

АНОТАЦІЯ

Олексюк В.В. Математичне та програмне забезпечення дослідження завадостійкості цифрових модемів з шумовими сигналами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення». – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2020.

Актуальність розробок математичного та програмного забезпечення дослідження цифрових модемів з шумовими сигналами викликана потребою покращення результатів оцінювання характеристик завадостійкості цифрових модемів зі складними сигналами. За останні кілька десятиліть увагу дослідників привернули системи зв'язку з надшироким спектром сигналу, зокрема з використанням хаотичного та шумового сигналу в якості несучої. Розвиток цифрових технологій спростив практичну реалізацію таких систем. На сучасному етапі недостатня розвиненість методики оцінювання потенційної завадостійкості цифрових систем з шумовою носійною призводить до наявності суттєвих похибок у розрахунках. Зокрема це проявляється у значних розходженнях між емпіричними та теоретичними оцінками завадостійкості таких систем. Тому виникає потреба у розробці нових підходів до математичного моделювання та проектування програмного забезпечення процесів аналізу та імітаційного моделювання цифрових модемів для отримання потенційної оцінки завадостійкості таких систем.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-технічної задачі, що полягає в підвищенні точності оцінки характеристик демодуляторів цифрових модемів з шумовими сигналами за рахунок розробки математичного та програмного забезпечення моделювання процесу оцінювання їх завадостійкості. Розробка відповідного математичного та програмного забезпечення дає змогу інженерам з'ясувати перспективність розробки системи на етапі проектування, а на етапі реалізації вибрати оптимальні параметри системи в умовах дії завад різного походження.

В роботі використовується об'єктно-орієнтований підхід опису процесу проектування архітектури програмного забезпечення дослідження завадостійкості цифрових модемів з шумовими сигналами за допомогою уніфікованої мови моделювання (UML). Даний підхід дозволив удосконалити метод проектування програмного забезпечення імітаційного моделювання процесу оцінювання завадостійкості цифрових модемів з шумовими сигналами та забезпечити ефективніший супровід імітаційної моделі. За допомогою мови програмування Java виконано об'єктно-орієнтовану реалізацію досліджуваних моделей цифрових модемів.

Розроблено у середовищі програмування та запатентовано структурну схему модему множинного доступу із кореляційно-часовою модуляцією шумового сигналу для $K \geq 2$ користувачів. У патенті проведена модифікація таким чином, що на стороні модулятора еталонний сигнал зменшений в $(K-1)$ разів по потужності відносно запатентованого прототипу, та збільшена завадостійкість приймача за рахунок зменшення негативного впливу еталонної складової сигналу як системної завади для K користувачів.

Удосконалено метод пошуку мінімальної кількості відліків аналогово-цифрового перетворювача шумового сигналу для заданого рівня відношення сигнал/завада. Даний метод дозволяє шляхом застосування експоненційної регресії підвищити ефективність програмної реалізації цифрового модему за рахунок зменшення ймовірності помилки біту та збільшення швидкості передачі для різного рівня заводських обставин в модемі множинного доступу з кореляційно часовою маніпуляцією шумового сигналу. Збільшення швидкості передачі відбувається за рахунок зменшення довжини тактового інтервалу для обраного значення перевищення сигнал / завада на вході демодулятора. Виконується аналіз завадостійкості та розробляються методи математичного моделювання процесу оцінювання завадостійкості цифрового модему множинного доступу з кореляційно часовою маніпуляцією шумового сигналу та бінарного модему з фазовою маніпуляцією шумового сигналу. Розроблено програмне забезпечення, що спрощує процес вибору оптимальних параметрів цих демодуляторів. Для перерахованих модемів в якості носія інформації

використовується шумовий сигнал типу білого гауссового шуму та автокореляційний метод прийому сигналів демодулятором в каналі де діє адитивна гауссова завада.

