

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/YBCY7199>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/XKHS5012>

**А. Д. Адамова¹, *Ж. О. Оралбекова², М. Г. Жартыбаева³,
Н. Ұзаққызы⁴**

¹Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

e-mail : oralbekova@bk.ru

АҚПАРАТТЫ КЕДЕРГІГЕ ОРНЫҚТЫ КОДТАУ ӘДІСІ – ТУРБО-КОДТАРДЫ ЗЕРТТЕУ

Қазіргі таңда цифрлық байланыс пен электронды техникада жиі қолданылатын кедергіге орнықты кодтардың бірі – турбо-кодтар болып табылады. Бұл кодтардың даму тарихы отыз жылдан астам уақытты құрайды. Турбо-кодтарды қолданудың өзектілігі бұл кодтардың көмегімен Шеннон шегіне жақын қателерді түзетуге мүмкіндікке қол жеткізумен анықталады. Турбо-кодтар 3G мен 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде пайдаланылды. Бұл стандарттар мобильдік интернеттің пайда болуына септігін тигізді. Бұл ғылыми мақалада кедергіге орнықты кодтардың бірі болып саналатын турбо-кодтар қарастырылып, зерттелді. Оралған турбо-кодтардың компьютерлік моделі құрылды. Ол үшін MatLAB қолданбалы программалар пакетімен интеграцияланған Simulink программалау графикалық ортасы қолданылды. Гаусс арнасының математикалық моделі жасалып, Гаусс арнасындағы турбо-кодтаушының компьютерлік моделі құрылды. Гаусс арнасы ретінде Гаусс шуылы қосылған байланыс арнасы алынды. Цифрлы фазалық модуляцияның екілік түрі қолданылып, бірнеше итерацияның көмегімен жүзеге асырылды. Әр түрлі итерациядағы өнімділік графикалық түрде көрсетілді. 3G және 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде турбо-кодтардан басқа LDPC кодтары пайдаланылғанын ескере отырып, бұл жұмыстың жалғасы ретінде келешекте LDPC кодтарды зерттеу жұмыстары жүргізіледі.

Кілтті сөздер: ақпаратты қорғау, кедергіге орнықты кодтау, итерациялық кодтау, турбо-код, байланыс арнасы

Кіріспе

Қазіргі таңда турбо-кодтар – цифрлық байланыс пен электрондық техникада қолданылатын кедергіге орнықты кодтардың бірі. Бұл классқа жататын кодтар арқылы қателерді тиімді түзетуге және турбо-кодтардың деректерді максималды тез жылдамдықпен жіберу мүмкіндігі бар болғандықтан спутниктік байланыста да қолданысқа ие. Турбо-кодтар 3G және 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде пайдаланылды. Бұл стандарттар мобильдік интернеттің пайда болуына септігін тигізді. Сол себептен сымсыз деректерді тасымалдау стандартына сәйкес турбо-кодтар 5G бөлігі болып есептеледі.

Турбо-кодтардың отыз жылдық тарихы бар деуге болады. Бұл кодты алғашқы рет ақпараттар теориясымен айналысатын теоретик-ғалым емес, электроникамен айналысатын инженер ойлап тапты [1]. Сол уақыттан бері турбо-кодтарға қызығушылық артқан себебі, ол Шеннон шегіне жақын қателерді түзету мүмкіндігіне қол жеткізе алады. Турбо-код интерлевер арқылы параллель қосылған екі салыстырмалы түрде қарапайым құралған оралған кодтаушыларды пайдалану арқылы кодтауда маңызды ұтысты қамтамасыз етеді [2, 3]. К. Рамасами, Б. Б аламуралигара мен М. У.Сиддикви 3G жүйелеріне арналған асимметриялық турбокодтаушылардың жаңа классын ұсынып, оңтайлы сұлбасын жасады [4]. К. Вэй, Х. Гуйжюн мен Д. Квинг көп режимді оптикалық талшықты байланыс жүйесінде бит бойынша қателік жиілігін төмендету үшін турбо-кодты қолдануды ұсынды. Олар Simulink ортасында модельдеу жүйесін құрастырды. Жүйеге сүйене отырып, турбо-коды бар жүйені екі типтік кодтау сұлбасымен – оралған код пен тізбектелген каскадтық коды бар жүйелермен салыстырды. Салыстыру нәтижесі турбо-кодталған жүйенің басқа екі жүйеге қарағанда бит бойынша қателік жиілігі төмен екенін көрсетті [5].

