

УДК 621.376

НЕКОДИРОВАННЫЕ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА С ПЕРЕМЕЖАЮЩИМСЯ РАЗДЕЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕПЕННЫХ ПЕРЕМЕЖИТЕЛЕЙ

М. ЯДАВ¹, В. ШОКИН¹, П. К. СИНГХАЛ²

¹Университет Амита,
Индия, Ноуда

²Madhav Institute of Technology and Science,
Индия, Гвалиор

Аннотация. Перемежение (interleaving) представляет собой один из наиболее распространенных методов, предназначенных для устранения влияния многопользовательской помехи. Удаление различных помех является одной из главных задач, стоящих перед разработчиками современных систем связи. В литературе предложено несколько методов перемежения и их рабочие характеристики проанализированы в различных системах связи, доказывающих их пригодность для удаления многопользовательских помех. Одним из таких перемежителей является степенной перемежитель, который может быть использован в системе связи в качестве средства контроля пакетных ошибок и для сокращения многопользовательской помехи. В этой статье дан анализ эффективности двух различных методов интегрированного множественного доступа с перемежающимся разделением IDMA (integrated interleave division multiple access): SCFDM-IDMA и OFDM-IDMA. Новизна этой работы состоит в том, что весь анализ выполнен с использованием степенных перемежителей для двух указанных выше методов IDMA, поскольку традиционный метод IDMA не способен уменьшить проблемы межстанционных и межсимвольных помех. Таким образом, эти два метода при наличии степенных перемежителей делают возможной реализацию высококачественной связи без помех для систем связи будущего поколения.

Ключевые слова: перемежитель; IDMA; множественный доступ с перемежающимся разделением; степенной перемежитель; OFDM; мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов

1. ВВЕДЕНИЕ

Перемежение (interleaving) — популярный термин среди исследователей, работающих в областях беспроводной сотовой связи, цифровой связи, теории информации и/или информационной безопасности. В области связи и теории информации основная роль перемежения состоит в том, чтобы способствовать борьбе с пакетными ошибками путем распределения этих ошибок среди многих блоков данных. Таким образом, эти распределенные биты ошибки получают свою идентификацию в соответ-

ствующих блоках, и поэтому могут быть обнаружены и исправлены с помощью любых кодов среднего уровня с обнаружением и исправлением ошибок [1].

Система множественного доступа с перемежающимся разделением IDMA (interleave division multiple access) представляет собой одну из современных систем связи, основанных главным образом на распределении перемежающихся шаблонов (pattern) конкретного пользователя [2]. В данном случае, пользователи различаются друг от друга в соответствии с назначенным им уникальным перемежающим-

DOI: [10.20535/S002134701711005X](https://doi.org/10.20535/S002134701711005X)

© М. Ядав, В. Шокин, П. К. Сингхал, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ping, L.; Liu, L.; Wu, K. Y.; Leung, W. K. Approaching the capacity of multiple access channels using interleaved low-rate codes. *IEEE Commun. Lett.*, v.8, n.1, p.4-6, Jan. 2004. DOI: [10.1109/LCOMM.2003.822534](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2003.822534).
2. Ping, L.; Liu, L.; Wu, K. Y.; Leung, W. K. Interleave division multiple-access. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, v.5, n.4, p.938-947, Apr. 2006. DOI: [10.1109/TWC.2006.1618943](https://doi.org/10.1109/TWC.2006.1618943).
3. Mahadevappa, R. H.; Proakis, J. G. Mitigating multiple access interference and intersymbol interference in uncoded CDMA systems with chip-level interleaving. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, v.1, n.4, p.781-792, Oct. 2002. DOI: [10.1109/TWC.2002.804163](https://doi.org/10.1109/TWC.2002.804163).
4. Kusume, K.; Bauch, G.; Utschick, W. IDMA vs. CDMA: Analysis and comparison of two multiple access schemes. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, v.11, n.1, p.78-87, Jan. 2012. DOI: [10.1109/TWC.2011.111211.100954](https://doi.org/10.1109/TWC.2011.111211.100954).
5. Pupeza, I.; Kavcic, A.; Ping, L. Efficient generation of interleavers for IDMA. *Proc. of IEEE Int. Conf. on Communication*, 11-15 June 2006, Istanbul, Turkey. IEEE, 2006, p.1508-1513. DOI: [10.1109/ICC.2006.255024](https://doi.org/10.1109/ICC.2006.255024).
6. Wu, Y.-J.; Ogiwara, H. Symbol-interleaver design for turbo trellis-coded modulation. *IEEE Commun. Lett.*, v.8, n.10, p.632-634, Oct. 2004. DOI: [10.1109/LCOMM.2004.835320](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2004.835320).
7. Shukla, M.; Srivastava, V. K.; Tiwari, S. Analysis and design of tree based interleaver for multiuser receivers in IDMA scheme. *Proc. of 16th IEEE Int. Conf. on Networks*, 12-14 Dec. 2008, New Delhi, India. IEEE, 2008, p.1-4. DOI: [10.1109/ICON.2008.4772593](https://doi.org/10.1109/ICON.2008.4772593).
8. Shukla, M.; Srivastava, V. K.; Tiwari, S. Implementation of interleavers for iterative IDMA

