

BADANIE NIEZAWODNOŚCI SATELITARNYCH SYSTEMÓW TELEINFORMATYCZNYCH W WARUNKACH PROPAGACJI W ATMOSFERZE ZIEMSKIEJ

Streszczenie

Szereg badań dotyczących wpływu warunków atmosferycznych na niezawodność satelitarnych systemów teleinformatycznych przeprowadzono na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach w ramach europejskiego projektu badawczego COST IC0802 [5]. Część z nich, zawierającą końcowe wyniki badań zamieszczono w niniejszym artykule. Z uwagi na zmienność parametrów meteorologicznych w celu określenia niezawodności systemu posłużono się metodami statystycznymi.

WSTĘP

Jakość linii radiowej opisuje zarówno niezawodność systemu, jak i wierność transmisji. Niezawodność badanego systemu definiuje procent czasu (w skali roku) w trakcie którego realizowana jest transmisja zadaną wiernością transmisji, którą opisuje się poprzez progowe określenie wartości odpowiednio: (1) stopy błędów w systemach cyfrowych oraz (2) stosunku sygnał-szum w systemach analogowych wraz z podaniem przedziału czasu (w skali roku lub najgorszego miesiąca), kiedy wartości te mogą być przekroczone. Poprzez pojęcie niezawodności (dostępności, współczynnika gotowości) rozumie się czas bezawaryjnego działania systemu w stosunku do całkowitego czasu, w trakcie którego realizowana jest dana usługa teleinformatyczna. Przykładowo dostępność na poziomie 99,99% oznacza, że na 100 jednostek czasu 99,99 wystąpiło w czasie bezawaryjnej pracy systemu. Powszechnie wyróżnia się siedem klas dostępności systemów: (1) klasa 1 – oznacza dostępność na poziomie 90%; (2) klasa 2 – 90,9%; (3) klasa 3 – 90,99%; (4) klasa 4 – 90,999%; (5) klasa 5 – 90,9999; (6) klasa 6 – 90,99999%; (7) klasa 7 – 90,999999%. Do analizy danych wykorzystano stacjonarny, odbiorczy, naziemny terminal satelitarny zlokalizowany w Katedrze Systemów Informatycznych.



Rys. 1. Miejsce lokalizacji części wewnętrznej stanowiska laboratoryjnego – aparatury pomiarowej (w tym odbiornika sygnałów mikrofalowych)

Eksperymentalnie przeanalizowano zmianę wartości tłumienia rzeczywistego L_{rz} w odniesieniu do składnika – tłumienia podstawowego L_0 o składową L_{rwp} , wynikającą z różnych od wolnej przestrzeni warunków propagacji fal radiowych:

$$L_{rz} [\text{dB}] = L_0 [\text{dB}] + L_{rwp} [\text{dB}] \quad (1)$$

gdzie:

$L_{rz} [\text{dB}]$ – tłumienie w rzeczywistym środowisku propagacyjnym;

$L_{rwp} [\text{dB}]$ – tłumienie dodatkowe wynikające z różnych od wolnej przestrzeni warunków propagacji fal radiowych.



Rys. 2. Zewnętrzna część stacji meteorologicznej

Wymienić można wiele czynników wpływających na eksploatację i niezawodność satelitarnych systemów teleinformatycznych zarówno dla łącza Ziemia-satelita, jak i satelita-Ziemia. Należą do nich chociażby: (1) rozbieżność energii wiązki wypromieniowanej w postaci fal radiowych; (2) tłumienie fal radiowych wskutek absorpcji w gazach atmosferycznych; (3) tłumienie fal radiowych w hydrometeorach; (4) tłumienie wtórne wskutek rozpraszania oraz depolaryzacji fal radiowych przez hydrometeory; (5) zaniki sygnału spowodowane scyntylacjami; (6) zaniki sygnału spowodowane zjawiskiem wielodrogowości; (7) zakłócenia dostarczane z emiterów (ośrodków absorbujących). W tym zakresie nie bez znaczenia jest badanie wpływu częstotliwości na zjawisko rozpraszania światła [8].

1. CEL I ZAKRES BADAŃ

W celu analizy wpływu tłumienności atmosfery na niezawodność łączy teleinformatycznych pracujących na różnej częstotliwości powszechnie wykorzystywane są badania radiometryczne. Bierze się w nich pod uwagę parametry odbioru, których wartość przekłada się na długość trasy propagowanej fali radiowej. Badania takie, w celu zminimalizowania skutków tłumienia wnoszonego przez atmosferę ziemską, znajdują swoje odzwierciedlenie w optymalnym doborze okien do transmisji troposferycznej i transjonoferycznej.