Қабылдағыштағы қателерді тікелей түзету кодының параметрлерін бағалау маңызды рөл атқарады. Цифрлы байланыс жүйелері мен деректерді сақтау жүйелерінде төмен деңгейлі қателерге қол жеткізу үшін бірнеше оралған кодтардың параллельді біріктірілуі болып табылатын оралған турбо-кодтар қолданылады. Р. Сваминатан мен А. С. Мадхукмар кодтық параметрлерді соқыр бағалауға және шулы сценарийге сәйкес оралған турбо-кодтаушыны қайта құруға арналған алгоритмдер ұсынды. Оралған турбо-код интерлевермен екі құрамдас кодтар арқылы жасалды. Композиттік кодтар ретінде рекурсивті жүйелі оралған кодтар қолданылды. Параметрлерді бағалау дәлдігі тұрғысынан авторлармен ұсынылған алгоритмдердің өнімділігі модуляция ретінің, код жылдамдығының және шектеу ұзындығының әртүрлі мәндері үшін зерттелді [6].

Бұл мақаланың мақсаты: кедергіге орнықты турбо-кодтарды зерттеу, оның Simulink программалау графикалық ортасында компьютерлік моделін құру.

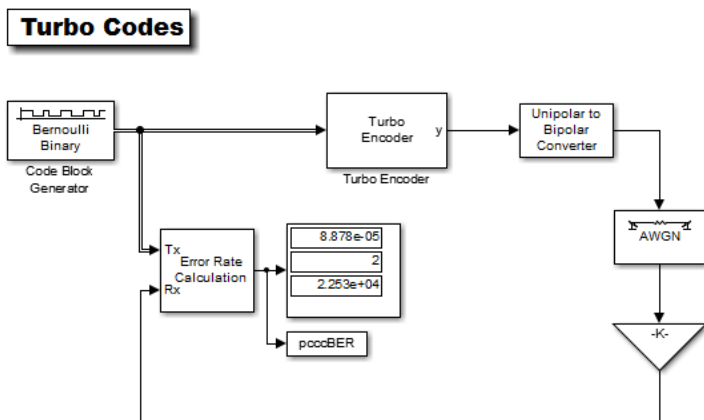
Турбо-кодтардың моделін құру үшін Simulink пакеті таңдап алынды, себебі Simulink – құрылғыларды көрнекі математикалық модельдеу пакеті болып табылады [7]. Бұл ортада құрылғылар мен жүйелерді нақты уақыт режимінде модельдеу мүмкіндігі бар. Программалық құрал ретінде Simulink визуалды бағытталған программалау тілдерінің қатарына жатады, оның маңызды артықшылығы оның тек MatLAB жүйесімен ғана емес, сонымен қатар бірқатар кеңейтілім пакеттерімен интеграциясы имитациялық модельдеу мен оқиғаларды модельдеудің кез келген тәжірибелік есептерін шешу үшін қолдануға болады. Simulink мүмкіндіктері ғылым мен техниканың барлық салаларындағы күрделі динамикалық жүйелерді математикалық модельдеу есептерін қамтиды.

Материалдар мен әдістер

Модельденетін құрылғылардың функционалды блок-сұлбасын құру үшін Simulink-те блок-құраушылардың кең ауқымды кітапханасы мен ыңғайлы блок-сұлба редакторы бар. Simulink - пайдаланушының графикалық интерфейсіне негізделген және визуалды-бағдарланған типтік программалау құралы болып табылады [7]. Оның зерттеуге және өзгертуге ашық, кең ауқымды, компоненттер кітапханасы бар. Ол кез келген уақытқа тәуелді эсер ету көздерін, әр түрлі тасымалдау сипаттамалары бар сызықтық және бейсызықты түрлендіргіштерді, кванттау құрылғысын, интегралдау және дифференциалдау блоктарын қамтиды. Кітапханада виртуалды жазу құрылғыларының тұтас жиынтығы бар: вольтметр немесе амперметр сияқты қарапайым өлшегіштерден бастап әмбебап осциллографтарға дейін токтар мен кернеулер, орын ауыстырулар, қысымдар секілді модельдеу жүйелерінің шығыс параметрлерінің уақытқа тәуелділігін көруге мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау

Турбо кодтар – қазіргі заманғы байланыс жүйелеріне арналған кедергіге орнықты кодтау әдістерінің бірі. Турбо кодтарды құрудың екі тәсілі бар: тізбектеп және параллельді қосу арқылы турбо-кодтар түзіледі. Кемінде екі кодтаушыларды тізбектеп қосу арқылы оралған турбо-кодтар түзіледі. 1-суретте Simulink программалау графикалық ортасында құрылған оралған турбо-кодтаушының моделі келтірілген.