receivers. *Research J. Inf. Technol.*, v.4, n.1, p.12-21, 2012. DOI: [10.3923/rjit.2012.12.21](https://doi.org/10.3923/rjit.2012.12.21).

9. Yuan, J.; Vucetic, B.; Feng, W.; Tan, M. Design of cyclic shift interleavers for turbo codes. *Annales Des Télécommunications*, v.56, n.7-8, p.384-393, 2001. DOI: [10.1007/BF02995450](https://doi.org/10.1007/BF02995450).

10. Ren, D.; Ge, J.; Li, J. Modified collision-free interleavers for high speed turbo decoding. *Wireless Personal Commun.*, v.68, n.3, p.939-948, 2013. DOI: [10.1007/s11277-011-0491-4](https://doi.org/10.1007/s11277-011-0491-4).

11. Bie, H.; Bie, Z. A hybrid multiple access scheme: OFDMA-IDMA. *Proc. of 1st Int. Conf. on Communications and Networking in China*, 25-27 Oct. 2006, Beijing, China. IEEE, 2006, p.1-3. DOI: [10.1109/CHINACOM.2006.344903](https://doi.org/10.1109/CHINACOM.2006.344903).

12. Ping, L.; Guo, Q.; Tong, J. The OFDM-IDMA approach to wireless communication systems. *IEEE Wireless Commun.*, v.14, n.3, p.18-24, June 2007. DOI: [10.1109/MWC.2007.3866608](https://doi.org/10.1109/MWC.2007.3866608).

13. Xiong, X.; Luo, Z. SC-FDMA-IDMA: A hybrid multiple access scheme for LTE uplink. *Proc. of 7th Int. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, WiCOM, 23-25 Sept. 2011, Wuhan, China. IEEE, 2011, p.1-5. DOI: [10.1109/wicom.2011.6040400](https://doi.org/10.1109/wicom.2011.6040400).

14. Yadav, M.; Shokeen, V.; Singhal, P. K. BER versus BSNR analysis of conventional IDMA and OFDM-IDMA based systems with tree interleaving. *Proc. of 2nd Int. Conf. on Advances in Computing, Communication, and Automation*, ICACCA-Fall, 30 Sept.-1 Oct. 2016, Bareilly, India. IEEE, 2016. DOI: [10.1109/ICACCAF.2016.7748973](https://doi.org/10.1109/ICACCAF.2016.7748973).

15. Yadav, M.; Banerjee, P. Bit error rate analysis of various interleavers for IDMA scheme. *Proc. of 3rd Int. Conf. on Signal Processing and Integrated Networks*, SPIN, 11-12 Feb. 2016, Noida, India. IEEE, 2016, p.89-94. DOI: [10.1109/SPIN.2016.7566668](https://doi.org/10.1109/SPIN.2016.7566668).

16. Caire, G.; Guemghar, S.; Roumy, A.; Verdu, S. Maximizing the spectral efficiency of coded CDMA under successive decoding. *IEEE Trans. Inf. Theory*, v.50, n.1, p.152-164, Jan. 2004. DOI: [10.1109/TIT.2003.821970](https://doi.org/10.1109/TIT.2003.821970).

