcyjnych wstępną koncepcję systemu multimedialnego monitoringu obszaru zilustrowano na rys. 4. Pokazano na nim specyfikę użytkową tego systemu i trzy wymienione rodzaje kanałów radiowych obsługiwanych przez ruchome łącza radiowe o dużej przepływności.

Innowacyjność opracowanego systemu, najogólniej mówiąc, polega na tym, że jedna część łącza radiowego w postaci stacji radiokomunikacyjnej umieszczonej na jednostce obserwacyjnej

– na łądzie, na morzu lub w powietrzu – będzie w ruchu i to ze znaczną prędkością, zaś druga jego część w postaci stałej stacji radiokomunikacyjnej będzie umieszczona na łądzie w strefie przybrzeżnej. Przy tym transmisja multimedialna w łączu „w górę” wymaga odpowiednio dużej przepływności, zapewniającej przesyłanie danych w czasie rzeczywistym, co wychodzi naprzeciw wymaganiom operacyjnym związanym z monitorowaniem danego obszaru. W łączu „w dół” pod tym względem przepływność może być dużo mniejsza. A więc jest to sytuacja odwrotna do występującej w systemie LTE. Umożliwiło to zaprojektowanie łącza radiowego, w którym w sposób optymalny pod względem efektywności widmowej zostały zagospodarowane dysponowane zasoby częstotliwościowe, czego koniecznym warunkiem było zastosowanie techniki dostępu OFDMA z transmisją w trybie TDD. Mając przy tym na uwadze mobilność łącza, należało w sposób odpowiedni zminimalizować interferencje własne pomiędzy podnośnymi, zaś dla potrzeb zapewnienia określonej sprawności energetycznej opracowano autorską metodę minimalizacji wartości współczynnika PAPR.

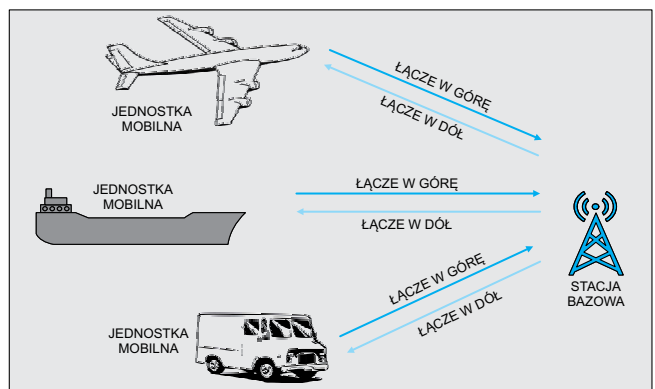
W warunkach wynikających z przyznanego przez UKE dostępu do widma przyjęto parametry systemowe tego rozwiązania (tabela 1) – wartości założone.

■ Tabela 1. Charakterystyka systemowa ruchomego łącza radiowego do transmisji danych multimedialnych w czasie rzeczywistym, wartości założone i osiągnięte

Parametr	Wartość założona / osiągnięta
Technika wielodostępu do kanału radiowego	OFDMA / OFDMA
Rodzaj duplexu	TDD / niesymetryczny TDD
Częstotliwość środkowa kanału	1457 MHz / 1457 MHz
Pasmo nominalne kanału częstotliwościowego	10 MHz / 10 MHz
Modulacja	QPSK, M-QAM / QPSK, 16-QAM
Szybkość transmisji w łączu w górę (do RWSB)	co najmniej 2 Mbit/s/maks. 8 Mbit/s
Szybkość transmisji w łączu w dół (do RTU)	co najmniej 300 kbit/s/maks. 1,5 Mbit/s

Główne funkcje systemu przedstawionego na rys. 4 można podzielić na dwie grupy, tzn. odnoszące się do budowy warstwy sprzętowej oraz organizacji wymiany danych sterujących i użytecznych w łączach radiowych. Przy tym przyjęto, że w omawianym systemie będą realizowane następujące rodzaje usług:

- dwukierunkowa transmisja sygnałów mowy w technice VoIP (Voice over Internet Protocol), usługa w czasie rzeczywistym,
- transmisja sygnałów wideo, usługa w czasie rzeczywistym,



■ Rys. 4. Koncepcja multimedialnego bezprzewodowego monitoringu obszaru przy użyciu ruchomych łączy radiowych o dużej przepływności

- transmisja plików komputerowych, np. obrazów i zdjęć wysokiej rozdzielczości,
- transmisja danych różnego pochodzenia, np. z/do rozproszonych jednostek obserwacyjnych.

Podsumowując, w tym miejscu można stwierdzić, że:

- rozwiązania komercyjne oferowane na rynku telekomunikacyjnym nie spełniają przyjętych założeń, ze względu na znacznie większą przepływność w łączu „w dół” aniżeli w łączu „w górę”, zaś w projektowanym systemie jest odwrotnie,
- co najważniejsze, w rozwiązaniach komercyjnych transmisja w obu kierunkach jest realizowana w trybie FDD.