Сурет 1 – Оралған турбо-кодтаушы моделі

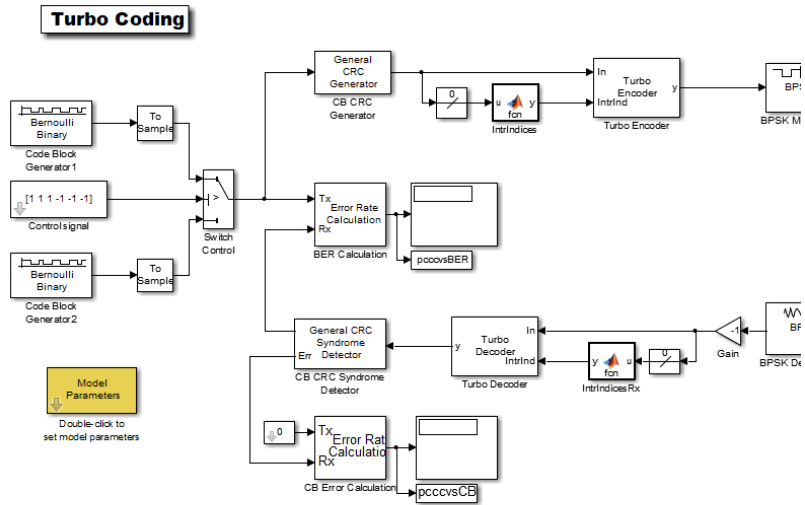
Ең маңызды үздіксіз әліпбиі бар арналардың бірі – Гаусс арнасы болып табылады. Гаусс арнасы дегеніміз ақ гаусс шуылы қосылған (AWGN, Additive white Gaussian noise) байланыс арнасын айтады. Бұл Гаусс арнасын алғаш рет Шеннон [8] қарастырды. [9] жұмыстың авторлары көптеген шекті құрылғыларда турбокодты декодтау өнімділігіне шудың әсерін зерттеді. Зерттеу нәтижесі шудың арнаны кодтауға және декодтауға пайдалы әсерін тигізетінін көрсетті.

Гаусс арнасының математикалық моделін келесідей сипаттауға болады:

$$A(t) = B(t) + C(t) \quad t \geq 0,$$

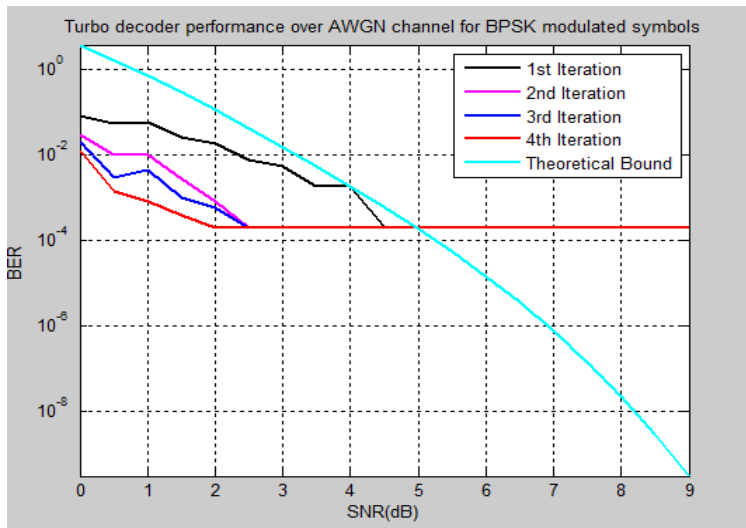
мұндағы $A(t) = B(t)$, – каналдың кірісінде, шығысындағы сигнал, ал $C(t)$ – шуыл.

2-суретте Гаусс арнасындағы турбо-кодтаушының моделі келтірілген.



Сурет 2 – Гаусс арнасындағы турбо-кодтаушы моделі

Цифрлы фазалық модуляция сандық деректерді сымсыз жіберудің әмбебап әдісі болып табылады. Цифрлы фазалық модуляцияның ең кеңінен қолданылатын түрі – екілік фазалық ауысымдық кілттеу (BPSK, binary phase shift keying) төрт итерацияның көмегімен жүзеге асырылды (3-сурет).



