

УДК

**АДАПТИВНЫЙ ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ S-СЛУЧАЙНОГО ПЕРЕМЕЖИТЕЛЯ  
В БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ТУРБОКОДИРОВАНИЕМ****С. В. ЗАЙЦЕВ<sup>1</sup>, В. В. КАЗИМИР<sup>1</sup>, В. М. ВАСИЛЕНКО<sup>2</sup>, А. В. ЯРИЛОВЕЦ<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Черниговский национальный технологический университет,  
Украина, Чернигов, 14027, ул. Шевченко, 95*<sup>2</sup>*Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины,  
Украина, Киев, 03186, Чоколовский бульвар, 13*

**Аннотация.** В статье предложен метод адаптивного выбора параметров  $S$ -случайного перемежителя кодека турбокода в беспроводных системах передачи данных в условиях априорной неопределенности для повышения достоверности передачи данных и уменьшения вычислительной сложности процесса кодирования/декодирования турбокодов. Данный метод основан на адаптивном выборе параметров  $S$ -случайного перемежителя в зависимости от значений нормализованного количества изменений знака апостериорно-априорных логарифмических отношений функций правдоподобности (ЛОФП) про переданные биты данных декодера турбокода. Результаты имитационного моделирования показали, что в зависимости от значений отношения сигнал–шум в канале и нормализованного количества изменений знака апостериорно-априорных ЛОФП итеративного декодера турбокода получаются рациональные параметры  $S$  разноса перемежения бит данных для  $S$ -случайного перемежителя. Это позволяет получить энергетический выигрыш кодирования, уменьшить сложность его аппаратной и программной реализации и повысить достоверность передачи информации в сравнении с известными результатами, например, системой мобильной связи четвертого поколения 4G LTE-Advanced.

**Ключевые слова:** турбо код; турбокод; неопределенность; моделирование

**АКТУАЛЬНОСТЬ**

В современных беспроводных телекоммуникационных системах передачи данных для повышения достоверности передачи информации используются помехоустойчивые коды: коды Хемминга, коды Боуза–Чоудхури–Хоквингема (БЧХ-коды), коды Рида–Соломона, каскадные коды, сверточные коды, LDPC-коды, турбокоды (ТК) и др. Наиболее эффективными из них являются LDPC-коды и ТК. Последние по энергетической эффективности уступают теоретической границе Шеннона 0,5 дБ для канала с аддитивным белым гауссовским шумом при скорости кодирования  $R = 1/3$  [1, 2].

В беспроводных системах передачи данных третьего 3G и четвертого поколения 4G (LTE-Advanced) для повышения достоверности передачи информации используются технологии адаптивного управления мощностью, параметрами модуляции и кодирования [2–7]. При этом для адаптации используются одноуровневые схемы, например для адаптации кодека турбокода изменяется только скорость кодирования.

Возникает необходимость разработки методов многоуровневой параметрической адаптации кодеков турбокодов, при этом можно предусмотреть адаптацию следующих параметров ТК: перемежителя (деперемежителя),

DOI: [10.20535/S0021347018010028](https://doi.org/10.20535/S0021347018010028)

© С. В. Зайцев, В. В. Казимир, В. М. Василенко, А. В. Яриловец, 2018

*Commun.*, Vol. 44, No. 10, P. 1261-1271, 1996. DOI: [10.1109/26.539767](https://doi.org/10.1109/26.539767).

3. Dahlman, E.; Parkvall, S.; Skold, J. *4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. Oxford: Elsevier, 2011. 431 p. URI: <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780123854896>.

4. Sesia, S.; Toufik, I.; Baker, M. *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*, 2nd ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2009.

5. Hanzo, L.; Akhtman, Y.; Wang, L.; Jiang, M. *MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMax: Coherent versus Non-coherent and Cooperative Turbo Transceivers*. New York: John Wiley & Sons, 2011.

6. Varda, M.; Badiu, M.-A.; Bota, V. Link adaptation algorithm for distributed coded transmissions in cooperative OFDMA systems. *Telecommun. Syst.*, Vol. 59, No. 4, P. 477-489, 2015. DOI: [10.1007/s11235-014-9908-1](https://doi.org/10.1007/s11235-014-9908-1).

