RELIABILITY ANALYSIS OF RADIOAMATEUR COMMUNICATION

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI AMATORSKIEJ ŁĄCZNOŚCI KRÓTKOFALARSKIEJ

Tomasz Wawer¹, Tadeusz Dąbrowski², Marcin Bednarek³

¹ Wawer i Synowie, Warszawa

² Military University of Technology

³ Rzeszow University of Technology

wawer.tomasz@gmail.com; tadeusz.dabrowski@wat.edu.pl; bednarek@prz.edu.pl

Abstract: The following article describes diagnostic and reliability aspects of amateur radio communications. The intention of precise measuring of quality and accuracy of every contact was present in ham radio from very beginning. The reports were sent and they are still used today, in many variants. In time, the tools to measure ionosphere state and propagation conditions emerged. They are fundamental for communication, especially long distance ones. The article concentrates on description of digital amateur mode, JT9. This mode is very effective, enables worldwide reach and requires simple tools.

Keywords: radio amateur, communication reliability, mode JT9

Streszczenie: Opracowanie zwraca uwagę na aspekty niezawodnościowe w łączności realizowanej w ramach amatorskiego ruchu radiokomunikacyjnego. Wskazuje na permanentne starania o poprawę jakości i niezawodności tej formy łączności. W efekcie podejmowanych działań powstały (i nadal są opracowywane) narzędzia do badania stanu jonosfery i jakości propagacji, które są fundamentalne dla łączności, szczególnie dalekich. Artykuł koncentruje się na jednym z najnowszych trybów cyfrowej łączności amatorskiej, JT9. Charakteryzuje się on wysoką skutecznością, imponującym zasięgiem i prostotą użycia.

Słowa kluczowe: krótkofalarstwo, niezawodność łączności, tryb JT9

RELIABILITY ANALYSIS OF RADIOAMATEUR COMMUNICATION

1. Introduction

The rapid development of electronics and computer methods to control a variety of processes, results in more and more perfect solutions in the area of technology and radio technology. It is worth considering what is the role amateur radio communications in current, highly professional, digital world. In this aspect - to be able to objectively assess the advantages of this type of communication – it should consider factors that determine the attractiveness of amateur radio communications, especially the reliability of such communication.

The authors of this study do not know any scientific articles related directly to the issue of reliability of amateur radio communications. You can only - by analogy - to apply to this type of activity the methods of estimating reliability used in other communication systems, such as. military communication systems [12, 13], computer networks [14], satellite communications systems.

In light of the above authors we assumed that the leading objective of this study is - beyond the dissemination of basic information about the current methods of amateur radio communication - an attempt to assess the reliability of this type of communication based on the descriptive definitions of reliability, which are as follows [1]:

“Reliability is the ability to perform certain functions under the selected conditions and the period of time”

or

“Reliability expresses confidence of the operator, that the object can perform the specific task utility, under certain conditions and within a certain period of time”

According to this definition to estimate the reliability of the process of communication requires first of all define the factors that influence the functional efficiency of this communication. The article presents the results of considerations relating to the issue.

2. Evolution of the amateur radio communication techniques

Amateur movement is developing, over a hundred years, new ways to establish radio communications, for pleasure, self-education and competition. Because of its mass, hobby character, unlimited by necessity to obtain profits, it allows many forms of participation in technical development, exploring the history and sometimes it saves lives when commercial communications networks fail. Very often radio amateurs are the first in areas affected by natural disasters, coordinating the rescue on site of natural and man-made disasters. An example would be an earthquake in Haiti, where the priest - radioamateur coordinated emergency services in spite of total destruction of communications networks.

Commercial and amateur radio communication developed in parallel from the very beginning.

Radio amateurs (hams) on a par with the pros still create new and effective methods, algorithms, devices and antennas. The aim is to improve methods of communication.

The rapid development of the amateur radio movement followed the First World War. Tens of thousands of military radio operators have returned to civilian life. Many of them have decided to continue experiments in radio communication. Their activity and the availability of new technology for the masses gave rise to the first radio station in the United States. This situation also contributed to the liberalization of the use of receiving and transmitting devices. They created the foundations for the development of amateur on a large scale.

The biggest development of ham radio movement in Poland took place in Austrian and Prussian partitions. The professional literature was available, so it is not surprising that the initial experiments using radio waves for amateur communication were held in Lviv, Poznan and Bydgoszcz.

It should be noted that scouts brought special contribution to ham radio development in the beginning of Polish amateur radio.

In 1930 Polish Amateur Radio Union (PZK) was established [8].

Many radio amateurs fought and lost their lives during the Second World War, contributing to the victory over the Axis. It should be mentioned about the Polish radio station Błyskawica, broadcasting news bulletins during the Warsaw Uprising. The transmitter was built in 1943 in Częstochowa by ham Anthony Zębik, SP1ZA (ps. "Biegły") and Bolesław Drożdż. There was also less known radiostation Burza. From the moment of sending information by Popov and Marconi, Morse and CW emission, or A1A [2, 3] reigned. Unfortunately, this method, though very effective, requires a long training of operators and it is prone to errors. From the very beginning, back in the days before the advent of radio, many attempts were taken to automate transmission in order to improve the functioning of the telegraph. Teletype, RTTY, first devices with perforated paper tape, appeared, based on modified typewriter. RTTY mode is still widely used today in amateur communications. Its main drawback is the lack of error correction.

In parallel with the development of communications technology, methods of diagnosing signal were developed. In its simplest form they take the form of a report. CW report has been standardized in the form of three digits, eg. 599, which means full clarity, high signal strength and clear sound. The voice used two digits, eg. 59, which is full of clarity and big power. Errors followed by sending a request to repeat the message, a basic response to the errors noted by the receiving operator transmission.