Сурет 3 – Әр түрлі итерациядағы өнімділік

Турбокодтардың өнімділігі қайталанатын декодтау алгоритмдеріне байланысты энергетикалық ұтысты қамтамасыз етеді. Гаусс арнасында турбокодтарды пайдалану барысында турбо-кодтаудың энергетикалық ұтысы 2-4 дБ [10] құрайды.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Жұмыс ҚР БҒМ грантымен қаржыландырылған AP09058557 жобасы шеңберінде орындалды.

Қорытынды

Динамикалық жүйелер мен электронды құрылғыларды модельдеуге арналған бірқатар программалық құралдар бар. Айталық, Tutsim және LabVIEW программаларын алатын болсақ, бұл құралдарды тиімді пайдалану үшін жоғары жылдамдықты шешуші құрылғылар қажет. Қолда бар дербес компьютердің мүмкіндіктерін ескере отырып, Simulink программалау графикалық ортасы таңдап алынды, ол MatLAB жүйесімен интеграцияланды. Simulink графикалық құралы модельдеу нәтижелерінің көрнекі көрінісі бар турбо-кодтаушыны құруға мүмкіндік берді.

3G және 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде турбо-кодтардан басқа LDPC кодтары пайдаланылғанын ескере отырып, келешекте бұл жұмыстың жалғасы ретінде LDPC кодтарды зерттеу жұмыстары жүргізіледі.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Weithoffer, S., Nour, C.A., Wehn, N., Douillard, C., Berrou, C.** 25 Years of Turbo Codes: From Mb/s to beyond 100 Gb/s // 2018 IEEE 10th International Symposium on Turbo Codes & Iterative Information Processing (ISTC), Hong Kong, China. – 2018. – P. 1-6. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1109/ISTC.2018.8625377>.

2 **Rao, G. R., Rao, G. S.** Performance analysis of 64QAM Turbo coded OFDM for 4G applications // Procedia Computer Science. – 2018. – Vol.143. – P. 907-913. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.363>.

3 **Abdulhamid, M., Thairu, M.** Performance Analysis of Turbo Codes Over AWGN Channel // The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty. – 2019. – Vol.19. – P. 43-48.

4 **Ramasamy, K., Balamuralithara, B., Siddiqi, M. U.** Optimal power allocation for the proposed asymmetric turbo code for 3G systems // AEU – International Journal of Electronics and Communications. – 2009. – Vol. 63 (7). – P. 551-561. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2008.04.003>.

5 **Wei, X., Guijun, H., Qing, D.** Application of Turbo codes in optical OFDM multimode fiber communication system // Optics Communications. – 2008. – Vol. 281 (5). – P. 1118–1122. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2007.10.084>.

6 **Swaminathan, R., Madhukumar, A. S.** Blind parameter estimation of turbo convolutional codes: Noisy and non-synchronized scenario // Digital Signal Processing. – 2019. – Vol. 95. – P. 102577. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2019.102577>.

7 **Дьяконов, В. П.** Simulink 5/6/7 [Мәтін] : Самоучитель. – М. : ДМК-Пресс, 2008. – 784 с. – ISBN 978-5-94074-423-8.

8 Shannon, C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Tech. J. – 1948. – Vol. 27(3). – P. 379–423.

9 **Zhai, Q., Wang, Y.** Stochastic resonance in parallel concatenated turbo code decoding // Digital Signal Processing. – 2016. – Vol. 56. – P. 93-99. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2016.05.013>.

10 **Архипкин, А.** Турбокоды – мощные алгоритмы для современных систем связи [Мәтін] // Беспроводные технологии. – 2006. – №1. – С. 36-37.

REFERENCES

1 **Weithoffer, S., Nour, C. A., Wehn, N., Douillard, C., Berrou, C.** 25 Years of Turbo Codes: From Mb/s to beyond 100 Gb/s // 2018 IEEE 10th International Symposium on Turbo Codes & Iterative Information Processing (ISTC), Hong

Kong, China. – 2018. – P. 1–6. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1109/ISTC.2018.8625377>.

2 **Rao, G. R., Rao, G. S.** Performance analysis of 64QAM Turbo coded OFDM for 4G applications // Procedia Computer Science. – 2018. – Vol.143. – P. 907-913. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.363>.

3 **Abdulhamid, M., Thairu, M.** Performance Analysis of Turbo Codes Over AWGN Channel // The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty. – 2019. – Vol.19. – P. 43-48.