Rys. 3. Zewnętrzna część stanowiska laboratoryjnego (antena odbiorcza)

Podczas pracy systemów satelitarnych wiązka satelitarna przecina atmosferę w przybliżeniu prostopadle, fale radiowe propagowane są przez kolejne warstwy atmosfery. Na mechanizm propagacji największy wpływ mają dwie warstwy atmosfery – troposfera oraz jonosfera ziemiska (występuje w nich zjawisko refrakcji i tłumienia fal radiowych), co można zapisać w postaci:

$$L_{rwp} [dB] = L_{tropo} [dB] + L_{jono} [dB] \quad (2)$$

gdzie:

L_{tropo} [dB] – tłumienie wynikające z propagacji fal mikrofalowych w troposferze;

L_{jono} [dB] – tłumienie wynikające z propagacji fal mikrofalowych w jonosferze.

Dzięki pomiarom ze stanowiska laboratoryjnego możliwa staje się ocena jakości pracy systemu telekomunikacyjnego oraz zobrazowanie wpływu opadów atmosferycznych na odbiór mikrofalowych sygnałów satelitarnych (wykorzystany miernik pozwala na zmianę poziomu odniesienia pasma satelitarnego w zakresie od 70 dB μ V do 130 dB μ V). Tego rodzaju sprzęt jako zautomatyzowane narzędzie odniesienia profesjonalnie wykorzystywany jest m.in. przez fińskiego operatora sieci *Anvia Oy* na potrzeby badania uwarunkowań propagacji sygnałów telewizyjnych (z powodzeniem można go także użyć do badania sieci analogowych i cyfrowych, które zostały podłączone do stacji czołowej). Z przyjętych rozwiązań korzysta ponadto do podglądu obrazu w standardzie kodowania *MPEG-4*, w rozdzielczości *1080i* (1920x1080 pikseli) oraz *720p* (1280x720 pikseli) – *Urząd Komunikacji Elektronicznej*, który posiada na wyposażeniu mierniki tego typu. Przyrząd wyposażony jest w analizator widma, który wykrywa obecność sygnału w danym paśmie (w tym szyfrowane usługi) oraz dostępne w sieci zakłócenia. Wykorzystany analizator umożliwia bieżącą dynamiczną analizę spektralną odebranych sygnałów, jak również ich dekodowanie (typ sygnału, standard, rodzaj modulacji, prę-

kość transmisji), badanie diagramów konstelacji otrzymanych sygnałów oraz wyświetlanie spektrogramów pozwalających wykryć (pojawiające się sporadycznie) nieprawidłowości w szerokim zakresie częstotliwości. Urządzenie posiada złącze *CI* (*Common Interface*) do włożenia modułu *CAM* wraz z kartą kodową. Określenie wpływu warunków atmosferycznych na odbiór mikrofalowego sygnału satelitarnego odbywa się poprzez pomiar wielu jakościowych współczynników, jak choćby: (1) poziom sygnału (nośnej) na wejściu odbiornika i (2) stosunek *CNR* – dla transmisji analogowych. Mierzony poziom nośnej analogowej odbywa się przy użyciu detektora quasi-szczytowego o szerokości pasma 4 MHz, natomiast poziom szumu – detektora wartości średniej 230 kHz (dane poddane są korekcji w odniesieniu do szerokości pasma kanału).

2. BADANIE WPŁYWU NIEZAWODNOŚCI SYSTEMU NA MOŻLIWOŚĆ ODBIORU SYGNAŁU

Na niezawodność satelitarnych systemów teleinformatycznych wpływa także zjawisko refrakcji fal radiowych. Dla okien radiowych na częstotliwości około 4 i 6 GHz do strat w wolnej przestrzeni L_0 dodawać można około 1 dB jako wynik oddziaływania atmosfery ziemskiej oraz kolejne 4 dB wskutek obecności intensywnych opadów deszczu [7]. Niekiedy przyjmuje się, że wartość tłumienia dodatkowego L_{rwp} jest pomijalnie mała w paśmie C oraz poniżej 0,5 dB w paśmie K_u [15].