Very interesting transmission method was invented in the interwar period by German scientist Rudolf Hell. His hellschreiber was the first fax device, which sends strings of dots and dashes forming an image. The amateur Hell mode is still used today, and its popularity is increasing. Of course, most amateurs use a computer to use RTTY and Hell, in place of expensive and unreliable mechanical equipment. Although the original, pre-war equipment can be also seen [5].

Radio amateurs experimented with new ways of communication. Dissemination of computers and price reduction of transceivers, as well as the continuous development of antenna technology and lack of institutional constraints, has created a diverse and often improbable types of communications and emissions.

Some examples: EME and Scatter [7]. EME is a reflection of ultrashort radio waves from the surface of the moon. Scatter is scattering of radio waves on the presence of meteor showers. These methods have resulted in an rapid development of antenna technology, increase of sensitivity and power of transceivers and digital modes of communication with the data correction. A multitude of digital modes was invented due to the variety of applications, specific propagation conditions, duration of transmission and creativity of amateurs.

3. Characteristics of digital communications

Improving EME and Scatter transmission created several varieties of digital modes of JT4 to JT65 for extremely weak signals. The semi-automatic test method of propagation was developed, and hams began to use these modes in the "normal" communication on long, medium, short and ultra-short wave.

Of course, more improvements were introduced, for example EME was not concerned with bandwidth, while the short-wave required very narrow bandwidth. Mathematical apparatus was developed, which found its place in the commercial telecommunications, just as the development of transceivers, antennas, antenna tuners, amplifiers and so on.

In turn, the radio amateurs will be happy to use the solutions created for the purpose of commercial communication. At present, DMR is gaining significant popularity, using professional transceivers.

Communication in JT9 mode

JT9 [4] is a mode adapted to establish communication on the long, medium and short waves with low power (1-10W), using the compromise antennas in bad propagation. So, when you can not communicate in classic modes, except perhaps the CW, which is very old, but still very attractive.

JT9 derived from the JT65 mode, designed for EME, or bouncing signals from the lunar surface. It requires 10 times narrower bandwidth, so 100 signals can fit in a 2kHz bandwidth, and allows you to decode slightly weaker signals. The author regularly, although quite rarely, decodes the signals in order of -27dB (-26dB very often). This involves decreasing the probability of decoding a signal spacing S/N (*Signal to Noise Ratio*) less than -26dB (-26dB probability is approx. 50%).

The reliability of the communication process depends on several factors: transmitter power, frequency, propagation conditions (eg. the state of the ionosphere), time of year and time of day, the position (height) of the antenna above sea level, proximity of salt water body, mode of transmission (eg. JT9).

Structure of the transceiver ham station for the purpose of JT9 communication

Building of the station requires: SSB transceiver (not necessarily high power, preferably with computer control, so-called CAT), antenna (not necessarily best) and the computer with good quality sound card. Simple device to separate radio RF signal from computer is not necessary, but useful. An important factor is of course the software which manages the entire system. Operator station (computer software) should support all ham digital modes.

The picture (Fig. 1) shows the author's set of ham radio (except W3DZZ antenna, dipole with traps, which is on the roof of the two-storey building and laptop).

This set consists of:

- Radio Ten-Tec Argonaut VI,
- automatic antenna tuner (at the bottom),
- specialized interface radio with good quality sound card,
- laptop with Linux is not shown.

The connection are two standard USB cables. On the side you can see a Morse key.

Fig.1. View of the radio amateur set

Establishing JT9 mode communication

JT9 operates as follows: on the full minute receiving begins. The computer initiates the reception of sound card and saves a 50-second "track" heard on the band in a .wav file. In the remaining ten seconds, the signals are decoded, displayed and the operator can decide whether to wait for a next full minute and begin broadcasting CQ (which also takes approx. 50 seconds), or try to make contact with one of the amateurs he could decode. You need a bit of skill to fit in the time to the next full minute. Computer clock must be quite accurate (± 0.5 s). You can use NTP time servers or GPS.

In Figures 3, 4 and 5 will see the WSJT-X program window [2, 5] used to establish communication (Fig. 3, 4) and the band waterfall (Fig. 5). The example shows

communication (in red reception, in yellow broadcasting) with David (VK7YUN) from Tasmania. Figures 2 and 6 show a “Grid”, and Figure 7 VK7YUN QSL card. The drawing shows the effect of “Manual” Diagnostics - text “@ SRI AGN PLSE?”. Due to the low power of the transmitting station (8W) some portion of the information has been damaged but appears on the *waterfall*.

Fig. 2. "Grid" system

Fig. 3. Propagation indicator

Fig. 4. The main window of the WSJT – X program for JT9, JT65 and JT4 modes

Fig. 5. Waterfall – graphic view of the band

Fig. 6. Geographical location of David (VK7YUM)

Fig. 7. QSL card confirmation connection with Tasmania

JT9 is designed to perform minimal QSOs, it lists the signs, the report (in the form of S/N ratio - the ratio "signal/noise" given in dB) and geographical location. At the end of the confirmation and "73" - greetings. An example of a typical QSO presented in Table 1.

Table 1. Typical QSO – example 1

Phase	Receive	Transmit
1	CQ VK7YUM QE38	
2		VK7YUM SQ5RIX KO02
3	SQ5RIX VK7YUM -21	
4		VK7YUM SQ5RIX R-22
5	SQ5RIX RR 73	
6		8W DIP TU 73

Coding and forward error correction

Message (up to 13 ASCII characters) transmits an encoded 72-bit string. Example of calls for CQ SQ5RIX KO02 and CQ SQ5RIX KO03, where:

- CQ - call,
- SQ5RIX - a sign's,
- KO02 - the geographical area where the station (the so-called Grid).