## WYNIKI BADAŃ I ANALIZA PRZYDATNOŚCI DO PRACY W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

Głównymi elementami zaprojektowanego i wykonanego demonstratora technologicznego łącza radiowego do szybkiej transmisji danych multimedialnych są:

- radiowe wyposażenie stacji bazowej (RWSB), po stronie stałej stacji lądowej obsługującej centrum nadzoru,
- radiowy terminal użytkownika (RTU), po stronie ruchomych stacji lądowych, morskich lub lotniczych obsługujących jednostki obserwacyjne,

przy czym podstawowym elementem składowym tego zestawu jest zaprojektowany i wykonany moduł nadawczo-odbiorczy (rys. 5). Ogólne schematy blokowe toru nadawczego i odbiorczego przedstawiono na rys. 6.

Urządzenie to poddano badaniom pod względem spełnienia wymagań normatywnych dla urządzeń nadawczo-odbiorczych w akredytowanym laboratorium certyfikacyjnym, w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Centrum Techniki Morskiej SA w Gdyni. W wyniku badań uzyskano dokument uprawniający do realizacji pomiarów w otwartym środowisku propagacyjnym [13].



■ Rys. 5. Widok modułu nadawczo-odbiorczego

Tak zbudowany demonstrator technologiczny został poddany badaniom testowym w rzeczywistych środowiskach eksploatacyjnych. Przeprowadzone badania wykazały prawidłowe jego działanie, zgodne z przyjętymi założeniami wynikającymi ze specyfiki służby nadzoru. Zarówno jakość przekazywanego z kamery obrazu, jak i przepływności uzyskane w warunkach propagacyjnych, z nadmiarem spełniły przyjęte oczekiwania. Kończącą charakterystykę systemową tego demonstratora w postaci zestawienia głównych parametrów użytkowych zawarto w tabeli 1 – wartości osiągnięte.

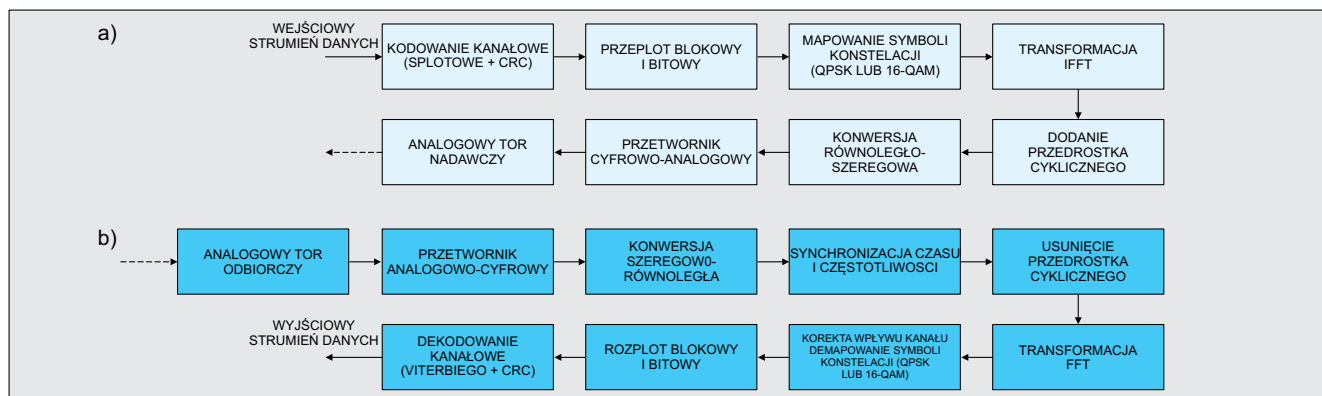
Ponadto na rys. 7 pokazano urządzenia RTU umieszczone na stanowisku badawczym podczas badań testowych na morzu. Na



■ Rys. 7. RTU na stanowisku badawczym podczas badań testowych na morzu



■ Rys. 8. Obraz przekazywany w czasie rzeczywistym z kamery umieszczonej na jednostce pływającej – z RTU przez łącze radiowe do RWSB w stacji stałej na lądzie (CTM): długość łącza 12,1 km, jednostka w ruchu, morze silnie pofalowane; w lewym dolnym rogu usytuowanie łącza radiowego pomiędzy RTU a CTM



■ Rys. 6. Ogólny schemat blokowy: a) warstwy fizycznej toru nadawczego, b) warstwy fizycznej toru odbiorczego

rys. 8 pokazano obraz z kamery umieszczonej na jednostce pływającej przekazywany w czasie rzeczywistym za pośrednictwem RTU przez łącze radiowe o długości 12,1 km do RWSB w stacji stałej na lądzie.

\* \* \*

Podsumowując, transmisja sygnałów w opisywanym łączu radiowym jest realizowana w trybie TDD, w pojedynczym kanale częstotliwościowym o nominalnej szerokości 10 MHz, zaś częstotliwość środkowa tego kanału wynosi 1,457 GHz. W interfejsie radiowym zastosowano technikę ortogonalnej transmisji wielotonowej **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), w której transmisja sygnałów odbywa się w pełnym paśmie na wielu ortogonalnych podnośnych przesyłanych jednocześnie. Taki sposób transmisji zwiększa odporność przesyłanych sygnałów na zaniki selektywne częstotliwościowo, które stanowią największy problem w radiokomunikacyjnych systemach szerokopasmowych. W zastosowanym trybie TDD transmisja odbywa się w pełnym kanale naprzemiennie w obu kierunkach transmisji.