Badania wykazały, że dla danej intensywności opadów największy wpływ na tłumienie fali radiowej i zniekształcenia polaryzacyjne ma deszcz (oddziaływanie innych opadów jest pomijane). Podczas analizy pracy cyfrowych systemów satelitarnych mamy do czynienia z efektem progowym. O ile w systemach analogowych jakość transmisji pogarsza się stopniowo, o tyle w systemach cyfrowych zmniejszenie stosunku *CNR* do pewnego momentu nie skutkuje widocznymi zmianami w jakości odbieranego sygnału. Spadek wartości poniżej 1-2 dB od wartości progowej może stać się przyczyną częściowego (czasowe zamrożenie obrazu, stopklatka, deformacja dźwięku) lub całkowitego załamania transmisji (zanik obrazu i dźwięku). Intensywność opadów deszczu determinowała jakość odbioru mikrofalowych sygnałów satelitarnych, która z kolei przekładała się na niezawodność badanego systemu.

Rozpatrując temperaturę szumową anteny dla czystego nieba, stwierdzono, że przyjmuje ona na ogół wartość temperatury szumowej nieba powiększonej o promieniowanie termiczne Ziemi. W konsekwencji, zależnie od bieżących uwarunkowań meteorologicznych oraz parametrów technicznych sprzętu (dodatkowy margines uzyskuje się włączając do analizy inne elementy, jak np. współczynnik szumów konwertera), przy uwzględnieniu strat doprowadzenia anteny (*feedera*), temperatura szumowa systemu na wejściu odbiornika osiąga wartość około 120 K w warunkach czystego nieba oraz około 240 K i więcej w przypadku wystąpienia opadów deszczu. Dobrym rozwiązaniem w kierunku spadku niezawodności systemu wydaje się być realizacja transmisji satelitarnej metodą transmultipleksacji sygnałów [4].

PODSUMOWANIE

W ostatnim czasie notuje się gwałtowny rozwój technologii informatyczno-komunikacyjnych na rozwój społeczeństw [14]. Ustawniczy rozwój telekomunikacji bezprzewodowej wymusza prace o charakterze optymalizacyjnym. Podobne zagadnienia stanowią przedmiot ciągłych badań prowadzonych w renomowanych ośrodkach badawczych, naukowych i akademickich. Pomiaru natężenia pól elektromagnetycznych przy uwzględnieniu rozmaitych warunków trasy propagacji (częstotliwości nośnej, specyfiki terenu, odległości pomiędzy antenami, uwarunkowań klimatyczno-meteorologicznych)

umożliwiły wielu krajom europejskim gromadzenie bogatego materiału statystycznego, którego posiadanie stanowi istotny czynnik eksploatacji, optymalizacji i projektowania satelitarnych łącz teleinformatycznych. W ramach projektu europejskiego COST IC0802 tego typu badania przeprowadzono również w Polsce, co pozwoliło zbadać wpływ czynników atmosferycznych na niezawodność systemów satelitarnych. Ustanowienie odpowiednich norm w skali międzynarodowej stało się konieczne w celu ujednolicenia obowiązujących zaleceń dotyczących hipotetycznych łącz odniesienia na potrzeby określonych systemów satelitarnych. W toku realizowanych prac stwierdzono, że systemy będą zawierały połączenia stacji naziemnych oraz ich ośrodki komutacyjne. Z uwagi na istotę szumów występujących w komunikacji satelitarnej normalizacji poddano także ich poziom w hipotetycznym łączu odniesienia.

BIBLIOGRAFIA

1. Bem J., *Satelitarne systemy radiodifuzyjne*. Systemy radiokomunikacji satelitarnej. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.
2. Bogucki J, Jarkowski J, Wielowieyska E., *The influence of meteorological phenomena on modern satellite systems*. Journal of telecommunications and information technology (JTIT) 2009, No 4.
3. Bogucki J, Wielowieyska E., *Czynniki wpływające na bilans energetyczny łącza satelitarnego w zakresie fal milimetrowych*. Telekomunikacja i Techniki Informacyjne 2005, Nr 1-2.
4. Ciosmak J., *Algorytm wyznaczania nieseparalnych dwuwymiarowych zespołów filtrów dla potrzeb systemów transmultipleksacji*. Przegląd Elektrotechniczny 2011, t. 87, zesz. 11.
5. *COST Action IC0802 (European Cooperation in Science and Technology – Action IC0802)*, http://www.cost.eu/domains_actions/ict/Actions/IC0802; http://www.tesa-prd.fr/cost/ict_poster_ic0802.pdf
6. Ippolito L. J., *Satellite communications. Systems engineering. Atmospheric effects, satellite link design and system performance*. JohnWiley & Sons, Chichester 2008.