Error control is implemented in the form of a convolutional code. It is a binary polynomial, moving along messages, bit by bit. As a result we get a message with a length of 206 bits. To send this message, you should use some modulation FSK-9, 9-ton modulation is used, where eight tones are used for data and one for synchronization [9].

For example 2. (Listing 1) - you can compare what tones (from 0 to 9, 0 is synchronization) are sent in the case of two messages which differ only with one character at the end. You can see how effectively convolutional code works, yielding completely different final results with minimal change of input text.

Listing 1 - example 2

tom@A300: jt9code “CQ SQ5RIX KO02”		
Message	Decoded	Err?

CQ SQ5RIX KO02	CQ SQ5RIX KO02	1: Std Msg
Channel symbols		
0 0 7 2 0 5 6 3 3 0 4 4 4 5 3 0 2 8 7 1 4 6 0 8 7 4 2 6 3 7		
1 5 0 5 0 7 7 2 6 3 6 6 3 3 2 3 5 1 6 8 0 0 8 5 0 5 1 8 4 0		
3 6 6 1 2 0 6 3 6 7 5 7 0 7 3 4 6 4 3 6 8 2 0 1 0		
tom@A300: jt9code “CQ SQ5RIX KO03”		
Message	Decoded	Err?

CQ SQ5RIX KO03	CQ SQ5RIX KO03	1: Std Msg
Channel symbols		
0 0 7 8 0 5 6 2 3 0 4 3 4 3 2 0 2 8 1 1 4 6 0 2 7 4 2 4 3 7		
1 3 0 5 0 7 7 2 6 4 6 6 2 3 2 3 8 1 6 7 0 0 5 5 0 5 7 5 5 0		
3 4 6 1 3 0 4 2 5 7 6 6 0 8 3 6 6 3 3 4 8 2 0 4 0		

Sending each symbol interval lasts 6912 intervals (at 12,000 samples per second). This gives approx. 0,576 seconds, or 1,736 Hz pulse width. Therefore, bandwidth is $9 \times 1.736 = 15.6$ Hz. For comparison CW signal requires about 700-900 Hz.

Diagnosis of communication is a two-step: first error correction is tested, ie. whether the received signal is correct. This is done automatically during decoding. The operator then reads the text and determines if it is damaged or garbled. At the same time, JT9 (as well as any other digital mode) automatically sends decoded callsigns to the central database. Figure 8 shows a snapshot of the database window at the chosen time in the mode JT9 (time range is 15 minutes). On this basis, the operator knows about the conditions prevailing at a given moment in the ionosphere and decides on the conditions of the band.

Fig. 8. Stations transmitting and receiving JT9 - mutual “detect” in the band 40m [5]

They are not a complete QSO's, but only the internet image that a particular station is heard by another (typical situation at night, autumn). Thanks to very good propagation Japan, Korea, China and countries in the Pacific Islands are heard.

4. Proposal of formal record of reliability function

Based on the definition of reliability stated in the introduction, you can express the reliability of radio transmissions in general, for example as functional:

$$R(D) = f[R(W1), R(W2), R(W3), R(W4), R(W5), R(W6), R(W7), \dots] \quad (1)$$

where:

D - the distance to potentially identifiable (ie. capable to communicate) radio station;

$R(W1)$ - reliability of transmission in function of transmitter power;

$R(W2)$ - reliability of transmission depending on the type of antenna;

$R(W3)$ - reliability of transmission depending on antenna height above sea level;

$R(W4)$ - reliability of transmission depending on the transmission mode;

$R(W5)$ - reliability of transmission in function of wavelength;

$R(W6)$ - reliability of transmission depending on the time of day;

$R(W7)$ - reliability of transmission depending on propagation conditions;

.....

etc.

The measure of reliability interpreted in such a way - can be a number of potentially identifiable radio stations in a specific range of distance D :

$$L_D = f(D) \quad (2)$$

Estimating the reliability of communication - described by expressions (1) and (2) - requires time-consuming tests in real conditions [11, 12, 13]. Fragments of the results of the experiment are presented in Table 2 and graph in figure 9.

Basic parameters (conditions) of the experiment:

W1 - power of transmitter (1-10W);

W2 - antenna type: W3DZZ;

W3 - location (height) of antenna above sea level: 140m;

W4 - transmission mode: JT9;

W5 - wavelength (20 - 40) m;

W6 - software version of radio station WSJT – X.

Table 2. List of the best achievements in establishing communication in the subsequent days of the experiment

No.	Date	Number of QSO	Max. distance [km]	GRID	Country
1	1.12.2015	172	8098	OK03gr	Tajlandia
2	2.12.2015	109	8747	EM22le	USA, Texas
3	3.12.2015	36	1692	IO73tj	Walia
4	4.12.2015	49	8264	PM53fp	Japonia, Fukuoka
5	5.12.2015	92	8244	EM62wi	USA, Alabama
6	6.12.2015	54	1696	IO75qn	Szkocja
7	7.12.2015	27	2131	JM08pw	Hiszpania, Ibiza
8	8.12.2015	29	1822	IO65qe	Irlandia Północna
9	9.12.2015	31	7724	HI39	Brazylia
10	10.12.2015	31	13347	OF86td	Australia Zachodnia
11	11.12.2015	39	2302	IN70xp	Hiszpania, Madryt
		Suma: 670

Fig.9. Illustration number of confirmed L_D calls at distance D between sender and receiver - divided into 2000 km zones

5. Summary

The article emphasizes the aspects of reliability of amateur radio communication. It points to the main theme of the radioamateur movement efforts to improve the quality and reliability of every form of communication, as well as testing the condition of the ionosphere and the quality of propagation, which are fundamental for communication, especially distant. Article focuses on one of the newest JT9 modes of digital amateur communication. It is characterized by very high efficiency, impressive range and simplicity of use. It should be remembered that the activity of amateur radio, although it plays an important social role, it is based solely on a bottom-up hobby movement. And that means, that it does not have adequate resources to use professional analytical assessments of processes. In an amateur environment there is not much need for such assessment. Communication quality of the hams is evaluated intuitively, based on practical experience. In this context, authors think, a proposal of reliability assessment utilizing scientific formalism is interesting.