7. Ghazisaeidi, A.; de Jauregui Ruiz, Ivan Fernandez; Schmalen, Laurent; Tran, Patrice; Simonneau, Christian; Awwad, Elie; Uscumlic, Bogdan; Brindel, Patrick; Charlet, Gabriel. Submarine transmission systems using digital nonlinear compensation and adaptive rate forward error correction. *J. Lightwave Technol.*, Vol. 34, No. 8, P. 1886-1895, 2016. DOI: [10.1109/JLT.2016.2518929](https://doi.org/10.1109/JLT.2016.2518929).

8. Koutsouvelis, K. V.; Dimakis, C. E. A low complexity algorithm for generating turbo code s-random interleavers. *Wireless Pers. Commun.*, Vol. 46, No. 3, P. 365-370, 2008. DOI: [10.1007/s11277-007-9439-0](https://doi.org/10.1007/s11277-007-9439-0).

9. Sadjadpour, H. R.; Sloane, N. J. A.; Salehi, M.; Nebe, G. Interleaver design for turbo codes. *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 19, No. 5, P. 831-837, 2001. DOI: [10.1109/49.924867](https://doi.org/10.1109/49.924867).

10. Dolinar, S.; Divsalar, D. Weight distributions for turbo codes using random and nonrandom permutations. *TDA Progress Report 42-122*, Jet Propulsion Lab., P. 56-65, 1995. URI: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.105.6640>.

11. Зайцев, С.В.; Казимир, В.В. Метод адаптивного декодирования при передаче информации в условиях воздействия преднамеренных помех. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 58, № 5, С. 30-40, 2015. DOI: [10.20535/S0021347015050039](https://doi.org/10.20535/S0021347015050039).

12. Зайцев, С.В.; Казимир, В.В. Структурная адаптация кодера и декодера турбо-кода для формирования запроса повторной передачи в условиях неопределенности. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 60, № 1, С. 25-36, 2017. DOI: [10.20535/S002134701701034](https://doi.org/10.20535/S002134701701034).

13. Zaitsev, S. V. Method for controlling state channel wireless networks under a priori uncertainty. *Int. J. Inf. Models Anal.*, Vol. 3, No. 2, P. 186-194, 2014. URI: <http://www.foibg.com/ijima/vol03/ijima03-02-p10.pdf>.

14. Zaitsev, S. V. Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference. *Int. J. Inf. Models Anal.*, Vol. 4, No. 1, P. 87-99, 2015. URI: <http://www.foibg.com/ijima/vol04/ijima04-01-p08.pdf>.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Berrou, C.; Glavieux, A.; Thitimajshima, P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. 1. *Proc. of Int. Conf. on Commun.*, ICC-93, 23-26 May 1993, Geneva, Switzerland. IEEE, 1993, P. 1064-1070. DOI: [10.1109/ICC.1993.397441](https://doi.org/10.1109/ICC.1993.397441).

2. Berrou, C.; Glavieux, A. Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes. *IEEE Trans.*

15. Kazymyr, V.; Zaitsev, S.; Ryndych, Y.; Zarovskiy, R. Technology for improve cyber security using turbo codes. *Proc. of Information Technologies in Innovation Business Conf.*, 7-9 Oct. 2015, Kharkiv, Ukraine. IEEE, 2015, P. 85-88. DOI: [10.1109/ITIB.2015.7355060](https://doi.org/10.1109/ITIB.2015.7355060).

16. Woodard, J. P.; Hanzo, L. Comparative study of turbo decoding techniques: an overview. *IEEE Trans.*

*Vehicular Technol.*, Vol. 49, No. 6, P. 2208-2233, 2000. DOI: [10.1109/25.901892](https://doi.org/10.1109/25.901892).

17. Berrou, C. (ed.), *Codes and Turbo Codes*. Springer, 2010. DOI: [10.1007/978-2-8178-0039-4](https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0039-4).

18. Vucetic, B.; Yuan, J. *Turbo Codes. Principles and Applications*. Springer US, 2000. DOI: [10.1007/978-1-4615-4469-2](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4469-2).

Поступила в редакцию 20.01.2017

После переработки 07.12.2017