Tab. 1. Wpływ niezawodności systemu na możliwość odbioru sygnału [12]

Dostępność systemu (średnia w roku) [%]	Dostępność systemu (najgorszy miesiąc) [%]	Przestój godzinowy w roku [h]	Przestój godzinowy w najgorszym miesiącu [h]
99,999	99,993	0,088	0,051
99,998	99,987	0,175	0,093
99,997	99,982	0,263	0,133
99,996	99,977	0,351	0,171
99,995	99,972	0,438	0,207
99,994	99,967	0,526	0,243
99,993	99,962	0,614	0,278
99,992	99,957	0,701	0,312
99,991	99,953	0,789	0,346
99,990	99,948	0,877	0,379
99,980	99,905	1,753	0,693
99,970	99,865	2,630	0,985
99,960	99,827	3,506	1,266
99,950	99,790	4,383	1,537
99,940	99,753	5,260	1,801
99,930	99,718	6,136	2,059
99,920	99,683	7,013	2,313
99,910	99,649	7,889	2,563
99,900	99,615	8,766	2,809
99,800	99,297	17,532	5,134
99,700	99,000	26,298	7,305
99,600	98,716	35,064	9,382
99,500	98,440	43,830	11,393
99,400	98,172	52,596	13,351
99,300	97,910	61,362	15,267
99,200	97,653	70,128	17,148
99,100	97,399	78,894	18,998
99,000	97,150	87,660	20,822
98,000	94,790	175,320	38,056
97,000	92,587	262,980	54,153
96,000	90,479	350,640	69,553
95,000	88,439	438,300	84,456

7. Leśnicki A, Rasiukiewicz M., *Podstawy systemów horyzontalnych linii radiowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1983.
8. Marciniak M, Natarov D. M, Sauleau R, Nosich A. I., *Effect of Periodicity in the Resonant Scattering of Light by Finite Sparse Configurations of Many Silver Nanowires*. Plasmonics 2014, No 2.
9. Marciniak M, Wilk J., *Wpływ szumów na propagację fal radiowych*. Logistyka 2015, Nr 4.
10. Marek M., *Wykorzystanie ekonometrycznego modelu klasycznej funkcji regresji liniowej do przeprowadzenia analiz ilościowych w naukach ekonomicznych*. Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne. The Role of Informatics In Economic and Social Sciences. Innovations and Interdisciplinary Implications. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Handlowej im. B. Markowskiego w Kielcach, Kielce 2013; wersja elektroniczna: <http://www.pitwin.edu.pl/artykuly-naukowe/badania-ilociowe/2171-wykorzystanie-ekonometrycznego-modelu-klasycznej-funkcji-regresji-liniowej-do-przeprowadzenia-analiz-ilociowych-w-naukach-ekonomicznych>
11. Roddy D., *Satellite communications*. New York: McGraw-Hill, 2001.
12. Wilk J. Ł., *Prognozowanie niezawodności systemów telekomunikacyjnych*. Cyfrowe Sieci Teletransmisyjne. Kielce 2013 (instrukcja laboratoryjna nr 6-7).
13. Wilk J. Ł., *The impact of radiowave polarization, frequency and rain intensity on the satellite signal reception in the area of Kielce city*. TRANSCOM 2013. 10-th European Conference of Young Research and Scientific Workers, Proceedings, Section 3 – Information And Communication Technologies. EDIS-Žilina University publisher, Žilina 2013.
14. Wilk-Jakubowski G., *Wpływ technologii informatyczno-komunikacyjnych na funkcjonowanie współczesnych społeczeństw*. Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Handlowej im. B. Markowskiego w Kielcach, Kielce 2011; wersja elektroniczna: <http://www.pitwin.edu.pl/artykuly-naukowe/nauki-humanistyczne-i-spoeczne/881-wpyw-technologiei-informatyczno-komunikacyjnych-na-funkcjonowanie-wspolczesnych-spoeczestw>
15. Zieliński R. J. *Satelitarne sieci teleinformatyczne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.

THE STUDY OF SATELLITE TELEMATICS SYSTEMS RELIABILITY FOR PROPAGATION IN THE EARTH'S ATMOSPHERE

Abstract

Paper discussed the impact of various (climatic and atmospheric) conditions on the telematics systems reliability. Particular attention was paid to determine the probability of staying of the telematic system in the distinguished availability classes.

Autorzy:

dr inż. **Jacek Wilk-Jakubowski** – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki, Katedra Systemów Informatycznych, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Polska, e-mail: j.wilk@tu.kielce.pl