6. References

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Podstawy eksploatacji, cz. 2. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wyd. WAT, 2006.
- [2] Dąbrowski K.: *Łączności cyfrowe na falach krótkich*, Biblioteka Polskiego Krótkofalowca, Wiedeń 2011.
- [3] Dąbrowski K.: *Nie tylko fonia i CW. Poradnik dla krótkofalców*. Wiedeń 1998.
- [4] <http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wspr.html>
- [5] <http://hamspots.net/jt9/>

- [6] <https://sites.google.com/site/feldhellclub/Home>
- [7] <http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/JT65.pdf>
- [8] https://pzk.org.pl/readarticle.php?article_id=1
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_code
- [10] Kwestarz W., Pencak Z.: *Metoda oceny trwałości systemu łączności w działaniach wojennych*. Military Arms 96, t. 1, str. 141-150 Gdynia, 1996.
- [11] Laskowski D.: *Żywotność antropotechnicznego system telekomunikacyjnego w aspekcie eksploatacyjnych narażeń destrukcyjnych*. Wyd. WAT Warszawa 2013.
- [12] Military handbook 217 f / 472: *Reliability prediction of electronic equipment and maintainability prediction*, 2 January 1991.
- [13] Military handbook 217 f / 472: *Reliability prediction of electronic equipment and maintainability prediction*, 2 January 1991.
- [14] Sosnowski J.: *Testowanie niezawodności systemów komputerowych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.

Tomasz Wawer M.Sc. Eng. graduated at Warsaw Technical University, Mechatronics. He is server and storage design and implementation specialist. He has been developing his own IT consulting company for 5 years. He is a radioamateur, callsign SQ5RIX. (Share: 40%).

Tadeusz Dąbrowski, Assoc. Prof. PhD, Eng. He works for Institute of Electronic Systems, Faculty of Electronics Military University of Technology. Specialisation: operating theory, especially technical diagnostics of men-machine systems. He is the author/co-author of over 150 publications. (Share: 30%).

Marcin Bednarek, PhD. Eng. works as an assistant professor in the Department of Computer and Control Engineering the Faculty of Electrical and Computer Engineering Rzeszow University of Technology. The main area of his scientific interests includes diagnostics of the human-engineering systems, communication in distributed control systems, reliability and security of the systems. He is the author/co-author of over 100 publications. (Share: 30%).

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI AMATORSKIEJ ŁĄCZNOŚCI KRÓTKOFALARSKIEJ

1. Wstęp

Burzliwy rozwój elektroniki i komputerowych metod sterowania różnorodnymi procesami skutkuje coraz doskonalszymi rozwiązaniami w zakresie techniki i technologii łączności radiowej. Warto zastanowić się jaką rolę pełni (lub może pełnić) łączność krótkofalarska w aktualnej, wysoce profesjonalnej, cyfrowej rzeczywistości. W tym aspekcie – by móc rzeczowo ocenić walory tego typu łączności – należy rozpatrzyć czynniki, które decydują o atrakcyjności łączności radioamatorskiej, a w tym czynniki determinujące niezawodność takiej komunikacji.

Autorom niniejszego opracowania nie są znane opracowania o charakterze naukowym odnoszące się wprost do zagadnienia niezawodności amatorskiej łączności krótkofalarskiej. Można jedynie – przez analogię – odnosić do tego rodzaju aktywności metody szacowania niezawodności stosowane w innych systemach komunikacyjnych jak np. w systemach łączności wojskowej [12, 13], w sieciach komputerowych [14], w systemach łączności satelitarnej.

W kontekście powyższych stwierdzeń autorzy przyjęli, że wiodącym celem niniejszego opracowania jest – poza upowszechnieniem podstawowych informacji o aktualnych metodach łączności krótkofalarskiej - próba oszacowania niezawodności tego typu łączności w oparciu o opisowe definicje niezawodności, które brzmią następująco [1]:

„Nieawodność jest to zdolność do wykonywania wybranych funkcji w wybranych warunkach i w wybranym przedziale czasowym”

lub

„Nieawodność wyraża zaufanie operatora, że obiekt umożliwi wykonanie określonego zadania użytkowego, w określonych warunkach i w określonym przedziale czasowym”

Zgodnie z przytoczonymi definicjami oszacowanie niezawodności procesu łączności wymaga przede wszystkim zdefiniowania czynników, które rzutują na funkcjonalną skuteczność tej łączności. W artykule przedstawione są wyniki rozważań odnoszących się do tego zagadnienia.

2. Ewolucja technik radiolączności amatorskiej

Ruch amatorski rozwija, od ponad stu lat, coraz to nowe sposoby nawiązywania łączności radiowej - dla przyjemności, samokształcenia i współzawodnictwa. Ze względu na swój masowy, hobbystyczny charakter, nieograniczony względami praktycznego uzyskiwania zysku, umożliwia wiele form uczestniczenia w rozwoju technicznym, poznawanie historii, a niekiedy ratuje życie, gdy komercyjne sieci łączności zawodzą.

Bardzo często radioamatorzy są pierwsi na terenach dotkniętych klęskami żywiołowymi, koordynując akcje ratownicze na miejscu katastrof. Przykładem może być trzęsienie ziemi na Haiti, gdzie ksiądz-radioamator koordynował działania służb ratunkowych w warunkach całkowitego zniszczenia sieci komunikacyjnych.