17. Wu, H.; Ping, L.; Perotti, A. User-specific chip-level interleaver design for IDMA systems. *Electron. Lett.*, v.42, n.4, p.233-234, Feb. 2006. DOI: [10.1049/el:20063770](https://doi.org/10.1049/el:20063770).

18. Ping, L.; Liu, L.; Wu, K.; Leung, W. K. Interleave-division multiple-access (IDMA) communications. *Proc. of 3rd Int. Symp. on Turbo Codes and Related Topics*, 2003, p.173-180.

19. Myung, H. G. Introduction to single carrier FDMA. *Proc. of 15th European Signal Processing Conf.*, 3-7 Sept. 2007, Poznan, Poland. IEEE, 2007. URI: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7099187/>.

20. Berrou, C.; Glavieux A. Near optimum error correcting coding and decoding: turbo codes. *IEEE Trans. Commun.*, v.44, n.10, p.1261-1271, 1996. DOI: [10.1109/26.539767](https://doi.org/10.1109/26.539767).

21. Dang, J.; Zhang, W.; Yang, L.; Zhang, Z. OFDM-IDMA with user grouping. *IEEE Trans. Commun.*, v.61, n.5, p.1947-1955, May 2013. DOI: [10.1109/TCOMM.2013.022713.120300](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2013.022713.120300).

22. Revathi, SP.; Juliet, A. M. Performance of OFDM IDMA system for Femtocell network. *Proc. of Int. Conf. on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems*, ICIECS, 19-20 Mar. 2015, Coimbatore, India. IEEE, 2015, p.1-4. DOI: [10.1109/ICIECS.2015.7193156](https://doi.org/10.1109/ICIECS.2015.7193156).

23. Marne, H. D.; Mukherji, P. Comparative study of multiuser detection techniques in OFDM-IDMA systems. *Proc. of Int. Conf. on Pervasive Computing*, ICPC, 8-10 Jan. 2015, Pune, India. IEEE, 2015, p.1-4. DOI: [10.1109/PERVASIVE.2015.7087209](https://doi.org/10.1109/PERVASIVE.2015.7087209).

24. Dixit, S.; Tripathi, P.; Shukla, M. SC-FDMA-IDMA scheme for underwater acoustic communications. *Proc. of Int. Conf. on Communication, Control and Intelligent Systems*, CCIS, 7-8 Nov. 2015, Mathura, India. IEEE, 2015, p.204-207. DOI: [10.1109/CCIntelS.2015.7437909](https://doi.org/10.1109/CCIntelS.2015.7437909).

25. Dang, J.; Yang, L.; Zhang Z. Symbol detection of IDMA systems in the presence of carrier frequency offsets. *Wireless Personal Commun.*, v.72, n.2, p.1453-1466, 2013. DOI: [10.1007/s11277-013-1088-x](https://doi.org/10.1007/s11277-013-1088-x).

26. Al-Iesawi, S. A. Iterative hybrid decision-feedback equalization (HDFE) based single-carrier IDMA schemes. *Proc. of 6th Int. Conf. on Developments in eSystems Engineering*, DeSE, 16-18 Dec. 2013, Abu Dhabi, United Arab Emirates. IEEE, 2013, p.69-72. DOI: [10.1109/DeSE.2013.21](https://doi.org/10.1109/DeSE.2013.21).

27. Yadav, M.; Gautam, P. R.; Shokeen, V.; Singhal, P. K. Modern Fisher-Yates shuffling based optimal random interleaver design for SCFDMA-IDMA systems. *Wireless Personal Commun.*, v.97, n.1, p.63-73, 2017. DOI: [10.1007/s11277-017-4492-9](https://doi.org/10.1007/s11277-017-4492-9).

28. Yadav, M.; Shokeen, V.; Singhal, P. K. Flip left-right approach based novel inverse tree interleavers for IDMA scheme. *AEU: Int. J. Electronics Commun.*, v.18, p.182-191, 2017. DOI: [10.1016/j.aeue.2017.07.025](https://doi.org/10.1016/j.aeue.2017.07.025).

Поступила в редакцию 29.11.2016

После переработки 09.07.2017