Дослідження завадостійкості систем автокореляційного типу в більшості випадків проводять з використанням гауссової апроксимації випадкових величин (ВВ) в демодуляторі. Вплив наявності в демодуляторі негауссового розподілу ВВ розглядається вперше для підвищення точності теоретичної оцінки завадостійкості системи. В дослідженні використовуються дві методики оцінювання завадостійкості, що враховують складові з різними законами розподілу ймовірностей у функціоналі порогового детектора:

1) врахування негауссового (квадратичного) розподілу в демодуляторі кореляційно часових модемів бінарного та множинного доступу. На відміну від існуючих методів враховує негауссовий закон розподілу складових, що дає змогу отримати нові аналітичні закономірності обчислення уточненої завадостійкості;

2) застосування апарату характеристичної функції в аналізі бінарних модемів з кореляційно часовою та фазовою маніпуляцією шумового сигналу, що на відміну від існуючих методів гауссової апроксимації ВВ дозволяє застосувати закони теорії імовірності для функціональних перетворень ВВ та отримати аналітичні вирази для обчислення потенційної завадостійкості демодуляторів.

Проведений аналіз завадостійкості модему множинного доступу з урахуванням впливу вхідних складових сигналу, що апроксимовані гауссовим та χ^2 -квадрат законами розподілу ймовірностей. Вперше розроблено метод математичного моделювання процесу оцінювання завадостійкості демодулятора цифрового модему з шумовими сигналами, що враховує квадратичний розподіл випадкової величини демодулятора. На відміну від відомих аналогів цей метод враховує негауссовий закон розподілу складових, що дає змогу підвищити точність оцінки завадостійкості багатопозиційного модему з кореляційно часовою маніпуляцією шумового сигналу.

Вперше виконано математичне моделювання процесу оцінювання завадостійкості модему з використанням апарату характеристичних функцій ВВ

для бінарного модему з кореляційно часовою маніпуляцією шумового сигналу, що на відміну від існуючих аналогів дозволяє підвищити точність оцінки завадостійкості модему та отримати аналітичні вирази для обчислення потенційної завадостійкості демодулятора за рахунок врахування негауссовості функції розподілу випадкових величин. На відміну від існуючих методів опису з апроксимацією їх гауссовими випадковими величинами це дозволяє враховувати негауссовість функції розподілу ВВ та отримати кінцеві аналітичні вирази для обчислення потенційної завадостійкості демодулятора, що призводить до зменшення розбіжностей між теоретичними та експериментальними даними визначення ймовірності помилки.

Отримав подальший розвиток метод математичного моделювання процесу оцінювання завадостійкості з використанням характеристичних функцій. Цей метод за рахунок врахування негауссовості функції розподілу випадкових величин дозволяє отримати аналітичні вирази для точної оцінки потенційної завадостійкості демодулятора для модему з фазовою маніпуляцією шумового сигналу.

На основі проведеного аналізу розроблено математичне забезпечення, що дає змогу визначити аналітичну залежність завадостійкості цифрових демодуляторів досліджуваних модемів від параметру сигнал/завада та кількості відліків вхідного сигналу на тактовому інтервалі.

Ключові слова: автокореляційна система зв'язку, бінарний модем, імітаційне моделювання, кореляційно-часова маніпуляція, множинний доступ, програмне забезпечення, фазова маніпуляція, характеристична функція, шумовий сигнал.

SUMMARY

Oleksiuk V.V. Mathware and software for bit error rate research of digital modems with noise signals. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis on competition of a scientific philosophy doctor degree in specialty 121 Software engineering. – Cherkassy State Technological University, Cherkassy, 2020.

The urgency of the development of mathware and software research of digital modems with noise signals is caused by the need to improve the results of bit error rate (BER) estimation characteristics of digital modems with complex signals. Over the last few decades, researchers have been drawn to ultra-wide signal communication systems, including the use of chaotic and noise signals as a carrier. The development of digital technologies has simplified the practical implementation of such systems. At the present stage, the underdevelopment of the methodology for estimating the potential BER of digital systems with noise carrier leads to the presence of significant errors in the calculations. In particular, this is manifested in significant differences between empirical and theoretical estimates of BER of such systems. Therefore, there is a need to develop new approaches to mathematical modeling and software design processes for analysis and simulation of digital modems to obtain a potential estimate of BER of such systems.

The thesis is aimed at solving the current scientific and technical problem, which is to increase the accuracy of estimating the characteristics of digital modems' demodulators with noise signals through the development of mathware and software modeling of the estimating process their bit error rate. Development of appropriate mathware and software allows engineers to determine the prospects for the development of the system at the design stage, and at the implementation stage to select the optimal parameters of the system under conditions of interference of various origins.

The work uses an object-oriented approach to describe the process of designing the software architecture for bit error rate research of digital modems with noise signals using a unified modeling language (UML). This approach allowed to improve

the method of designing software for simulation of the estimating process the BER of digital modems with noise signals and to provide better simulation model support. Using the Java programming language, an object-oriented implementation of the studied models of digital modems was performed.

A block diagram of a multiple access modem with correlation-time manipulation of the noise signal for $K \geq 2$ users is developed in integrated development environment and patented. The patent modifies in the way that on the modulator side the reference signal is reduced by $(K-1)$ times the power relative to the patented prototype and decrease bit error rate of the receiver by reducing the negative impact of the reference component of the signal as system interference for K users.

The method of finding the minimum number of samples of the analog-to-digital converter of a noise signal for the set level of the signal-to-noise ratio (SNR) is improved. This method allows increasing the efficiency of software implementation of a digital modem by applying exponential regression by reducing the probability of bit error and increasing the transmission rate for different levels of interference in a multiple access modem with correlated time manipulation of the noise signal. The increase transmission rate occurs by reducing the length of samples for the selected value of the SNR at the input of the demodulator. BER analysis is performed and methods of mathematical modeling of the BER estimation process of digital multiple access modems with correlation-time noise signal manipulation and binary modem with phase noise signal manipulation are developed. Software has been developed that simplifies the process of selecting the optimal parameters of these demodulators. For the listed modems as the information carrier the noise signal of type of white Gaussian noise and the autocorrelation method of reception of signals by the demodulator in the channel where the additive Gaussian noise operates is used.

Investigations of BER of autocorrelation type systems in most cases are carried out using a Gaussian approximation of random variables (RV) in a demodulator. The influence of the presence of a non-Gaussian explosive distribution in a demodulator is considered for the first time to increase the accuracy of the theoretical assessment of the BER of the system.

The study uses two methods for estimating BER, taking into account components with different laws of probability distribution in the functionality of the threshold detector:

1) Taking into account the non-Gaussian (quadratic) distribution in the demodulator of correlation time modems of binary and multiple accesses. In contrast to the existing methods, it takes into account the non-Gaussian law of component distribution, which makes it possible to obtain new analytical regularities for calculating the specified BER;

2) application of the characteristic function apparatus in the analysis of binary modems with correlation time and phase manipulation of the noise signal, which in contrast to the existing methods of Gaussian approximation of explosives allows to apply the laws of probability theory for functional transformations of explosives and obtain analytical expressions.

The BER analysis of the multiple access modems is carried out taking into account the influence of the input components of the signal, which are approximated by the Gaussian and Chi-square probability distribution laws. For the first time, a method of mathematical modeling of the estimate process of BER of a digital modem demodulator with noise signals was developed, which takes into account the quadratic distribution of the random variable demodulator. In contrast to the known analogues, this method takes into account the non-Gaussian law of component distribution, which allows increasing the accuracy of estimating the BER of a multiposition modem with correlation-time manipulation of the noise signal.

For the first time, mathematical modeling of the process of estimating modem BER was performed using the apparatus of characteristic RV functions for binary modem with correlation-time noise signal manipulation, which, unlike existing analogues, allows increasing the accuracy of BER estimation and obtaining analytical expressions to calculate potential distribution of random variables. In contrast to the existing methods of description with approximation of their Gaussian random variables, this allows to take into account the non-Gaussian function of the explosive distribution and obtain final analytical expressions to calculate the potential BER of

the demodulator, which reduces discrepancies between theoretical and experimental data.

The method of mathematical modeling of the BER estimation process was further developed using characteristic functions. This method takes into account analytical non-Gaussian distribution function of random variables to accurately estimate the potential BER of the demodulator for modem with phase noise signal manipulation.

Based on the analysis, mathware is developed, which allows determining the analytical dependence of BER of digital demodulators of the studied modems on the SNR parameter and the number of samples of the input signal on the clock interval.

Keywords: autocorrelation communication system, binary modem, characteristic function, correlation-time manipulation, multiple access, noise signal, phase manipulation, simulation, software.

Список опублікований праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Первунінський С.М., Олексюк В.В. Аналіз бінарного цифрового модема шумових сигналів з урахуванням впливу квадратичної складової демодулятора // С. М. Первунінський, В. В. Олексюк. – Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2018. – № 1. – С. 35-40.

2. Пат. 123726 Україна, МПК Н04В 7/00. Пристрій для передачі даних шумовими сигналами від К користувачів / С. М. Первунінський, В. В. Олексюк; власник Черкаський державний технологічний університет – № u201707998; заявл. 31.07.2017; опубл. 12.03.2018, Бюл.№ 5.

3. Первунінський С.М., Олексюк В.В. Завадостійкість модема множинного доступу шумових сигналів з урахуванням впливу квадратичної складової/ С. М. Первунінський, В. В. Олексюк // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2019. – № 2. – С. 60–68.

4. Первунінський С. М., Олексюк В.В. Оцінка завадостійкості бінарного модему шумових сигналів методом характеристичних функцій/ С. М. Первунінський, В. В. Олексюк // Вісник Університету «Україна». Серія: інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика, 2019. – №2(23). – С. 54–62.

5. Первунінський С. М., Олексюк В.В. Програмне забезпечення системи автоматизованого керування імітаційною моделлю модемів з шумовими сигналами/ С. М. Первунінський, В. В. Олексюк // Вісник інженерної академії України, 2019. – №4. – С. 105–109.

Стаття у періодичному науковому виданні Угорщини

6. Pervuninsky S., Metalap V., Oleksjuk V. Analysis noise immunity of the binary digital modem with signals type noise using the characteristic function method/ S.M. Pervuninsky, V.V. Metalap, V.V. Oleksjuk // Magyar Tudományos Journal – 2019. – № 35. – С. 60–64.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. С. М. Первунінський, В. В. Олексюк. Завадостійкість бінарного цифрового модему шумових сигналів з врахуванням впливу квадратичної складової демодулятора / С. М. Первунінський // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2018): Черкаси: ЧДТУ, 2018. – С.141–142.

8. С. М. Первунінський, В. В. Олексюк. Аналіз завадостійкості модему множинного доступу шумових сигналів з врахуванням впливу квадратичної складової демодулятора / С. М. Первунінський // Збірник матеріалів доповідей та тез II міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (PCSITS-2019): Київ: 2019. – С. 38-40.

9. С. М. Первунінський, В. В. Олексюк. Аналіз завадостійкості модему множинного доступу шумових сигналів з врахуванням впливу квадратичної складової демодулятора. / С. М. Первунінський //Матеріали I міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси» (ІМТСК-2019): Черкаси: 2019. – С. 47-49.

10. В. В. Олексюк. Експериментальна завадостійкість макету бінарних цифрових модемів шумових сигналів // Тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2020): Черкаси: ЧДТУ, 2020. – С.75–76.