Opisane rozwiązanie ruchomego łącza radiowego szybkiej transmisji danych multimedialnych spełnia wymagania gestora i stanowi punkt wyjścia do opracowania dedykowanej formy tego urządzenia.

## LITERATURA

- [1] Katulski R. i inni: *AEGIR – Prototyp stanowiska laboratoryjnego do wykrywania sygnałów DSSS*, Politechnika Gdańska – WETI/KSiSR, 2007–2010, Raport końcowy do Umowy O R00 0006 04 (86158), ss. 1-261, Gdańsk 2010.
- [2] Stefański J. i inni: *Demonstrator technologiczny szerokopasmowego łącza bezprzewodowego z widmem rozproszonym dla potrzeb sieci ad-hoc*, Politechnika Gdańska – WETI/KSiSR, 2008-2011, Raport końcowy do Umowy O R00 0049 06, ss. 1-284, Gdańsk 2011.
- [3] Katulski R. i inni: *Demonstrator technologii zakłócania transmisji radiowych z widmem rozproszonym*, Politechnika Gdańska – WETI/KSiSR, 2009-2011, Raport końcowy do Umowy O R00 0008 08 (92541), ss. 1-393, Gdańsk 2011.
- [4] Katulski R. i inni: *Demonstrator technologiczny systemu ochrony obiektów mobilnych przed improwizowanymi urządzeniami wybuchowymi (IED)*, Politechnika Gdańska – WETI/KSiSR, 2010-2012, Raport końcowy do Umowy O R00 0007 12 (95592), ss. 1-223, Gdańsk 2012.
- [5] Sadowski J. i inni: *System i urządzenia do zdalnego monitoringu położenia osób w środowiskach zamkniętych*, Politechnika Gdańska – WETI/KSiSR, 2013-2016, Raport końcowy do Umowy DOBR-BIO4/058/13045/2013, ss. 1-122, Gdańsk 2016.
- [6] Stefański J. i inni: *System szybkiej transmisji danych multimedialnych dla potrzeb ochrony morskiej granicy państwowej*, Politechnika Gdańska – WETI/KSiSR, 2014-2017, Raport końcowy do Umowy DOB-BIO/09/5/2014, ss. 1-109, Gdańsk 2018.
- [7] Wąs R.: *Wykrywanie sygnałów DS CDMA ukrytych poniżej tła szumów*, Rozprawa doktorska – promotor R. Katulski, Rada Naukowa Instytutu Łączności w W-wie (PIB), Warszawa 2011.
- [8] Magiera J.: *Analiza i badania systemu antyspoofingowego GPS*, Rozprawa doktorska – promotor R. Katulski, Rada Naukowa Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2015.
- [9] Siwicki W.: *Badanie i analiza efektywności pracy naziemnego, samorganizującego się systemu radiolokacyjnego*, Rozprawa doktorska – promotor R. Katulski, Rada Naukowa Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2017.
- [10] Rajchowski P.: *Badanie i analiza dokładności estymacji położenia obiektów ruchomych w hybrydowym systemie lokalizacyjnym*, Rozprawa doktorska – promotor J. Stefański, Rada Naukowa Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2017.
- [11] Cwalina K.: *Badanie i analiza efektywności alokacji strumieni danych w heterogenicznej sieci WBAN*, Rozprawa doktorska – promotor J. Stefański, Rada Naukowa Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2017.
- [12] *Zezwolenie Prezesa UKE nr DZC.WSR.51722.2571.2015 (wraz z późniejszymi decyzjami) na czasowe używanie urządzenia radiowego nadawczego w celu przeprowadzenia badań, testów lub eksperymentów do dnia 31.12.2017 r.*
- [13] Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej SA: *Sprawozdanie z badań nr DPL/005/206/17*, Laboratorium Badawcze Kompatybilności Elektromagnetycznej akredytowane przez PCA, Gdynia 2017.

## SYMBOLE TEMATYKI ARTYKUŁÓW

ZAGADNIENIA OGÓLNE	SIECI TELEKOMUNIKACYJNE	USŁUGI MULTIMEDIA	ELEMENTY UKŁADY METODY	TELETRANSMISJA	TELEFONIA	TELEINFORMATYKA	OPTOTELEKOMUNIKACJA	RADIOKOMUNIKACJA RADIOFONIA TELEWIZJA	POMIARY	EKONOMIKA PRAWO	SPONSOROWANE
GENERAL PROBLEMS	COMMUNICATION NETWORKS	SERVICES MULTIMEDIA	COMPONENTS DEVICES METHODS	TELETRANSMISSION	TELEPHONY	COMPUTER SCIENCE	OPTOCOMMUNICATIONS	RADIOCOMMUNICATION RADIO TELEVISION	MEASUREMENTS	ECONOMICS LAW	SPONSORING