Radiokomunikacja komercyjna i amatorska rozwijały się od początku równolegle. Radioamatorzy na równi z zawodowcami wciąż tworzą nowe i efektywne metody, algorytmy, urządzenia i anteny. Celem tych działań jest doskonalenie metod komunikacji.

Gwałtowny rozwój amatorskiego ruchu krótkofalarskiego nastąpił po pierwszej wojnie światowej. Dziesiątki tysięcy radiotelegrafistów wojskowych powróciło do życia cywilnego. Wielu z nich zdecydowało się na samodzielne eksperymenty z łącznością radiową. Ich aktywność oraz dostępność nowej techniki dla szerokich rzesz społeczeństwa spowodowała powstanie pierwszych stacji radiofonicznych w USA. Sytuacja ta przyczyniła się również do liberalizacji przepisów dotyczących używania urządzeń odbiorczo-nadawczych.

Stworzone zostały podstawy do rozwoju krótkofalarstwa na szeroką skalę.

Największy rozwój ruchu radioamatorskiego w Polsce miał miejsce na terenach dawnych zaborów: austriackiego i pruskiego. Tutaj dostępna była fachowa literatura radiotechniczna. Nic więc dziwnego, że początkowe eksperymenty wykorzystania fal radiowych do łączności amatorskiej odbyły się we Lwowie, Poznaniu i Bydgoszczy.

Należy podkreślić, że w początkowym okresie powstawania polskiego krótkofalarstwa szczególny wkład w jego rozwój wnieśli harcerze.

W 1930 roku rozpoczął działalność Polski Związek Krótkofalowców (PZK) [8].

Wielu radioamatorów walczyło i oddało życie w czasie drugiej wojny światowej, przyczyniając się do zwycięstwa nad państwami Osi. Należy wspomnieć o polskiej radiostacji Błyskawica, nadającej biuletyny informacyjne podczas Powstania Warszawskiego. Nadajnik zbudowany został w 1943 r. w Częstochowie przez krótkofalowca Antoniego Zębika, SP1ZA (ps. "Biegły") oraz Bolesława Drożdża. Działała również mniej znana radiostacja Burza.

Bardzo długi czas, od momentu przesłania informacji przez Popowa i Marconiego, królował alfabet Morse'a i emisja CW, czyli A1A [2, 3]. Niestety, metoda ta, choć bardzo skuteczna, wymaga długiego szkolenia operatorów i jest podatna na błędy. Od samego początku, jeszcze w czasach przed pojawieniem się radia, podejmowano próby zautomatyzowania transmisji dla usprawnienia działania telegrafu. Pojawił się dalekopis, RTTY, najpierw na urządzeniach z perforowanymi taśmami papierowymi, potem oparty o zmodyfikowane maszyny do pisanie.

Tryb RTTY jest używany do dzisiaj w łączności amatorskiej. Jego główną wadą jest brak korekcji błędów.

Równolegle z rozwojem technik łączności rozwijały metody diagnozowania sygnału. W najprostszej formie przybierają one postać raportu. W łączności CW raport został ustandaryzowany i ma postać trzech cyfr, np. 599, co oznacza pełną czytelność, dużą siłę sygnału i czysty dźwięk.

W łączności głosowej stosuje się dwie cyfry, np. 59, czyli pełna czytelność i duża moc. Korygowanie błędów następuje poprzez wysłanie prośby o powtórzenie komunikatu, jest to podstawowa reakcja na błędy zauważone przez operatora odbierającego transmisję.

Bardzo ciekawą metodę transmisji wynalazł w okresie międzywojennym Rudolf Hell. Jego Hellschreiber był pierwszym faxem. Urządzenie wysyłało ciągi kropek i kresek tworzących obraz. W łączności amatorskiej tryb Hell jest używany do dzisiaj i jego popularność ciągle wzrasta. Oczywiście większość radioamatorów używa komputera zarówno do RTTY jak i Hell, w miejsce drogich i zawodnych urządzeń mechanicznych. Choć nadal w eterze można spotkać oryginalne, przedwojenne urządzenia [5].

Radioamatorzy poszukują i eksperymentują z coraz to nowymi sposobami łączności. Upowszechnienie komputerów i obniżenie ceny urządzeń nadawczo-odbiorczych (transceiverów), a także nieustający rozwój techniki antenowej oraz brak skrzepowania ograniczeniami instytucjonalnymi, spowodował powstanie przeróżnych, często nieprawdopodobnych rodzajów łączności i emisji.

Najciekawsze to np. EME i Scatter [7]. EME to odbijanie ultrakrótkich fal radiowych od powierzchni Księżyca. Scatter to odbijanie, a właściwie rozpraszanie fal radiowych na meteorach podczas występowania rojów. Te metody zaowocowały ogromnym rozwojem techniki antenowej, czułości i mocy transceiverów oraz cyfrowych trybów łączności z korekcją danych. Mnogość trybów cyfrowych wynika z różnorodnych zastosowań, specyficznych warunków propagacyjnych, czasu trwania transmisji i inwencji radioamatorów.

3. Charakterystyka łączności cyfrowej

Przy okazji doskonalenia transmisji EME i Scatter powstało kilkanaście odmian i pododmian trybów cyfrowych od JT4 do JT65 dla bardzo słabych sygnałów. Rozwinęły się również półautomatyczne metody badania propagacji, a niejako przy okazji zaczęto stosować te tryby w „normalnej” łączności na falach długich, średnich, krótkich i ultrakrótkich.

Wprowadzono oczywiście kolejne udoskonalenia, na przykład przy EME nie zajmowano się zbyt szerokością pasma, podczas gdy na falach krótkich jak najbardziej.

Powstał aparat matematyczny, który znalazł swoje miejsce w telekomunikacji komercyjnej. Podobnie było z rozwojem urządzeń, czyli transceiverów, anten, tunerów antenowych, wzmacniaczy itd.

Z kolei radioamatorzy chętnie sięgają do rozwiązań tworzonych na potrzeby łączności komercyjnej. W chwili obecnej znaczną popularność zyskuje DMR, przy użyciu transceiverów profesjonalnych.

Łączność w trybie JT9

JT9 [4] jest trybem pracy dostosowanym do nawiązywania łączności na falach długich, średnich i krótkich przy użyciu niewielkich mocy urządzeń nadawczo-odbiorczych (1-10W), przy zastosowaniu kompromisowych anten, w słabych warunkach propagacyjnych. Wszędzie tam, gdzie w zasadzie nie można przeprowadzać żadnych łączności w trybach klasycznych, poza być może CW, które, choć bardzo stare, jest ciągle atrakcyjne.

JT9 wywodzi się z trybu JT65, zaprojektowanego do EME, czyli odbijania sygnałów od powierzchni Księżyca. Zajmuje on jednak 10-krotnie węższe pasmo. 100 sygnałów może się zmieścić w paśmie o szerokości 2kHz, oraz pozwala na dekodowanie nieco słabszych sygnałów. Autor regularnie, choć dość rzadko, dekoduje sygnały słabe, rzędu -27dB (-26dB już bardzo często). Wiąże się to ze zmniejszającym się prawdopodobieństwem zdekodowania sygnału o odstępnie S/N^1 mniejszym od -26dB (dla -26dB jest to ok. 50%).

Należy tu zauważyć, że niezawodność procesu łączności zależy od szeregu czynników, z których ważniejsze to: moc nadajnika, częstotliwość fali radiowej (pasmo), warunki propagacji (np. stan jonosfery), pora roku i pora doby, położenie (wysokość) anteny nadawczo-odbiorczej nad poziomem morza, tryb nadawania (np. JT9).

Struktura stacji nadawczo-odbiorczej na potrzeby JT9

Do budowy stacji niezbędne są: transceiver SSB (niekoniecznie o dużej mocy, najlepiej z możliwością sterowania przez komputer, tzw. CAT), antena (niekoniecznie najlepsza) i komputer. Pożądana jest dobrej jakości karta dźwiękowa. Samodzielnie można wykonać prosty układ separujący transceiver od komputera. Nie jest on konieczny - ale przydatny. Ważnym elementem jest oczywiście oprogramowanie, które zarządza całym systemem. Stacja operatorska (komputer z oprogramowaniem) powinna obsługiwać wszystkie tryby cyfrowe.

Na zdjęciu (rys. 1) pokazany jest autorski zestaw krótkofalarski (poza anteną W3DZZ - dipolową z trapami, która jest na dachu dwupiętrowego budynku).

¹ Odstęp mocy sygnału od mocy szumu S/N (ang. *Signal to Noise ratio*)

Zestaw ten składa się z:

- radia Ten-Tec Argonaut VI,
 - automatycznego tunera antenowego (na samym dole),
 - specjalizowanego interfejsu z kartą dźwiękową,
 - laptopa (np. z systemem linux).
- Połączenie stanowią dwa przewody USB. Z boku widać klucz telegraficzny.

Rys.1. Widok autorskiego zestawu krótkofalarskiego

Sposób nawiązywania łączności w trybie JT9

JT9 działa w następujący sposób: o pełnej minucie rozpoczyna się proces odbiorczy. Komputer inicjuje odbiór z karty dźwiękowej i zapisuje na dysku około 50-sekundowy „utwór” słyszany na paśmie. Przez pozostałe dziesięć sekund sygnały są dekodowane z pliku .wav i wyświetlane, a operator może podjąć decyzję - albo czekać do pełnej minuty i rozpocząć nadawanie CQ (co trwa również ok. 50 sekund), albo próbować nawiązać łączność z jednym z zauważonych krótkofalowców. Trzeba odrobiny wprawy, żeby się zmieścić w tym czasie, do kolejnej pełnej minuty. Zegar komputera musi być dość dokładny ($\pm 0,5s$). W profesjonalnych zastosowaniach używa się do tego serwerów podstawy czasu lub GPS.

Na rysunkach 3, 4 i 5 widać okna programu WSJT-X [2, 5] służące do nawiązywania łączności (rys. 3, 4) i obserwacji pasma (rys. 5). Przykład dotyczy łączności (na czerwono odbiór, na żółto nadawanie) z Davidem (VK7YUN) z Tasmanii. Z kolei na rysunkach 2 i 6 pokazany jest „Grid”, a na rysunku 7 kartka QSL wymienionego korespondenta. Na rysunkach tych widać również efekt „ręcznej” diagnostyki – tekst „@ SRI AGN PLSE?”. Ze względu na małą moc stacji nadawczej (8W) część porcji informacji uległa uszkodzeniu ale była widoczna na „waterfall’u”.

Rys. 2. Ilustracja obszarów „Grid”

Rys.3. Przykładowe okno (na ekranie komputera) z informacją o właściwościach propagacji

Rys. 4. Okno programu WSJT-X do wykonywania łączności w JT9, JT65 i JT4

Rys. 5. Okno z widokiem pasma (waterfall), czerwone linie pionowe to obraz docierającej emisji JT9

Rys. 6. Położenie geograficzne Davida, VK7YUM

Rys. 7. Karta QSL z potwierdzeniem łączności z Tasmanią

JT9 jest zaprojektowany do wykonania minimalnego QSO, gdy wymienia się znaki, raport (w postaci stosunku S/N – czyli stosunek „sygnał/szum” podawany w dB) oraz położenie geograficzne. Na koniec jest potwierdzenie i „73” – pozdrowienia. Przykład typowego QSO prezentuje tabela 1.

Tabela 1. Typowy QSO – przykład 1

Etap	Odbiór	Nadawanie
1	CQ VK7YUM QE38	
2		VK7YUM SQ5RIX KO02
3	SQ5RIX VK7YUM -21	
4		VK7YUM SQ5RIX R-22
5	SQ5RIX RR 73	
6		8W DIP TU 73

Kodowanie i algorytmy korekcji błędów

Wiadomość (maksymalnie 13 znaków ASCII) jest przygotowana do transmisji w postaci zakodowanego 72-bitowego ciągu. Przykład zrealizowano dla wywołań: CQ SQ5RIX KO02 i CQ SQ5RIX KO03, gdzie:

- CQ - wywołanie,
- SQ5RIX - znak autora
- KO02 - obszar geograficzny, gdzie znajduje się stacja (tzw. Grid).

Kontrola błędów jest zaimplementowana w postaci kodu konwolucyjnego (splotowego). Jest to wielomian binarny, przesuwany wzdłuż wiadomości, bit po bicie. W wyniku działania tego kodu otrzymuje się wiadomość o długości 206 bitów. Aby przesłać tę wiadomość, należy wybrać dla niej modulację. Stosuje się modulację 9-FSK, 9-tonową, gdzie osiem tonów jest użytych dla danych, a jeden dla synchronizacji. Transmisja wiadomości polega na kolejnym przesyłaniu tych 9 tonów – modulacja częstotliwościowa [9].

Na przykładzie 2. (listing 1) - można porównać jakie tony (od 0 do 9, 0 to synchronizacja) są wysłane w przypadku dwóch wiadomości różniących się tylko jednym znakiem na końcu. Widać, jak skutecznie działa kod konwolucyjny, dający bardzo różne wyniki końcowe przy minimalnej zmianie tekstu.

Listing 1 - przykład 2

tom@A300: jt9code "CQ SQ5RIX KO02"		
Message	Decoded	Err?

CQ SQ5RIX KO02	CQ SQ5RIX KO02	1: Std Msg
Channel symbols		
007205633044453028714608742637		
150507726366332351680085051840		
3661206367570734643682010		
tom@A300: jt9code "CQ SQ5RIX KO03"		
Message	Decoded	Err?

CQ SQ5RIX KO03	CQ SQ5RIX KO03	1: Std Msg
Channel symbols		
007805623043432028114602742437		
130507726466232381670055057550		
3461304257660836633482040		

Przesłanie każdego symbolu trwa 6912 interwałów (przy 12000 próbek na sekundę). Daje to ok. 0,576 sekundy, czyli 1,736 Hz szerokości impulsu. W związku z tym zajętość pasma wynosi $9 \times 1,736 = 15.6$ Hz. Dla porównania sygnał CW zajmuje około 700-900Hz.

Proces dozoru łączności jest dwustopniowy: najpierw sprawdzana jest korekta błędów tzn. czy odebrany sygnał jest prawidłowy. Odbywa się to automatycznie podczas dekodowania sygnału. Następnie operator czyta tekst i stwierdza, czy nie jest on uszkodzony lub bezsensowny.

Jednocześnie, prawie każdy radioamator pracujący w trybie JT9 (a także w każdym innym cyfrowym i nie tylko) automatycznie wysyła odkodowane przez siebie znaki do centralnej bazy. Rysunek 8 zawiera wizualizację danych (zrzut okna aplikacji) takiej bazy w wybranym czasie łączności w trybie JT9 (przedział 15-minutowy). Na tej podstawie operator wnioskuje o warunkach panujących w danej chwili w jonosferze i podejmuje decyzję o zdolności danego pasma do pracy. W ten sposób niejako diagnozowany jest stan jonosfery.

Rys. 8. Stacje nadające i odbierające emisję JT9 – wzajemne „wykrycia”
w paśmie 40m [4]

Nie są to kompletne procesy łączności, a jedynie obraz (internetowy) faktu odsłuchania konkretnej stacji przez inne (typowa sytuacja w nocy, na jesieni). Dzięki dość dobrej propagacji fal często słychać również Japonię, Koreę, Chiny, a także kraje wysp Pacyfiku.

4. Propozycja formalnego zapisu funkcji niezawodności

Wychodząc z definicji niezawodności podanych we wstępie, można niezawodność łączności radiowej wyrazić ogólnie na przykład jako funkcjonął:

$$R(D) = f[R(W1), R(W2), R(W3), R(W4), R(W5), R(W6), R(W7), \dots] \quad (1)$$

gdzie:

D – odległość do potencjalnie identyfikowalnej (tj. zdolnej do skomunikowania się) radiostacji;

$R(W1)$ – niezawodność łączności w funkcji mocy nadajnika;

$R(W2)$ – niezawodność łączności w zależności od typu anteny;

$R(W3)$ – niezawodność łączności w zależności od wysokości anteny nad poziomem morza;

$R(W4)$ – niezawodność łączności w zależności od trybu nadawania;

$R(W5)$ – niezawodność łączności w funkcji długości fali;

$R(W6)$ – niezawodność łączności w zależności od pory doby;

$R(W7)$ – niezawodność łączności w funkcji warunków propagacji;

.....

itd.

Miarą – tak interpretowanej niezawodności – może być liczba potencjalnie identyfikowalnych radiostacji w określonym przedziale dystansu D :

$$L_D = f(D) \quad (2)$$

Oszacowanie niezawodności łączności – opisanej wyrażeniami (1) oraz (2) – wymaga przeprowadzenia czasochłonnych badań w warunkach rzeczywistych [11, 12, 13]. Fragmenty wyników zrealizowanego eksperymentu przedstawia tabela 2 oraz wykres na rysunku 9. Mała liczba połączeń w zakresie dystansu 4-6 tys. km wynika z faktu, że w tej odległości od Warszawy znajdują się głównie tereny morskie i lądowe niezamieszkałe.

Podstawowe parametry (warunki) eksperymentu:

W1 – moc nadajnika: (1 ÷ 10) W;

W2 – typ anteny: W3DZZ;

W3 – położenie (wysokość) anteny n.p.m.: 140m;

W4 – tryb nadawania: JT9;

W5 – długość fali: (20 ÷ 40) m;

W6 – wersja oprogramowania radiostacji: WSJT-X.

Tabela 2. Zestawienie najlepszych osiągnięć w nawiązywaniu łączności w kolejnych dobach eksperymentu

Lp.	Data	Liczba potwierdzonych połączeń	Uzyskany maksymalny dystans połączenia [km]	GRID	Kraj
1	1.12.2015	172	8098	OK03gr	Tajlandia
2	2.12.2015	109	8747	EM22le	USA, Texas
3	3.12.2015	36	1692	IO73tj	Walia
4	4.12.2015	49	8264	PM53fp	Japonia, Fukuoka
5	5.12.2015	92	8244	EM62wi	USA, Alabama
6	6.12.2015	54	1696	IO75qn	Szkocja
7	7.12.2015	27	2131	JM08pw	Hiszpania, Ibiza
8	8.12.2015	29	1822	IO65qe	Irlandia Północna
9	9.12.2015	31	7724	HI39	Brazylia
10	10.12.2015	31	13347	OF86td	Australia Zachodnia
11	11.12.2015	39	2302	IN70xp	Hiszpania, Madryt
		Suma: 670

Rys.9. Ilustracja zależności liczby L_D potwierdzonych połączeń od odległości D między nadawcą a odbiorcą z podziałem na strefy o szerokości 2 tys. km

5. Podsumowanie

Opracowanie akcentuje aspekty niezawodnościowe łączności realizowanej w ramach amatorskiego ruchu radiokomunikacyjnego. Wskazuje na główny motyw rozwoju tego ruchu sprowadzający się do permanentnych starań o poprawę jakości i niezawodności każdej formy łączności. W efekcie podejmowanych działań powstały (i nadal są opracowywane) narzędzia do badania stanu jonosfery i jakości propagacji, które mają zasadnicze znaczenie dla poprawy niezawodności łączności, szczególnie dalekich.

Artykuł koncentruje się na jednym z najnowszych trybów cyfrowej łączności amatorskiej - JT9. Charakteryzuje się on wysoką skutecznością, imponującym zasięgiem i prostotą użycia. Należy pamiętać, że działalność krótkofalarska, aczkolwiek pełni ważną społeczną rolę, to jednak bazuje wyłącznie na oddolnym ruchu hobbistycznym. A to oznacza, że nie dysponuje odpowiednimi środkami aby działalność tę poddawać profesjonalnym analitycznym procesom ocenowym. Nie ma zresztą w środowisku radioamatorów poczucia by było to potrzebne. Jakość łączności krótkofalarskiej ocenia się przede wszystkim intuicyjnie w oparciu o praktyczne doświadczenia. W tym kontekście jakakolwiek propozycja oceny niezawodności wykorzystująca naukowy formalizm jest – jak sądzą autorzy – godna uwagi.

6. Literatura

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Podstawy eksploatacji, cz. 2. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wyd. WAT, 2006.
- [2] Dąbrowski K.: *Łączności cyfrowe na falach krótkich*, Biblioteka Polskiego Krótkofalowca, Wiedeń 2011.
- [3] Dąbrowski K.: *Nie tylko fonia i CW. Poradnik dla krótkofalowców*. Wiedeń 1998.
- [4] <http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wspr.html>
- [5] <http://hamspots.net/jt9/>
- [6] <https://sites.google.com/site/feldhellclub/Home>
- [7] <http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/JT65.pdf>
- [8] https://pzk.org.pl/readarticle.php?article_id=1
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_code
- [10] Kwestarz W., Pencak Z.: *Metoda oceny trwałości systemu łączności w działaniach wojennych*. Military Arms 96, t. 1, str. 141-150 Gdynia, 1996.
- [11] Laskowski D.: *Żywotność antropotechnicznego system telekomunikacyjnego w aspekcie eksploatacyjnych narażeń destrukcyjnych*. Wyd. WAT Warszawa 2013.

- [12] Military handbook 217 f / 472: *Reliability prediction of electronic equipment and maintainability prediction*, 2 January 1991.
- [13] Military handbook 217 f / 472: *Reliability prediction of electronic equipment and maintainability prediction*, 2 January 1991.
- [14] Sosnowski J.: *Testowanie niezawodności systemów komputerowych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.

dr hab. inż. Tadeusz Dąbrowski jest profesorem nadzwyczajnym na Wydziale Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się w obszarze teorii eksploatacji – głównie na diagnostyce technicznej. Do ważniejszych zagadnień, którymi się zajmuje należą: diagnostyka obiektów technicznych i systemów antropotechnicznych (głównie w aspekcie użytkowym i bezpieczeństwa); optymalizacja procesów diagnostyczno-obslugowych; komputerowe wspomaganie procesu diagnostyczno-obslugowego; niezawodność eksploatacyjna obiektów. (Udział: 30%).

dr inż. Marcin Bednarek pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Informatyki i Automatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Główny obszar jego zainteresowań naukowych to: diagnostyka systemów antropotechnicznych, komunikacja w rozproszonych systemach sterowania, niezawodność i bezpieczeństwo systemów. Jest autorem/współautorem ponad 100 publikacji. (Udział: 30%).

mgr inż. Tomasz Wawer jest absolwentem Politechniki Warszawskiej, Wydziału Mechatroniki. Jest specjalistą w zakresie projektowania i implementacji informatycznych projektów infrastruktury serwerowej i macierzowej. Od 5 lat rozwija własną firmę konsultingu IT. Prywatnie jest pasjonatem technik krótkofalarskich, znak SQ5RIX. (Udział: 40%).