4 **Ramasamy, K., Balamuralithara, B., Siddiqi, M. U.** Optimal power allocation for the proposed asymmetric turbo code for 3G systems // AEU - International Journal of Electronics and Communications. – 2009. – Vol. 63 (7). – P. 551-561. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2008.04.003>.

5 **Wei, X., Guijun, H., Qing, D.** Application of Turbo codes in optical OFDM multimode fiber communication system // Optics Communications. – 2008. – Vol. 281 (5). – P. 1118-1122. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2007.10.084>.

6 **Swaminathan, R., Madhukumar, A. S.** Blind parameter estimation of turbo convolutional codes: Noisy and non-synchronized scenario // Digital Signal Processing. – 2019. – Vol. 95. – P. 102577. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2019.102577>.

7 **D'yakonov, V. P.** Simulink 5/6/7: Samouchitel' [Simulink 5/6/7: Tutorial] [Text]. – Moscow : DMK-Press, 2008. – 784 p. – ISBN 978-5-94074-423-8.

8 **Shannon, C. E.** A Mathematical Theory of Communication // Bell System Tech. J. – 1948. – Vol. 27(3). – P. 379-423.

9 **Zhai, Q., Wang, Y.** Stochastic resonance in parallel concatenated turbo code decoding // Digital Signal Processing. – 2016. – Vol. 56. – P. 93-99. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2016.05.013>.

10 **Arkhipkin, A.** Turbokody – moshchnye algoritmy dlya sovremennykh sistem svyazi [Turbo codes – powerful algorithms for modern communication systems] [Text] // Besprovodnye tekhnologii [Wireless technologies]. – 2006. – № 1. – P. 36–37.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

*А. Д. Адамова¹, *Ж. О. Оралбекова², М. Г. Жартыбаева², Н. Узаккызы²*

¹Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

²Евразийский национальный университет

имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

Принято к изданию 18.09.23.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ - ТУРБО-КОДОВ

На сегодняшний день турбокоды являются одним из часто используемым в теории помехоустойчивого кодирования и нашли применение в цифровой связи и в электронной технике. История развития этих кодов насчитывает более тридцати лет. Актуальность использования турбо-кодов определяется возможностью исправления ошибок, близких к пределу Шеннона. Турбо-коды использовались в качестве кодов канала связи для 3G и 4G стандартов. Эти стандарты способствовали появлению мобильного интернета. В данной научной статье рассматриваются и исследуются устойчивые к помехам турбокоды. Создана компьютерная модель сверточных турбо-кодов. Для этого использовалась графическая среда программирования Simulink, интегрированная с пакетом прикладных программ MatLAB. Разработана математическая модель Гауссовского канала и создана компьютерная модель турбо-кодера на Гауссовском канале. Использовался двоичный тип цифровой фазовой модуляции, реализованный за несколько итераций. Результаты по производительности на разных итерациях продемонстрированы в виде графиков. Учитывая, что наряду с турбо-кодами для 3G и 4G стандартов в качестве кодов каналов связи использовались LDPC коды, в будущем как продолжение данной работы будут исследованы LDPC коды.

Ключевые слова: защита информации, помехоустойчивое кодирование, итерационное кодирование, турбокод, канал связи

*A. D. Adamova¹, *Zh. O. Oralbekova², M. G. Zhartybayeva²,
N. Uzakkyzy²*

¹Astana IT University, the Republic of Kazakhstan, Astana

²L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

Accepted for publication on 18.09.23

RESEARCH OF THE METHOD OF NOISE-RESISTANT CODING OF INFORMATION – TURBO CODES

To date, turbo codes are one of the most frequently used in the theory of error-correcting coding and have found application in digital communications and electronics. The history of the development of these

codes has more than thirty years. The relevance of using turbo codes is determined by the possibility of correcting errors close to the Shannon limit. Turbo codes have been used as link codes for 3G and 4G standards. These standards contributed to the emergence of the mobile Internet. This scientific article discusses and investigates noise-resistant turbo codes. A computer model of convolutional turbo codes has been created. For this, the Simulink graphical programming environment integrated with the MatLAB application software package was used. A mathematical model of the Gaussian channel has been developed and a computer model of the turbo encoder on the Gaussian channel has been created. The binary type of digital phase modulation was used, which was implemented in several iterations. Performance results at different iterations are shown in the form of graphs. Considering that along with turbo codes for 3G and 4G standards, LDPC codes were used as communication channel codes, in the future, LDPC codes will be investigated as a continuation of this work.

Keywords: information security, error-correcting coding, iterative coding, turbo code, communications channel

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz