

OVERVIEW OF WIRELESS BODY AREA NETWORKS

R. E. Zlotnikova

Novosibirsk State Technical University,
630073, Novosibirsk, Russia

There is the common problem with all current fatal diseases. Nowadays many people experience the symptoms and have disease diagnosed when it is too late. Scientists investigated the way that most diseases can be prevented. They found out that well-timed detection could save many people and their health. This is the obvious reason to provide future health care systems with proactive wellness management and concentrate on early detection and prevention of diseases. Body area monitoring system is a good way to achieve more affordable and proactive health care system. Due to using such compact system monitoring vital signals allows patients to continue their normal activities instead of staying at home or in a hospital. Such kind of network consists of intelligent, low-power, micro and nano-technology sensors and actuators, which can be placed on the body, or implanted in the human body (or even in the blood stream), providing timely data. Such networks are commonly referred to as Wireless Body Area Networks. In addition to saving lives, use of WBANs will decrease health care costs by removing the need for costly in-hospital monitoring of patients.

WBANs interact through the Internet and other existing wireless technologies like ZigBee, WSNs, Bluetooth, Wireless Local Area Networks (WLAN), Wireless Personal Area Network (WPAN), video surveillance systems and cellular networks. Marketing potential for services and advanced consumer electronics will thoroughly spread out, allowing for a new generation of more intelligent and autonomous applications.

WBANs are intended for transforming how people interact with and benefit from information technology. WBAN sensors are capable of sampling, monitoring, processing and communicating various vital signs without causing any discomfort. The use of a WBAN allows all day long monitoring of one's physiological parameters thereby providing greater mobility and flexibility to patients. As WBANs provide large time intervals of data from a patient's natural environment, doctors will have a clearer view of the patient's status. These facilities offer various system design and implementation opportunities with the major objectives of minimum delay, maximum throughput, maximum network lifetime and reducing unnecessary communication related energy consumption (e. g. control frame overhead, idle listening and frame collisions). The user-oriented requirements of WBANs are equally challenging and have been defined as: ease of use, security, privacy, compatibility, value and safety.

There are few main communication standard solutions considered as reference are: IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, and Bluetooth Low Energy. IEEE 802.15.4 (published in 2006), specifies the physical (PHY) and medium access control (MAC) layers for short-range wireless communications, devised to support low power, low cost, and low bit rate networks. The IEEE 802.15.6 (published in 2012), was specifically designed for wireless communications in the vicinity of, or inside, a human body. Finally, Bluetooth Low Energy (BT LE) (published in 2010) is the ultra-low power consumption configuration of Bluetooth technology, targeting several applications for small and cheap devices powered by button-cell batteries, such as wireless sensors. Due to the quite large number of available standards, it is necessary to identify the best solution, depending on the application requirements. For what concerns the main issues to be accounted for in the design of a WBAN, the impact of wireless medium, the battery lifetime and the coexistence with other wireless networks are of fundamental importance. The presence of the human body affects the radio wave propagation, leading to a specific and peculiar radio

channel, which has to be properly accounted for in the design of the protocols. The need for long battery lifetime shall be addressed through energy efficient solutions since frequent battery replacements must be avoided, being a very hard task in some application (e.g., medical applications where nodes are implanted). The third main issue to be taken into account is the outage occurrence due to coexistence with other wireless networks operating in the same frequency band. As it will be remarked later in the paper, many standard solutions for WBAN operate in the licence-free Industrial Scientific and Medical (ISM) band centered at 2.45 GHz and this leads to coexistence issues with other networks operating in the same band (e.g., Wi-Fi IEEE 802.11).

Wireless body-area networks offers the possibility to reach a totally new level of communications, with particular propagation characteristics that differentiate the body-area-network channel from many other radio-propagation channels.

Key words: wireless networks, Wireless Networking Technologies, Wireless body area networks, monitoring, sensors, classification, topology, System requirements, power consumption.

References

1. MILENKOVIC, C. OTTO, AND E. JOVANOVIĆ. Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation // Computer Communications. Special issue: Wireless Sensor Networks: Performance, Reliability, Security, and Beyond. 2006. V. 29. P. 2521–2533.
2. DENISENKO M. B. Naselenie Rossii do 2025 goda. Pro et Contra. 2012. T. 16, N 4–5. P. 153–170.
3. CHEN M., GONZALEZ S., VASILAKOS A., CAO H., AND LEUNG V. Body area networks: A survey // Mobile Networks and Applications. 2011. V. 16. P. 171–193.
4. ULLAH S., SHEN B., ISLAM S. M. R., KHAN P., SALEEM S., AND KWAK K. S. A study of medium access control protocols for wireless body area networks / arXiv preprint arXiv:1004.3890, 2010.
5. IEEE standard for local and metropolitan area networks: Part 15.6: Wireless body area networks // IEEE submission, February 2012.
6. SMITH AND L. HANLEN. Wireless body area networks : Towards a wearable intranet. ISCIT Tutorial, September 2012.
7. KWON H. AND LEE S. Energy-efficient multi-hop transmission in body area networks // in 20th IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC). September 2009. P. 2142–2146.
8. HANSON M., POWELL H., BARTH A., RINGGENBERG K., CALHOUN B., AYLOR J., AND LACH J. Body area sensor networks: Challenges and opportunities // Computer. Jan. 2009. V. 42. P. 58–65.
9. DISHMAN. Inventing wellness systems for aging in place // Computer. May 2004. V. 37. P. 34–41.
10. XING J. AND ZHU Y. A survey on body area network. // in 5th Int. Conf. on Wireless Communications. Networking and Mobile Computing (WiCom '09). Sept. 2009. P. 1–4.
11. ULLAH S., HIGGIN H., SIDDIQUI M. A., AND KWAK K. S. A study of implanted and wearable body sensor networks // in Proc. 2nd KES Int. Conf. on Agent and multi-agent systems: technologies and applications, (Berlin, Heidelberg). Springer-Verlag. 2008. P. 464–473.
12. WANG B. AND PEI Y. Body area networks / Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications, Edited by Borko Furht, Taylor and Francis. 2007. V. 98.
13. ULLAH S., KHAN P., ULLAH N., SALEEM S., HIGGINS H., AND KWAK K. A review of wireless body area networks for medical applications / arXiv preprint arXiv:1001.0831. 2010. V. abs/1001.0831.
14. LIPPRANDT M., EICHELBERG M., THRONICKE W., KRUGER J., DRUKE I., WILLEMSSEN D., BUSCH C., FIEHE C., ZEEB E., AND HEIN A. Osamid: An open service platform for healthcare monitoring applications // in 2nd Conf. on Human System Interactions (HSI'09). IEEE, 2009. P. 139–145.

15. NEHMER J., BECKER M., KARSHMER A., AND LAMM R. Living assistance systems: an ambient intelligence approach // in Proc. 28th Int. Conf. on Software engineering. ACM, 2006. P. 43–50.
16. LATRE B., BRAEM B., MOERMAN I., BLONDIA C., AND DEMEESTER P. A survey on wireless body area networks // *Wireless Network*. Jan. 2011. V. 17. P. 1–18.
17. N. DE VICQ, ROBERT F., PENDERS J., GYSELINCKX B., AND TORFS T. Wireless body area network for sleep staging // in IEEE Biomedical Circuits and Systems Conf. (BIOCAS 2007). 2007. P. 163–166.
18. LEWIS D. 802.15.6 call for applications-response summary / in 1508-0407-00-0006-tg6-applications-summary.doc.
19. GOPALAN S. AND PARK J.-T. Energy-efficient mac protocols for wireless body area networks: Survey // in Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT) Int. Congress. 2010. P. 739–744.
20. SMITH D., MINIUTTI D., LAMAHEWA T. A., AND HANLEN L. Propagation models for body area networks: A survey and new outlook // *IEEE Antennas and Propagation Mag.*, Dec. 2013.
21. CARRANO R., PASSOS D., MAGALHAES L., AND ALBUQUERQUE C. Survey and taxonomy of duty cycling mechanisms in wireless sensor networks // *IEEE Commun. Surveys Tutorials*. 2013. V. P. N 99. P. 1–14.
22. SUDEVALAYAM S. AND KULKARNI P. Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications // *IEEE Commun. Surveys Tutorials*. 2011. V. 13. N 3. P. 443–461.
23. Specification of the Bluetooth System version 4.0. Bluetooth SIG. June 2010. [El. Res.]: <http://www.bluetooth.com>.
24. PATEL M. AND WANG J. Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies // *IEEE Trans. Wireless Commun.* Feb. 2010. V. 17. N 1. P. 80–88.
25. CAO H., LEUNG V., CHOW C., AND CHAN H. Enabling technologies for wireless body area networks: A survey and outlook // *IEEE Commun. Mag.* Dec. 2009. V. 47. N 12. P. 84–93.
26. KHAN W., XIANG Y., AALSALEM M., AND ARSHAD Q. Mobile phone sensing systems: A survey // *IEEE Commun. Surveys Tutorials*. 2013. V. 15. N 1. P. 402–427.
27. BRADLEY P. D. Implantable ultralow-power radio chip facilitates inbody communications // *RF DESIGN*. 2007. V. 30. N 6. P. 20.
28. YUCE M. R. AND HO C. K. Implementation of body area networks based on mics/wmts medical bands for healthcare systems // in 30th Annu. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. IEEE, 2008. P. 3417–3421.
29. TACHTATZIS C., FRANCO F., TRACEY D., TIMMONS N., AND MORRISON J. An energy analysis of IEEE 802.15.6 scheduled access modes // in IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps). Dec. 2010. P. 1270–1275.
30. KHAN J. Y., YUCE M. R., BULGER G., AND HARDING B. Wireless body area network (wban) design techniques and performance evaluation // *J. of medical systems*. 2012. V. 36, N 3. P. 1441–1457.
31. IEEE 802.15.4 Standard, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). Piscataway, New Jersey, 08855-1331: IEEE, 2006. [Electron. Res.]: [//standards.ieee.org/getieee802/802.15.html](http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html)
32. IEEE standard for local and metropolitan area networks part 15.6: Wireless body area networks. IEEE Std 802.15.6-2012. February 2012. P. 1–271.
33. REDDY P., REDDY P. B., AND REDDY V. K. Body area networks // *J. of Telematics and Informatics*. 2013. V. 1. N 1.
34. ASTRIN W., LI H.-B., AND KOHNO R. Standardization for body area networks // *IEICE Trans. Commun.*, 2009. N 2. P. 366–72.
35. ELHADJ BEN, CHAARI L., AND KAMOUN L. A survey of routing protocols in wireless body area networks for healthcare applications // *Int. J. of E-Health and Medical Commun. (IJEHMC)*. 2012. P. 1–18.

36. KWAK K., ULLAH S., AND ULLAH N. An overview of IEEE 802.15.6 standard // in 3rd Int. Symp. on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL). Nov. 2010. P. 1–6.
37. ULLAH S., HIGGINS H., BRAEM B., LATRE B., BLONDIA C., MOERMAN I., SALEEM S., RAHMAN Z., AND KWAK K. A comprehensive survey of wireless body area networks // J. of Medical Systems. 2010. P. 1–30.
38. NEHMER J., BECKER M., KARSHMER A., AND LAMM R. Living assistance systems: an ambient intelligence approach // in Proc. 28th Int. Conf. on Software engineering. ACM, 2006. P. 43–50.
39. SCHWOERER LI. Y., YOON J., FARSEOTU J., YANG W., SAYRAFIAN K., MINIUTTI D., AND LEWIS D. IEEE 802.15.6 regulation subcommittee report. May 2010.
40. BOULIS, D. SMITH, MINIUTTI D., LIBMAN L., AND TSELISHCHEV Y. Challenges in body area networks for healthcare: the mac // IEEE Commun. Mag. May 2012. V. 50. N 5. P. 100–106.
41. ULLAH S., HIGGINS H., BRAEM B., LATRE B., BLONDIA C., MOERMAN I., SALEEM S., RAHMAN Z., AND KWAK K. A comprehensive survey of wireless body area networks // J. of Medical Systems. 2012. V. 36. P. 1065–1094.
42. NEHMER J., BECKER M., KARSHMER A., AND LAMM R. Living assistance systems: an ambient intelligence approach // in Proc. 28th Int. Conf. on Software engineering. ACM, 2006. P. 43–50.
43. PANTELOPOULOS AND BOURBAKIS N. A survey on wearable biosensor systems for health monitoring // in 30th Annu. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2008. EMBS 2008. P. 4887–4890.
44. ALEMDAR AND C. ERSOY. Wireless sensor networks for healthcare: A survey // Computer Networks. 2010. V. 54. N 15. P. 2688–2710.
45. KUMAR S., KAMBHATLA K., HU F., LIFSON M., AND XIAO Y. Ubiquitous computing for remote cardiac patient monitoring: a survey // Int. J. of telemedicine and applications. 2008. V. 2008. P. 3.
46. CALDEIRA J., RODRIGUES J., AND LORENZ P. Toward ubiquitous mobility solutions for body sensor networks on healthcare // IEEE Commun. Mag. 2012. V. 50. N 5. P. 108–115.
47. Intra-mobility support solutions for healthcare wireless sensor networks 2013; handover issues // IEEE Sensors J. 2013. V. 13. N 11. P. 4339–4348.
48. JESKINDAROV M. A. Glava 1.3 Mesto Rossii i perspektivy pozicionirovaniya v mirovom hozjajstve v sovremennyh usloviyah // Vneshnejekonomicheskaja politika Rossii v usloviyah global'nyh vyzovov: Monografiya /Finuniversitet; pod red. A. A. Tkachenko. M., 2015. P. 35–51.
49. LATRE, BRAEM B., MOERMAN I., BLONDIA C., AND DEMEESTER P. A survey on wireless body area networks // Wireless Netw. 2011. V. 17. N 1. P. 1–18..
50. SHAKHOV VLADIMIR V., MIGOV DENIS. Reliability of Ad Hoc Networks with Imperfect Nodes. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014 .V. 8715. P. 49–58.
51. ITU — Radio Regulations. Volume 1, Sectio iv. [Electron. Res.]: <http://life.itu.int/radioclub/rr/rindex.htm>, 2012.
52. CARRANO R., PASSOS D., MAGALHAES L., AND ALBUQUERQUE C. Survey and taxonomy of duty cycling mechanisms in wireless sensor networks // IEEE Commun. Surveys Tutorials. 2013. V. PP. N 99, P. 1–14.
53. FCC — Medical Body Area Networks — small entity compliance guide. [Electron. Res.]: <http://www.fcc.gov/document/medical-body-area-networks>, May 2013.
54. ITU TG 1–8 Working Group 1. Characteristics of ultra-wideband (UWB) devices. [Electron. Res.]: <http://wcsp.eng.usf.edu/papers/UWBBasics.doc>, Jan., 2003.
55. CHAVEZ-SANTIAGO R., NOLAN K., HOLLAND O., DE NARDIS L., FERRO J., BARROCA N., BORGES L., VELEZ F., GONCALVES V., AND BALASINGHAM I. Cognitive radio for medical body area networks using ultra wideband // IEEE Wireless Commun. 2012. V. 19. N 4. P. 74–81.

56. HOVAKEEMIAN Y., NAIK K., AND NAYAK A. A survey on dependability in body area networks // *Medical Information Commun. Technology (ISMICT)*, 2011 5th Int. Symp. On. P. 10–14.
57. LARA O. AND LABRADOR M. A survey on human activity recognition using wearable sensors // *IEEE Commun. Surveys Tutorials*. 2013. V. 15. N 3. P. 1192–1209.
58. ULLAH S., KHAN P., ULLAH N., SALEEM S., HIGGINS H., AND SUP KWAK K. A review of wireless body area networks for medical applications // *Int. J. of Commun., Netw. and System Sciences*. 2009. V. 2. N 8. P. 797–803.
59. SEYEDI M., KIBRET B., LAI D. T., AND FAULKNER M. A survey on intrabody communications for body area network applications, 2013.
60. IEEE 802.15.4 Standard, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for LowRate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). Piscataway, New Jersey, 08855-1331: IEEE, 2006. [Electron. Res.]: [//standards.ieee.org/getieee802/802.15.html](http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html).
61. BAE, H. CHO, SONG K., LEE H., AND YOO H.-J. The signal transmission mechanism on the surface of human body for body channel communication // *IEEE Trans. Microw. Theory Tech*. 2012. V. 60. N 3. P. 582–593.
62. AKYILDIZ F., BRUNETTI F., AND BLAZQUEZ C. Nanonetworks: A new communication paradigm // *Comput. Netw. Aug*. 2008. V. 52. N 12. P. 2260–2279.
63. LA POLLA M., MARTINELLI F., AND SGANDURRA D. A survey on security for mobile devices // *IEEE Commun. Surveys Tutorials*. 2013. V. 15. N 1. P. 446–471.
64. SHAKHOV V. V. , JURGENSON A. N. , SOKOLOVA O. D. Modelirovanie vozdejstvija ataki Black Hole na besprovodnye seti, Programmnye produkty i sistemy. 2017. T. 30. N 1. P. 34–39.
65. SHAKHOV V. V. Protecting Wireless Sensor Networks from Energy Exhausting Attacks, *Lecture Notes in Computer Science*. 2013. Springer. V. 7971. P. 184–193.
66. GALLUCCIO, MELODIA T., PALAZZO S., AND SANTAGATI G. Challenges and implications of using ultrasonic communications in intra-body area networks // *Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, 2012 9th Annu. Conf. on. 2012. P. 182–189.
67. SHAKHOV V. V., KOO I., RODIONOV A. S. Energy exhaustion attacks in wireless networks // *IEEE Int. Conf. on Computer and Information Sciences (SIBIRCON)*. 2017. P. 1–3.
68. SHAKHOV V. V., KOO I. Experiment Design for Parameter Estimation in Probabilistic Sensing Models // *IEEE Sensors Journal*. 2017. V. 17. I. 24. P. 8431–8437.
69. SHAKHOV V. V. Performance Evaluation of MAC Protocols in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2016. V. 9787. P. 344–352.
70. MATERUKHIN A., SHAKHOV V. V., SOKOLOVA O. D. An efficient method for collecting spatio-temporal data in the WSN using mobile sinks // *IEEE Int. Conf. on Computer and Information Sciences (SIBIRCON)*, 2017. P. 118–120.

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНЫХ НАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Р. Е. Злотникова

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Новосибирск, Россия

УДК 004.73:004.77

В данной статье рассматриваются беспроводные нательные сети (WBAN), обосновывается их актуальность, предоставляются сведения о сферах их применения. Рассматривается классификация WBAN с точки зрения используемой технологии беспроводной связи. Перечисляются основные системные требования, такие как скорость передачи данных, диапазон используемых частот, уровень потребляемой мощности передатчиков, показатели качества обслуживания и некоторые другие. Приводится обзор стандартов для реализации WBAN: IEEE 802.15.4 и IEEE 802.15.6. Сообщается о некоторых характеристиках устройств и основных проблемах при проектировании и реализации WBAN.

Ключевые слова: беспроводные сети, технологии беспроводной связи, беспроводные нательные сети, мониторинг, датчики, классификация, топология, системные требования, потребляемая мощность.

Введение. Внедрение новых информационных технологий в здравоохранение является актуальной задачей. Последние десятилетия человечество сталкивается с проблемами старения населения [1]. Данная тенденция отмечается практически по всему миру, особенно остро проблема стоит в Японии. Россия также не осталась в стороне от глобальной демографической тенденции [2], прогнозы предсказывают в ближайшую декаду заметные и практически идентичные изменения в возрастном составе населения. Доля лиц в возрасте от 65 и старше увеличится на 60 %, а вместе с ней и демографическая нагрузка пожилых людей на трудоспособное население. По некоторым прогнозам почти каждый пятый житель страны в 2030 г. будет старше 65 лет. В США к 2050 году ожидается удвоение числа престарелых людей из-за выхода на пенсию поколения людей, родившихся после Великой депрессии, когда был зарегистрирован подъем рождаемости. Это, вполне вероятно, может привести к перегрузке системы здравоохранения, чрезмерному повышению затрат на лечение и медицинское наблюдение. С другой стороны, медики всего мира обеспокоены высокой смертностью от рака, сердечно-сосудистых заболеваний, болезни Паркинсона, астмы, ожирения, диабета и многих других хронических смертельных заболеваний. Большинство этих смертей можно было бы предотвратить, если бы болезни были выявлены на ранней стадии. Именно поэтому в будущем системы здравоохранения должны фокусироваться на диагностике и профилактике заболеваний.

Одним из ключевых решений для повышения эффективности здравоохранения является переносная мобильная система мониторинга, которая позволит выявлять аномальные состояния пациента и тем самым улучшать качество жизни. В этом случае даже мониторинг жизненно-важных показателей, таких как частота сердечных сокращений и артериальное давление, не будет вынуждать пациентов оставаться дома или в клинике, позволяя

продолжать активную деятельность. Такого результата можно достичь только с помощью сети беспроводных устройств, состоящей из интеллектуальных микро- и нанотехнологических датчиков и приводов, работающих на малой мощности. Они могут быть размещены на теле пациента, или имплантированы в организм человека, обеспечивая своевременный поток данных [3, 4]. Такие сети называют Нательными компьютерными сетями (англ. Wireless body area network, WBAN). В дополнение к спасению жизней, беспроводная сеть надеваемых компьютерных устройств обеспечит сокращение расходов на здравоохранение, устранив необходимость дорогостоящего внутрибольничного мониторинга пациентов. Важно отметить, что, поскольку WBAN предоставляют большие временные интервалы данных из естественной среды пациента, врачи будут иметь более четкое представление о состоянии пациента [5].

Для решения существующих технических и социальных проблем предполагается проектировать и внедрять системы WBAN, которые будут обладать максимальной пропускной способностью, максимальным сроком службы сети и минимальным потреблением энергии [6]. Кроме того, определены ключевые требования в отношении пользователя:

- простота использования;
- конфиденциальность;
- совместимость;
- практическая польза;
- безопасность.

1. Сферы применения WBAN. Устройства WBAN имеют широкую сферу применения: военные технологии, здравоохранение, спорт, развлечения и многое другое. Стандарт IEEE 802.15.6, разработанный специально для сетей датчиков мониторинга показателей тела человека, разделяет WBAN на медицинские и немедицинские устройства [7]. Основные сферы применения WBAN приведены в табл. 1.

Рассмотрим приведенную классификацию медицинских WBAN более подробно.

Использование WBAN в медицинских приложениях позволяет постоянно контролировать физиологические характеристики, такие как артериальное давление, сердечный ритм и температуру тела [8, 9, 10]. В случаях обнаружения ненормальных условий данные, собираемые датчиками, могут быть отправлены на шлюз, такой как сотовый телефон. Затем шлюз передает свои данные через сотовую сеть или Интернет в удаленное место, такое как центр экстренной помощи или кабинет врача, далее медицинский персонал предпринимает требуемые в такой ситуации действия. Кроме того, WBAN будут ключевым решением для ранней диагностики, мониторинга и лечения пациентов с возможными смертельными заболеваниями многих типов, включая диабет, гипертонию и сердечнососудистые заболевания [11]. Медицинское применение WBAN можно далее классифицировать по трем подкатегориям следующим образом [12]:

1) нательные WBAN, среди которых можно выделить две категории: помощь по инвалидности и управление эффективностью работы человека [13]. Рассмотрим некоторые примеры применения нательных WBAN: а) оценка степени усталости солдата и готовности к бою — с помощью WBAN, состоящего из камер, биометрических датчиков, GPS (Global Positioning System, система глобального позиционирования) и беспроводной сети в сочетании с устройством связи с другими солдатами и централизованного мониторинга. Для предотвращения утечки информации между солдатами должен существовать безопасный канал связи; б) оценка состояния спортсменов — для оптимизации тренировочного процесса и предотвращения травм; в) мониторинг сна — для проведения измерений

Таблица 1

Классификация WBAN

Классификация устройств WBAN	Медицинские WBAN	Нательные WBAN	Оценка степени усталости солдата и готовности к бою Оценка состояния спортсменов Мониторинг сна Контроль состояния пациентов с астмой Нательные WBAN
		Имплантируемые WBAN	Контроль работы сердечнососудистой системы Мониторинг раковых заболеваний
		Дистанционное управление	Технология организации вспомогательной жизненной среды Мониторинг пациентов Системы телемедицины
	Немедицинские WBAN		Запись видеопотока в режиме реального времени Развлечения Помощь при ЧС

зачастую пациент вынужден проводить ночь в лаборатории, покрытый датчиками и кабелями, что ограничивает движения во сне и создает дискомфорт. Устройства WBAN способны производить ту же работу, не используя кабели [14]; г) контроль состояния пациентов с астмой — WBAN и сопутствующие датчики способны улавливать аллергены в воздухе и обеспечивать полную обратную связь с врачом, что может помочь миллионам пациентов, страдающих астмой; д) нательные WBAN — в сочетании с датчиками и другими устройствами WBAN может обеспечить мониторинг состояния здоровья в режиме реального времени [15, 16]. К примеру, чтобы обеспечить поддержку пациентов, больных диабетом, можно использовать смартфон с модулем глюкозы. Данные об уровне сахара в крови могут быть сохранены и отправлены лечащему врачу.

2) имплантируемые WBAN: этот класс приложений относится к узлам, подлежащим имплантированию в организм человека под кожу, либо в кровоток [17]. Приведем несколько возможных примеров использования имплантируемых WBAN: а) контроль диабета; б) контроль состояния сердечнососудистой системы пациента — инфаркт миокарда может быть значительно уменьшен путем мониторинга аномальных состояний с помощью технологии WBAN; в) обнаружение раковых образований — основанные на WBAN датчики способны мониторить раковые клетки и тем самым обеспечивать диагностику опухоли без биопсии.

3) дистанционное управление медицинскими устройствами: а) WBAN позволяет создавать сети устройств и служб на дому, известных как технологии организации вспомогательной жизненной среды (англ. Ambient Assisted Living, AAL), где каждый WBAN обеспечивает беспроводную связь с внутренней медицинской сетью [18]. AAL направлена на продление самостоятельного ухода за пациентами, которым оказывается помощь в их доме, сведение к минимуму зависимости от интенсивного личного ухода, повыше-

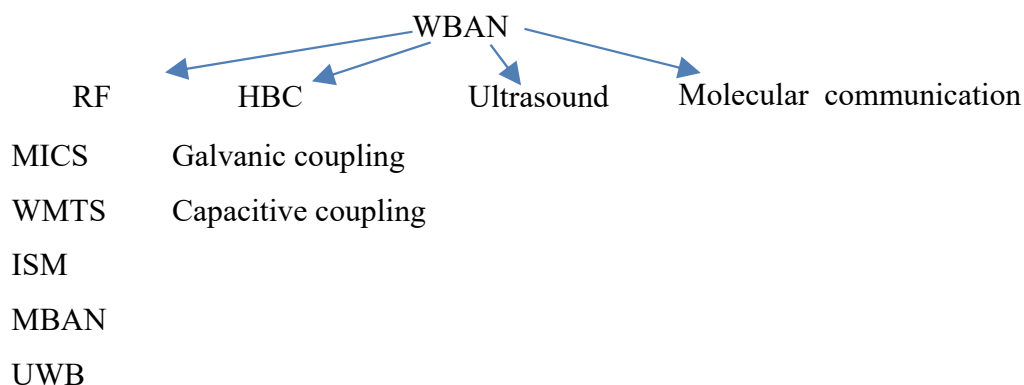


Рис. 1. Классификация технологий передачи данных в устройствах WBAN

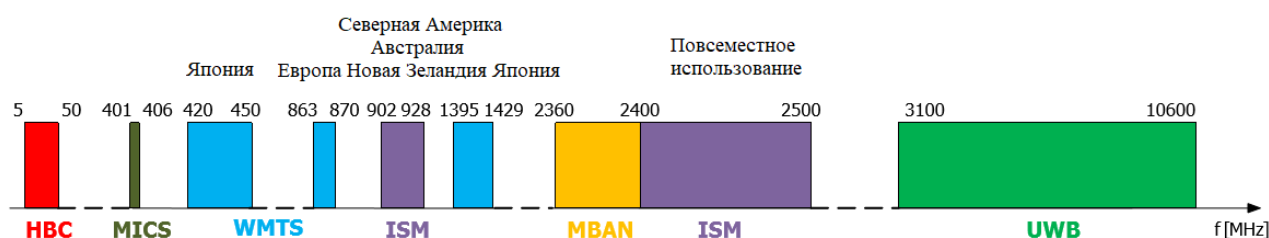


Рис. 2. Частоты действия радиочастотных методов

ния качества жизни; б) мониторинг пациентов — одним из ключевых применений WBAN является его использование для мониторинга жизненно важных сигналов, а также для обеспечения обратной связи в реальном времени; в) телемедицинские системы — доступные телемедицинские системы используют протоколы с высоким потреблением мощности, такие как Bluetooth, которые открыты для помех от других устройств, работающих на той же частоте, или выделенные беспроводные каналы для передачи информации на удаленные станции. Именно поэтому они ограничивают длительный мониторинг, в то время как интеграция WBAN в систему телемедицины позволяет проводить длительные периоды ненавязчивого мониторинга состояния амбулаторного здоровья.

2. Классификация WBAN по типу используемой технологии беспроводной связи. Устройства WBAN возможно классифицировать в соответствии с используемой технологией беспроводной связи [19]. На рис. 1 представлена классификация этих технологий [20].

Большинство работ, которые можно найти в литературе, касаются WBAN, основанных на радиочастотных методах (RF), которые также возможно разделить в зависимости от частоты полосы, в которой они работают (рис. 2).

Некоторые применяемые типы полос передачи данных в устройствах WBAN, основанные на RF-технологиях.

Диапазоны частот беспроводной медицинской телеметрии (англ. *Wireless Medical Telemetry System, WMTS*) и *медицинских имплантатов* (англ. *Medical Implant Communication Service, MICS*) были предназначены исключительно для медицинских и имплантированных медицинских приложений, которым требуется простая двухточечная связь. Они были введены для преодоления ограничений диапазона, скорости передачи

битов и надежности, налагаемых технологией связи с магнитной связью, используемой в ранних беспроводных медицинских устройствах. В пределах диапазона MICS можно достичь скорости передачи до 400 кбит/с при диапазоне связи около 2 метров, чтобы удовлетворить требованиям приложения, таким как кардиостимуляторы, имплантированный дефибриллятор и нейростимулятор.

Нелицензированные диапазоны промышленных, научных и медицинских радиополос (Industrial, Scientific and Medical, ISM) определяются Международным союзом электросвязи (МСЭ) и предназначены для целей, отличных от телекоммуникаций, и некоторые из них подпадают под действие определенных правил радиосвязи, в которой планируется функционирование этой системы. Будучи нелицензированными, группы ISM подвержены проблемам сосуществования, которые должны обязательно учитываться дизайнером WBAN.

Следующим вариантом являются *сверхширокие полосы* (Ultra-Wide Band (UWB)). Некоторые положительные особенности, которые делают UWB хорошей технологией для WBAN, — низкая восприимчивость к многолучевому замиранию, что повышает производительность внутренних систем, снижает восприимчивость к помехам, обеспечивает высокую скорость передачи данных (до 500 Мбит/с). Более того, это искробезопасная связь, что возможно благодаря низкой энергии и спектральной плотности, которая ниже уровня шума обычных приемников и простоте архитектуры приемопередатчика.

Основное внимание в этом вопросе уделяется, в первую очередь, RF WBAN, однако недавние работы показали, что в этой структуре могут применяться другие парадигмы беспроводной связи. Один из таких методов не является ни беспроводным, ни проводным, на самом деле он использует человеческий организм как среду связи. Он называется *коммуникацией внутри тела* (Human Body Communication, HBC). Сигнал распространения через организм человека возможен посредством емкостной связи человеческого тела с окружающей его средой и гальванической связи, достигаемой путем слияния переменного тока в человеческом теле. Преимущества использования HBC в WBAN: внутренняя безопасность, поскольку сигналы передаются на сравнительно небольшом расстоянии и для получения данных требуется контакт с телом; потребление энергии может поддерживаться на один порядок ниже по сравнению с UWB со скоростью около 10 Мбит/с, сосуществование с другой HBC WBAN возможно, потому что сообщение ограничено или находится в непосредственной близости от человеческого тела. Из-за их внутренней биосовместимости молекулярные коммуникации на основе диффузии перспективны для применения наномедицины, к примеру, для восстановления цикла обратной связи глюкозы у пациентов с диабетом, а также для распознавания и уничтожения опухолей с помощью сконструированных бактерий, или даже внутриклеточная хирургия с нанороботами.

Ультразвуковые волны используются десятилетиями в качестве предпочтительного технологического решения для подводных коммуникаций, и поэтому они считаются подходящим вариантом для обеспечения связи внутри человеческого тела, которое в основном состоит из воды. Для них должны реализовываться надежные PHY и MAC уровни сети. Это необходимо для поддержания высокой пропускной способности и возможности реализации WBAN на основе ультразвуковой связи.

3. Системные требования для устройств WBAN. Разработка WBAN является сложной задачей, поскольку подразумевает соответствие широкому кругу требований, предъявляемых приложениями [21]. Наиболее важные требования, рекомендованные IEEE

Таблица 2

Список требований скорости передачи данных (в битах) к различным приложениям WBAN

Сфера применения WBAN	Скорость передачи потока цифровых данных	Время задержки	Частота появления ошибочных битов
Глубокая стимуляция мозга	< 320,000 Кбит/с	< 250 мс	< 10^{-10}
Введение лекарств	< 16,000 Кбит/с	< 250 мс	< 10^{-10}
Капсульная эндоскопия	1,000 Мбит/с	< 250 мс	< 10^{-10}
ЭКГ	192,000 Кбит/с	< 250 мс	< 10^{-10}
Электроэнцефалограмма	86,400 Кбит/с	< 250 мс	< 10^{-10}
Электромиограмма	1,536 Мбит/с	< 250 мс	< 10^{-10}
Контроль уровня сахара в крови	< 1,000 Кбит/с	< 250 мс	< 10^{-10}
Потоковая аудиозапись	1,000 Мбит/с	< 20 мс	< 10^{-5}
Потоковая видеозапись	< 10,000 Мбит/с	< 100 мс	< 10^{-3}
Воспроизведение голоса	50–100 Кбит/с	< 100 мс	< 10^{-3}

TG6 (англ. Task Group, целевая группа IEEE 802.15.6 для разработки стандарта сетей датчиков мониторинга показателей тела человека), подробно описаны в этом разделе [22].

Скорость передачи данных и качество обслуживания. Требование к скорости передачи потока цифровых данных варьируется в зависимости от сферы применения и типа передаваемых данных (табл. 2). К тому же, в медицинских и военных приложениях должно быть гарантировано высокое качество обслуживания (англ. Quality of Service, QoS), и минимальная частота появления ошибочных битов [23, 24]. Для соответствия этим требованиям должны быть реализованы методы коррекции ошибок и предотвращения помех на уровнях MAC и PHY [25].

Диапазон и топология сетей для WBAN. Расстояние, на котором происходит передача данных, не должно превышать нескольких метров (3–6 м) для большинства приложений. Таким образом, простой звездной топологии обычно достаточно, однако человеческий организм может представлять собой препятствие для распространения радиоволн, особенно для имплантированных узлов [26]. В этом случае должна быть установлена связь с несколькими переходами. Количество узлов, образующих WBAN, колеблется от двух (например, для глюкометра) до десяти и может меняться во время выполнения. Поэтому сеть должна внедрять надежные процедуры подключения и отключения, чтобы позволить узлам присоединиться или покинуть сеть по мере необходимости.

Защита личной информации. Проблема безопасности имеет первостепенное значение, особенно в случае медицинских и военных приложений, и ее следует решать с позиции обеспечения конфиденциальности, доступности, авторизации и целостности. Каждый из стандартов, предназначенных для использования в контексте WBAN, предоставляет методы решения этих проблем. Обычные механизмы шифрования данных или процесс аутентификации не идеально подходят для таких сетей из-за ограниченной мощности обработки, памяти и ограничений энергии в узлах WBAN. Следовательно, разрабатываются новые облегченные и ресурсосберегающие методы. В этом контексте перспективным решением является использование механизмов, основанных на биометрической идентификации [27].

Использование антенн и радиоканалов. Следует с большим вниманием относиться к конструированию антенн для устройств WBAN, соблюдая компромисс между размерами

антенн и их эффективностью. Кроме того, нельзя пренебрегать влиянием человеческого тела на характеристики излучения и поляризации антенны, зависимости от специфики расположения устройства. Для использования антенны является обязательной хорошая характеристика радиоканала, способная обеспечить соответствующие свойства излучения.

Потребляемая мощность. Потребление энергии очень зависит от характера приложения. Тем не менее, устройства WBAN обычно питаются от батареи, и срок службы батареи должен составлять до нескольких лет для имплантированных устройств (например, для кардиостимуляторов требуется не менее пяти лет).

Помехоустойчивость. Большинство WBAN предназначены для работы в зоне ISM с центром в 2,45 ГГц. Это перенасыщенный радиодиапазон, действительно, в этой полосе работают Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), IEEE 802.15.4 / ZigBee и другие стандарты. Многие приложения WBAN (например, медицинские приложения) требуют очень высокой надежности, особенно когда необходимо передавать аварийные сигналы или критическую информацию, поэтому следует изучить и внедрить методы, позволяющие избежать или уменьшить помехи.

Типоразмер устройств WBAN. Ограничения размера могут быть строгими; наиболее важным аспектом этого является установка антенны и аккумулятора в очень плотный корпус, обеспечивая при этом хорошую радиационную характеристику и срок службы. Во всяком случае, это относится в основном к имплантируемым устройствам, когда узел WBAN предназначен для ношения, гибкость и растяжимость могут быть более важными для удобства пользователя, особенно в спорте, фитнесе и военных приложениях.

Обработка сигналов. Узлы WBAN ограничены в потреблении энергии, а радиосхемы часто являются очень энергозатратной частью систем. Однако эффективные технологии обработки сигналов могут помочь дизайнеру контролировать потребление энергии, связанную с приобретением и анализом биологических сигналов. Так, сжатое считывание (англ. compressed sensing, CS) — метод, позволяющий экономить энергию без потери информации, содержащейся в ней, применяется ко многим сценариям WBAN, таким как EEG, ЭКГ и EMG.

Безопасность технологии для человеческого организма. На частотах, представляющих интерес для WBAN, производятся только такие известные эффекты, сказывающиеся на здоровье человеческих тканей, как нагрев. Международная комиссия по защите от неионизирующей радиации (англ. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) определяет общие ограничения и рекомендации, которые должны соблюдаться для обеспечения безопасности здоровья, когда организм подвергается воздействию электромагнитных полей [28]. Для диапазона частот от 100 кГц до 10 ГГц такие ограничения устанавливаются с использованием удельного коэффициента поглощения (англ. Specific Absorption Rate, SAR). SAR показывает, какая энергия электромагнитного поля поглощается в тканях тела человека за единицу времени, выражается в единицах ватт на килограмм [Вт/кг]. Устройства с малой потребляемой мощностью, такие как WBAN, обладают приемлемым SAR [29, 30].

4. Обзор стандартов для реализации WBAN. Стандартизация программных средств и технологий способствует повышению надежности спецификаций, используемых при разработке продукции, снижению затрат поставщиков и потребителей и расширению потенциального круга поставщиков [31]. Кроме того, высокая функциональная совместимость обеспечивает более широкое использование и распространение технологий. В этом разделе описываются основные решения, рассматриваемые в качестве эталона: стандар-

ты IEEE 802.15.4 [32] и IEEE 802.15.6 [33], а также беспроводная технология Bluetooth с низким энергопотреблением [34] (англ. Bluetooth low energy, (Bluetooth LE, BT LE)).

Первый из перечисленных стандартов был опубликован в 2006 году, определив уровни PHY и MAC основой для ближней беспроводной связи. Разработан для поддержки сетей с низкой мощностью, низкой стоимостью и низкой скоростью передачи. В настоящее время это можно рассматривать как стандарт для беспроводных сенсорных сетей [35] (англ. Wireless sensor networks, WSN). Второе стандартное решение предназначено специально для беспроводной связи в непосредственной близости от человеческого тела или внутри него. IEEE 802.15 Task Group 6 инициировала деятельность по стандартизации WBAN в ноябре 2007 года, признав, что существующие стандарты не полностью отвечают медицинским (близость к тканям человека) и соответствующим нормам связи для некоторых прикладных сред, и они не подходят для поддержки сочетания надежности, низкой мощности, высокой скорости передачи данных и помехоустойчивости. Первый релиз был выпущен в мае 2010 года, окончательная версия была опубликована в феврале 2012 года. Наконец, Bluetooth LE обладает сверхнизким энергопотреблением (спецификация Bluetooth). Bluetooth LE нацелен на несколько приложений для небольших и дешевых устройств, питаемых от батарей с кнопочными элементами, таких как беспроводные датчики.

Стандарт IEEE 802.15.4: низкоскоростные WPAN. Беспроводная технология по стандарту IEEE 802.15.4 представляет собой короткую (до 100 м) систему связи, предназначенную для приложений с ограниченными требованиями к пропускной способности и защищенности в беспроводных персональных вычислительных сетях (WPAN). Ключевыми особенностями беспроводной технологии IEEE 802.15.4 являются низкие сложность, стоимость и энергопотребление, а также передача данных с низкой скоростью. Основными областями применения этой технологии являются приложения WSN. Поддерживаемые сетевые топологии — это звезда, дерево и сетка. IEEE 802.15.4 стандартизирует два нижних уровня стека протоколов ISO/OSI, а именно уровни PHY и MAC. Существуют два варианта определения верхнего уровня: протоколы ZigBee, указанные промышленными консорциумами ZigBee Alliance (ZigBee — спецификация сетевых протоколов верхнего уровня — уровня приложений APS (англ. application support sublayer) и сетевого уровня NWK, — использующие сервисы нижних уровней — уровня управления доступом к среде MAC и физического уровня PHY, регламентированных стандартом IEEE 802.15.4.), и 6LoWPAN (англ. IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network — стандарт взаимодействия по протоколу IPv6 поверх маломощных беспроводных персональных сетей стандарта IEEE 802.15.4, а также название рабочей группы, проектирующей этот стандарт).

Стандарт IEEE 802.15.4 определяет алгоритм шифрования, который будет использоваться при шифровании передаваемых данных, однако стандарт не указывает, как управлять ключами или какие политики аутентификации должны применяться. Эти проблемы решаются протоколами верхних уровней, которыми управляет ZigBee. Используемый алгоритм шифрования — AES (Advanced Encryption Standard) является симметричным алгоритмом блочного шифрования с длиной ключа 128 бит. Алгоритм AES используется не только для шифрования информации, но и для проверки данных, которые отправляются. Эта концепция называется целостностью данных и достигается с помощью кода целостности сообщений (MIC), который добавляется к сообщению. Этот код обеспечивает целостность заголовка MAC и данных полезной нагрузки. ZigBee реализует два дополнительных

уровня безопасности поверх IEEE 802.15.4: уровни безопасности сети и приложений. Все политики безопасности основаны на алгоритме шифрования AES 128 бит.

Стандарт IEEE 802.15.6: сеть мониторинга показателей тела человека. Все утвержденные стандарты 802.15.x предлагают уровни PHY и MAC [36]. Они не поставляют ни один сетевой, транспортный или прикладной уровень и поэтому требуют от других сторон их разработки [37].

Рабочая группа IEEE 802.15.6 (WBAN) определила новые уровни физического (PHY) и среднего уровня доступа (MAC) для WBAN, которые обеспечивают низкую сложность, низкую стоимость, высокую надежность, сверхнизкую мощность и короткую беспроводную связь в пределах или вокруг тела человека [12, 38, 39]. В стандарте также упоминаются объект управления логическим узлом и объект управления концентратором, которые обмениваются служебной информацией с MAC протоколами, протоколами физического и другими уровнями.

Была определена следующая классификация физического уровня:

- узкополосный канал (англ. Narrowband, NB);
- сверхширокая полоса (англ. Ultra-Wide Band, UWB);
- коммуникация внутри тела человека (англ. Human Body Communication, HBC).

В случае передачи сигнала по узкополосному каналу совместимое устройство должно поддерживать обмен данными по меньшей мере в одном из следующих необязательных диапазонов частот: 402–405 МГц, 420–450 МГц, 863–870 МГц, 902–928 МГц, 950–958 МГц, 2360–2400 МГц, 2400–2483 и 5 МГц. В частности, последний находится в ISM-диапазоне, и он чрезвычайно интересен из-за его доступности по всему миру, но могут возникать проблемы сосуществования с другими стандартами, работающими в одной и той же полосе частот (например, IEEE 802.15.4).

UWB делится на низкую (3,25–4,75 ГГц) и высокую (6,6–10,25 ГГц) полосы, обе подразделяются на рабочие каналы шириной 500 МГц каждый. UWB PHY специально разработан для обеспечения надежной работы с высоким качеством, низкой сложностью и сверхнизкой мощностью.

Для коммуникации внутри тела человека используется человеческий организм как среда связи. Полоса работы центрирована на частоте 21 МГц с полосой пропускания 5,25 МГц. Все технологии, представленные в списке, позволяют передачу сигнала на расстояние до 3-х метров.

Рабочая группа IEEE 802.15.6 определяет уровень MAC поверх уровня PHY для управления доступом к каналу. Хаб (координатор) реализует принцип временного мультиплексирования канала с использованием цепочки суперкадров. Для координации используются импульсы маяка, суперкадры образованы интервалами равной длины между импульсами. Хаб также может изменять режим работы маяка. Обычно импульсы посылаются в каждый период активности маяка, если только это не заблокировано правилами в полосе MICS или неактивными суперкадрами.

Технология Bluetooth с низким потреблением энергии. Беспроводная технология Bluetooth представляет собой систему связи малого радиуса действия, предназначенную для замены кабеля (кабелей), соединяющего портативные и/или стационарные электронные устройства. Ключевыми характеристиками беспроводной технологии Bluetooth являются надежность, низкое энергопотребление и низкая стоимость. Существуют две основные конфигурации базовых систем Bluetooth: с базисной скоростью передачи (англ. Basic Rate, BR), с опциональной скоростью передачи данных (англ. Enhanced Data Rate, EDR) и

с низким энергопотреблением (англ. Low Energy, LE). BR — это „классический“ Bluetooth, который обеспечивает скорость передачи до 3 Мбит/с с EDR. Система LE включает в себя функции, предназначенные для реализации продуктов, характеризующихся меньшим потреблением тока, дальностью передачи до 30 м, меньшей сложностью и более низкой стоимостью, чем BR / EDR. Система LE также предназначена для использования и применения с более низкими скоростями передачи и рабочими циклами. LE нацелена на небольшие и дешевые устройства с питанием от кнопочных батарей, такие как беспроводные сенсорные устройства, для нескольких применений: спорт и фитнес (спортивное оборудование и контрольные приборы, спидометр, измеритель сердечного ритма, шагомер), уход и лечение заболеваний (монитор артериального давления, глюкометр, пульсометр), домашняя автоматизация и развлечения (пульты дистанционного управления, домашние датчики и переключатели), автомобильная (контроль давления в шинах, ассистент парковки, вход без ключа), устройства для ношения на запястье/встраивания в часы (музыкальные проигрыватели и мобильные устройства телефоны, дистанционное управление, обнаружение близости) [40]. Bluetooth LE работает в диапазоне ISM 2,45 ГГц, где определены 40 каналов, каждый из которых имеет ширину 2 МГц.

Поскольку Bluetooth является широко известной и широко распространенной технологией, это может быть хорошим вариантом для WBAN. Самые последние мобильные телефоны и планшеты оснащены двухрежимным Bluetooth-радио, а некоторые устройства мониторинга, оснащенные LE, уже можно найти на рынке (например, ремни с пульсометром). Основными недостатками Bluetooth LE являются отсутствие использования нескольких технологий и ограниченная масштабируемость.

5. Характеристики устройств WBAN. Типы узлов. Узел в WBAN определяется как независимое устройство с возможностью связи. Узлы могут быть классифицированы в три разные группы на основе их функциональности, реализации и роли в сети.

Классификация узлов в WBAN на основе функциональности выглядит следующим образом:

- персональные устройства;
- датчики;
- приводы.

Персональное устройство (англ. Personal Device (PD)) — это устройство, отвечающее за сбор всей информации, полученной от датчиков и исполнительных механизмов, и взаимодействие с другими пользователями. Затем PD информирует пользователя через внешний шлюз, дисплей/светодиоды на устройстве или приводе [41].

Сенсоры WBAN измеряют определенные параметры в организме, как внутри, так и снаружи [42]. Эти узлы собирают и реагируют на данные о физических стимулах, обрабатывают необходимые данные и обеспечивают обмен информацией по беспроводным каналам.

Привод взаимодействует с пользователем при получении данных с датчиков. Его роль заключается в обеспечении обратной связи в сети, воздействуя на данные датчиков, например, накачивая правильную дозировку лекарственного средства в организм в приложениях для домашнего ухода.

IEEE 802.15.6 предложил другую классификацию для узлов в WBAN на основе того, как они реализованы внутри тела, что представлено следующим образом [43]:

- имплантируемые узлы;
- узлы поверхности тела;

— внешние узлы.

Имплантируемый узел — этот тип узла высаживается в человеческом теле, либо непосредственно под кожей, либо внутри ткани тела.

Узел поверхности тела — этот тип узла либо расположен на поверхности человеческого тела, либо на расстоянии 2 сантиметра от него.

Внешний узел — не находится в контакте с человеческим телом и на расстоянии нескольких сантиметров от человеческого тела.

Классификация узлов в WBAN на основе их роли в сети выглядит следующим образом:

- координаторы;
- конечные узлы;
- реле.

Узел координатора — это как шлюз для внешнего мира, другого WBAN, центра доверия или координатора доступа. Координатором WBAN является КПК (карманный персональный компьютер, англ. Personal Digital Assistant, PDA — „личный цифровой секретарь“), через который взаимодействуют все остальные узлы.

Конечные узлы в WBAN ограничены выполнением встроеного приложения. Однако они не способны передавать сообщения из других узлов.

Промежуточные узлы называются реле [44]. Они имеют родительский узел, имеют дочерний узел и ретранслируют сообщения. В сущности, если узел находится на конечности (например, на стопе), любые переданные данные должны быть переданы другими узлами до достижения КПК. Узлы реле также могут быть способны воспринимать данные.

Топология WBAN. Хотя количество узлов в WBAN обычно не ограничено, из-за ограничений в характере сети с точки зрения протоколов связи, архитектуры сети и методов передачи, их число может быть ограничено в реальных сценариях приложений.

Рабочая группа IEEE 802.15.6 рассмотрела системы WBAN, реализованные с использованием топологии типа „звезда“ с одним или двумя транзитными звеньями (хопами), причем узел в центре звезды размещен в районе талии [45, 46]. В топологии с одним хопом существует два возможных типа [47] передачи данных: передача от устройства координатору и передача от координатора к устройству. Данный узел контролирует сеансы связи, при этом маяк может использоваться или нет. В режиме с маяком координатор сети передает периодические сигналы, используемые для определения начала и конца суперкадра, синхронизации устройств и, возможно, иной управляющей информации. Рабочий цикл системы, который является длиной периода маякового радиосигнала, может быть задан пользователем и основан на стандарте WBAN [48, 49]. В режиме без маяка узел в сети может отправлять данные координатору и при необходимости может использовать множественный доступ с прослушиванием несущей и обнаружением коллизий (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA). Узлы должны согласовать с координатором передачу данных. Однако координатор не поддерживает постоянную связь с каждым узлом, узлы должны ждать, пока они не будут приглашены для участия в сеансе связи.

Поскольку в WBAN существуют как топологии с одним хопом, так и двумя хопами, необходимо это принимать во внимание при реализации приложений. Если все узлы в сети напрямую подключены к стоку, сеть считается звездной топологией с одним хопом. В WBAN координатор рассматривается как сток в WSNs, в который передают информацию все узлы. Однако в архитектуре со множеством хопов узлы передают пакеты че-

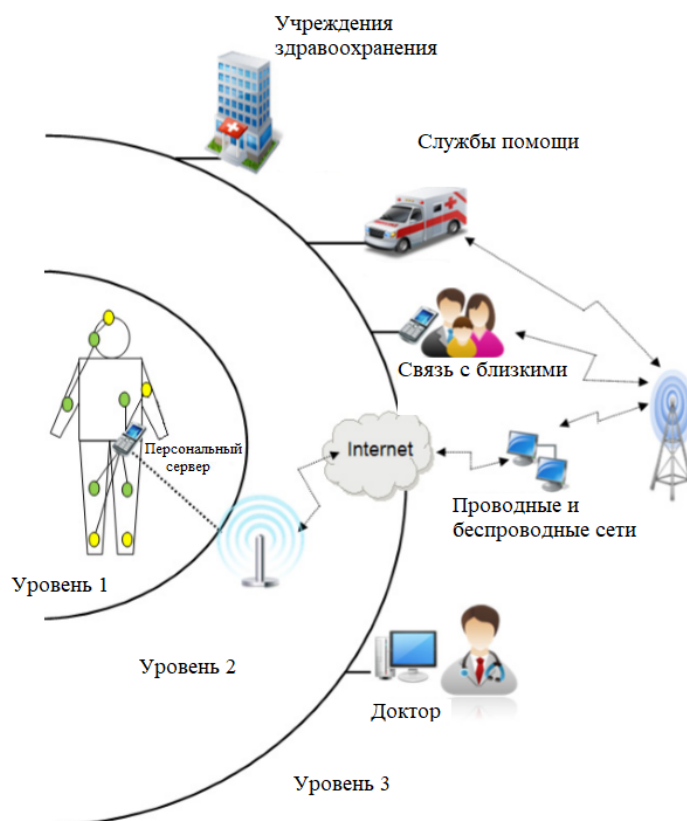


Рис. 3. Уровни связи устройств WBAN

рез множество других узлов. Сравнение между сетью с несколькими хопами (multihop) и топологией звезда с одним хопом [50] выявило, что в первом случае возникают более высокие задержки в передаче пакетов и требуется более низкая мощность передачи сигнала. Конфигурация multihop порождает большие накладные расходы на работу сети. Использование ретрансляторов в WBAN помогает снизить мощность передатчиков [51]. Действительно, чем дальше друг от друга приемник и передатчик, тем больше требуется мощность передачи. Использование ретрансляторов решает данную проблему. Видимо, поэтому в последней версии стандарта IEEE, предложенной для WBAN в феврале 2012 года [52], рассматриваются топологии не более двух хопов. Частные системы могут использовать топологии, содержащие более одного транзитного узла, но тогда у них возникнет проблема совместимости, поскольку они не будут соответствовать стандарту.

Архитектура передачи данных. Архитектура связи WBAN может быть разделена на три разных уровня:

- уровень 1: внутри сети WBAN;
- уровень 2: связь между WBAN;
- уровень 3: связь за пределами WBAN.

На рис. 3 проиллюстрированы эти уровни связи.

Уровень 1 изображает сетевое взаимодействие узлов и их соответствующих диапазонов передачи (~ 2 метра) внутри и вокруг человеческого тела. На рисунке показана связь WBAN в пределах WBAN и между WBAN и его несколькими уровнями. В Tier-1 пе-



Рис. 4. Архитектура на основе инфраструктуры

ременные датчики используются для пересылки сигналов тела на персональный сервер, расположенный на уровне. Обработанные физиологические данные затем передаются в точку доступа на уровне 2 [53].

Уровень связи между системами WBAN находится между персональным сервером и одной или несколькими точками доступа. Точки доступа могут рассматриваться как часть инфраструктуры или даже стратегически размещаться в динамической среде для обработки чрезвычайных ситуаций. Связь уровня 2 предназначена для соединения WBAN с различными сетями, к которым можно легко получить доступ в повседневной жизни, а также с сотовыми сетями и в Интернетом. Чем больше технологий поддерживается WBAN, тем легче их интегрировать в приложения. Парадигмы взаимодействия между WBAN подразделяются на две подкатегории следующим образом:

- архитектура на основе инфраструктуры;
- архитектура „эд-хок“ (англ. ad-hoc [54]).

Архитектура на основе инфраструктуры, изображенная на рис. 4, используется в большинстве приложений WBAN, поскольку она облегчает динамическое развертывание в ограниченном пространстве, таком как больница, а также обеспечивает централизованное управление и контроль безопасности. АР может действовать как сервер базы данных, связанный с ее приложением [55].

В архитектуре на основе ad-hoc несколько точек доступа передают информацию внутри медицинских центров, как показано на рис. 5. Точки доступа в этой архитектуре образуют конструкцию сетки, которая обеспечивает гибкое и быстрое развертывание, позволяя сети легко расширяться, обеспечивать большее радиопокрытие из-за многопролетного распространения и поддержки мобильности пациентов. Диапазон охвата этой конфигурации намного больше по сравнению с архитектурой, основанной на инфраструктуре, и, следовательно, облегчает перемещение по более крупным районам. Фактически это соединение расширяет зону покрытия WBAN от 2 метров до 100 метров, что подходит как для коротких, так и для долгосрочных установок.

Дизайн уровня связи за пределами WBAN предназначен для использования в городских районах. Шлюз, такой как КПК, может использоваться для преодоления связи между уровнем 2 и этим уровнем, по существу от Интернета до медицинского сервера в кон-



Рис. 5. Архитектура на основе ad-hoc

кретной заявке. Тем не менее, дизайн третьего уровня связи является специфическим приложением. В сущности, в медицинской среде база данных является одним из наиболее важных компонентов, относящихся к категории 3, хранящим медицинскую историю и личные данные пациента. Таким образом, доктора могут быть уведомлены о чрезвычайном статусе через Интернет или службу коротких сообщений (SMS). Кроме того, третий уровень позволяет восстановить всю необходимую информацию пациента, которая может быть использована для их лечения. Более того, в зависимости от приложения, персональный сервер на первом уровне может использовать GPRS/3G/4G технологии для того, чтобы соединиться с точками доступа.

6. Открытые проблемы WBAN. *Влияние радиоканалов на производительность WBAN.* Устройства, формирующие WBAN, помещаются на поверхность тела пациента, или даже имплантируются во внутренние органы. Для реализации систем, оптимизированных для телецентрических коммуникаций, глубокое знание работы радиоканала имеет первостепенное значение [56].

При проектировании WBAN исключительно важным является надлежащее определение характеристик радиоканала, необходимо проводить соответствующие исследования. К примеру, функция мощности передаваемого сигнала сильно варьируется в зависимости от положения узлов, более того, происходят резкие изменения до 20 дБ, если человек движется, и производительность WBAN может серьезно пострадать [57]. Таким образом, характеристика связей между узлами должна быть должным образом учтена при разработке и моделировании протоколов MAC и маршрутизации, чтобы обеспечить максимальную продуктивность при передаче сигналов.

Проблемы энергопотребления. Как было отмечено ранее, наиболее перспективные приложения для WBAN находятся в области здравоохранения. В случае, когда одно или несколько устройств должны быть имплантированы или износились, крайне важно уменьшить стресс, вызванный заменой/перезарядкой батареи, что в некоторых случаях может потребовать хирургического вмешательства [58]. Необходимо решить проблему сокращения потребления энергии, реализуя энергоэффективные протоколы уровней PHY и MAC.

Дефицит частот. В настоящее время нелицензированная полоса ISM на частоте 2,45 ГГц сильно загружена из-за ее активного использования во всем мире [59]. Сосущество-

вание WBAN с другими системами, работающими в этой полосе (например, IEEE 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth, IEEE 802.15.4), имеет первостепенное значение для обеспечения надежности в повседневной жизни. Однако до сих пор проблема сосуществования между WBAN и другой сетью, работающей в той же полосе, не была должным образом отражена действующими стандартами [60]. Для улучшения сосуществования необходимо проводить дополнительные исследования, прилагать больше усилий, особенно в случае с Wi-Fi, и использовать мощность передачи выше, чем сейчас принято для WBAN.

Взаимодействие со средой. Для WBANs характерны высокие потери в передаче сигналов из-за абсорбции тела. Потери должны быть минимизированы с помощью гетерогенных и многоходовых связей с различными типами датчиков. Кроме того, изменение условий эксплуатации может привести к ошибкам и неполным данным, собираемым датчиками, из-за присущего им функционального ограничения, позы и движений человека, поломки датчика и помех [61]. Поскольку медицинские учреждения и люди имеют специфические потребности, дизайн имплантатов и носимых на теле устройств значительно варьируется, воздействие электромагнитного поля становится сложно оценить из-за мобильности и многоканальности [62]. Еще более сложные проблемы возникают с точки зрения конструкции антенны из-за определенных ограничений WBAN в форме антенны, материала, размера и вредоносности радиочастотной среды. Также существуют конструктивные ограничения по размеру и форме относительно наблюдаемого органа и его местоположения [63]. Фактически, местоположение имплантата диктует параметры антенны. Кроме того, поскольку имплантаты могут использовать только биологически совместимые и неагрессивные материалы, их антенны не так прочны, как медная антенна.

Проблемы физического уровня. Протоколы уровня РНУ должны быть разработаны для минимизации энергопотребления без ущерба для надежности. Они должны быть удобны и обладать защитой от помех, избегать сбоев в местах, где мощные устройства используют нелицензированные полосы. Один из важнейших показателей при выборе подходящей беспроводной технологии для WBAN связан с ее потреблением энергии. Ожидается, что усовершенствования в области радиочастотной технологии с малой потребляемой мощностью значительно снижают пиковое потребление энергии, что приведет к получению небольших, одноразовых и недорогих решений. Технически, WBAN должны быть масштабируемыми и иметь пиковое потребление энергии между 0,001–0,1 мВт в режиме ожидания и до 30 мВт в полностью активном режиме.

Интерференция. Помехи возникают в тех случаях, когда несколько человек, которые носят однотипные WBAN, входят в радиус действия устройств друг друга, что делает невозможным корректную приемопередачу сигналов [64]. При этом, к 2035 году будет продано 50 триллионов устройств WBAN, и эта цифра будет продолжать расти. Проблемы, обусловленные интерференцией, становятся более заметными при более высокой плотности WBAN.

Проблемы MAC-уровня. Механизмы, приведенные в IEEE 802.15.6 [65], не обеспечивают надлежащую реализацию протокола MAC. Фактически, только основные требования для обеспечения совместимости между устройствами IEEE 802.15.6 были изложены в терминах протоколов обмена сообщениями и форматов пакетов, в то время как остальные аспекты выбора параметров протоколов не были рассмотрены.

У WBAN также есть специфические требования к QoS, которые должны быть удовлетворены используемым MAC протоколом [66]. Для этой цели требуется высокая частота дискретизации датчиков в WBAN, позволяющая передавать данные как можно скорее или

передавать пакеты данных в самый короткий срок. Например, в чрезвычайных ситуациях протокол MAC должен обеспечивать быстрый доступ своих узлов к каналу для передачи жизненно важных данных координатору.

Проблемы безопасности. Несмотря на то, что проблемы безопасности в большинстве сетей имеют высокий приоритет, в этой области для WBAN мало сделано. Кроме того, из-за жестких ограничений ресурсов с точки зрения мощности, памяти, скорости связи и вычислительных возможностей, а также из-за плохо формализованных уязвимостей, присущих данной новой технологии, существующие механизмы безопасности, предлагаемые для других сетей связи, не применимы к WBAN [63]. Необходимо разработать более эффективные с точки зрения затрат и легкие протоколы безопасности [64], исследовать проблему отказоустойчивости WSN [65, 66], анализировать существующие и перспективные угрозы, характерные только для WBAN. Например, противник может быть способен вызвать сердечную недостаточность путем обнаружения и использования уязвимостей в имплантированном сердечном дефибрилляторе. Кроме того, для массового спроса на WBAN важны многочисленные нетехнические факторы, такие как комфорт, удобство для пользователя, нормативная база, доступность, нормативные, урегулирование этических и юридических вопросов.

Практическое развертывание WBAN и интеграция удобных механизмов безопасности требует знания требований безопасности WBAN, которые включают следующие аспекты: надежность управления, доступность данных, аутентификация данных и пользователей, целостность данных, конфиденциальность, актуальность данных.

Стандарт IEEE 802.15.6 предложил парадигму безопасности для WBAN, которая определяет три уровня безопасности следующим образом [61]:

- уровень 0: незащищенная связь, самый низкий уровень безопасности, в котором даже не предпринимается мер для проверки целостности, аутентификации, обеспечения конфиденциальности и т. п.;

- уровень 1: аутентификация (без шифрования), на этом уровне безопасности данные передаются в аутентифицированных, но незашифрованных кадрах. Уровень предусматривает меры по проверке целостности, аутентичности и защите от дублирования, но не обеспечивает конфиденциальность;

- уровень 2: аутентификация и шифрование, самый высокий уровень безопасности, при котором сообщения передаются в аутентифицированных и зашифрованных кадрах; поэтому, обеспечивая меры для проверки целостности, аутентичности, защиты от дублирования и конфиденциальности. Он охватывает вопросы, связанные с уровнем 0 и уровнем 1.

Таким образом, несмотря на то, что технологии WBAN способны обеспечить значительные улучшения в жизни людей всего мира, в этой области остаются нерешенными проблемы, которым необходимо уделить серьезное внимание, прежде чем широко использовать WBAN. Например, в настоящее время проводятся активные исследования в следующих областях: совместимость WBAN и других беспроводных технологий, конфиденциальность, отказоустойчивость и энергоэффективность [67] WSN (архитектурная основа WBAN), дизайн биосенсора, улучшение моделей мониторинга [68], оптимизация MAC протоколов и поддержка QoS [69], мобильность стоков и масштабируемость сетей [70], стандартизация интерфейсов и проектирование полнофункциональных приложений.

Список литературы

1. MILENKOVIC, C. OTTO, AND E. JOVANOV. Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation // Computer Communications. Special issue: Wireless Sensor Networks: Performance, Reliability, Security, and Beyond. 2006. V. 29. P. 2521–2533.
2. ДЕНИСЕНКО М. Б. Население России до 2025 года // Pro et Contra. 2012. Т. 16. № 4–5. С. 153–170.
3. CHEN M., GONZALEZ S., VASILAKOS A., CAO H., AND LEUNG V. Body area networks: A survey // Mobile Networks and Applications. 2011. V. 16. P. 171–193.
4. ULLAH S., SHEN B., ISLAM S. M. R., KHAN P., SALEEM S., AND KWAK K. S. A study of medium access control protocols for wireless body area networks / arXiv preprint arXiv:1004.3890, 2010.
5. IEEE standard for local and metropolitan area networks: Part 15.6: Wireless body area networks // IEEE submission, February 2012.
6. SMITH AND L. HANLEN. Wireless body area networks : Towards a wearable intranet. ISCIT Tutorial, September 2012.
7. KWON H. AND LEE S. Energy-efficient multi-hop transmission in body area networks // in 20th IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC). September 2009. P. 2142–2146.
8. HANSON M., POWELL H., BARTH A., RINGGENBERG K., CALHOUN B., AYLOR J., AND LACH J. Body area sensor networks: Challenges and opportunities // Computer. Jan. 2009. V. 42. P. 58–65.
9. DISHMAN. Inventing wellness systems for aging in place // Computer. May 2004. V. 37. P. 34–41.
10. XING J. AND ZHU Y. A survey on body area network. // in 5th Int. Conf. on Wireless Communications. Networking and Mobile Computing (WiCom '09). Sept. 2009. P. 1–4.
11. ULLAH S., HIGGIN H., SIDDIQUI M. A., AND KWAK K. S. A study of implanted and wearable body sensor networks // in Proc. 2nd KES Int. Conf. on Agent and multi-agent systems: technologies and applications, (Berlin, Heidelberg). Springer-Verlag. 2008. P. 464–473.
12. WANG B. AND PEI Y. Body area networks / Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications, Edited by Borko Furht, Taylor and Francis. 2007. V. 98.
13. ULLAH S., KHAN P., ULLAH N., SALEEM S., HIGGINS H., AND KWAK K. A review of wireless body area networks for medical applications / arXiv preprint arXiv:1001.0831. 2010. V. abs/1001.0831.
14. LIPPRANDT M., EICHELBERG M., THRONICKE W., KRUGER J., DRUKE I., WILLEMSSEN D., BUSCH C., FIEHE C., ZEEB E., AND HEIN A. Osamid: An open service platform for healthcare monitoring applications // in 2nd Conf. on Human System Interactions (HSI'09). IEEE, 2009. P. 139–145.
15. NEHMER J., BECKER M., KARSHMER A., AND LAMM R. Living assistance systems: an ambient intelligence approach // in Proc. 28th Int. Conf. on Software engineering. ACM, 2006. P. 43–50.
16. LATRE B., BRAEM B., MOERMAN I., BLONDIA C., AND DEMEESTER P. A survey on wireless body area networks // Wirless Network. Jan. 2011. V. 17. P. 1–18.
17. N. DE VICQ, ROBERT F., PENDERS J., GYSELINCKX B., AND TORFS T. Wireless body area network for sleep staging // in IEEE Biomedical Circuits and Systems Conf. (BIOCAS 2007). 2007. P. 163–166.
18. LEWIS D. 802.15.6 call for applications-response summary / in 1508-0407-00-0006-tg6-applications-summary.doc.
19. GOPALAN S. AND PARK J.-T. Energy-efficient mac protocols for wireless body area networks: Survey // in Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT) Int. Congress. 2010. P. 739–744.
20. SMITH D., MINIUTTI D., LAMAHEWA T. A., AND HANLEN L. Propagation models for body area networks: A survey and new outlook // IEEE Antennas and Propagation Mag., Dec. 2013.

21. CARRANO R., PASSOS D., MAGALHAES L., AND ALBUQUERQUE C. Survey and taxonomy of duty cycling mechanisms in wireless sensor networks // IEEE Commun. Surveys Tutorials. 2013. V. P. N 99. P. 1–14.
22. SUDEVALAYAM S. AND KULKARNI P. Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications // IEEE Commun. Surveys Tutorials. 2011. V. 13. N 3. P. 443–461.
23. Specification of the Bluetooth System version 4.0. Bluetooth SIG. June 2010. [El. Res.]: <http://www.bluetooth.com>.
24. PATEL M. AND WANG J. Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies // IEEE Trans. Wireless Commun. Feb. 2010. V. 17. N 1. P. 80–88.
25. CAO H., LEUNG V., CHOW C., AND CHAN H. Enabling technologies for wireless body area networks: A survey and outlook // IEEE Commun. Mag. Dec. 2009. V. 47. N 12. P. 84–93.
26. KHAN W., XIANG Y., AALSALEM M., AND ARSHAD Q. Mobile phone sensing systems: A survey // IEEE Commun. Surveys Tutorials. 2013. V. 15. N 1. P. 402–427.
27. BRADLEY P. D. Implantable ultralow-power radio chip facilitates inbody communications // RF DESIGN. 2007. V. 30. N 6. P. 20.
28. YUCE M. R. AND HO C. K. Implementation of body area networks based on mics/wmts medical bands for healthcare systems // in 30th Annu. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. IEEE, 2008. P. 3417–3421.
29. TACHTATZIS C., FRANCO F., TRACEY D., TIMMONS N., AND MORRISON J. An energy analysis of IEEE 802.15.6 scheduled access modes // in IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps). Dec. 2010. P. 1270–1275.
30. KHAN J. Y., YUCE M. R., BULGER G., AND HARDING B. Wireless body area network (wban) design techniques and performance evaluation // J. of medical systems. 2012. V. 36, N 3. P. 1441–1457.
31. IEEE 802.15.4 Standard, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). Piscataway, New Jersey, 08855-1331: IEEE, 2006. [Electron. Res.]: [//standards.ieee.org/getieee802/802.15.html](http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html)
32. IEEE standard for local and metropolitan area networks part 15.6: Wireless body area networks. IEEE Std 802.15.6-2012. February 2012. P. 1–271.
33. REDDY P., REDDY P. B., AND REDDY V. K. Body area networks // J. of Telematics and Informatics. 2013. V. 1, N 1.
34. ASTRIN W., LI H.-B., AND KOHNO R. Standardization for body area networks // IEICE Trans. Commun., 2009. N 2, P. 366–72.
35. ELHADJ BEN, CHAARI L., AND KAMOUN L. A survey of routing protocols in wireless body area networks for healthcare applications // Int. J. of E-Health and Medical Commun. (IJEHMC). 2012. P. 1–18.
36. KWAK K., ULLAH S., AND ULLAH N. An overview of IEEE 802.15.6 standard // in 3rd Int. Symp. on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL). Nov. 2010. P. 1–6.
37. ULLAH S., HIGGINS H., BRAEM B., LATRE B., BLONDIA C., MOERMAN I., SALEEM S., RAHMAN Z., AND KWAK K. A comprehensive survey of wireless body area networks // J. of Medical Systems. 2010. P. 1–30.
38. NEHMER J., BECKER M., KARSHMER A., AND LAMM R. Living assistance systems: an ambient intelligence approach // in Proc. 28th Int. Conf. on Software engineering. ACM, 2006. P. 43–50.
39. SCHWOERER LI. Y., YOON J., FARSEOTU J., YANG W., SAYRAFIAN K., MINIUTTI D., AND LEWIS D. IEEE 802.15.6 regulation subcommittee report. May 2010.
40. BOULIS, D. SMITH, MINIUTTI D., LIBMAN L., AND TSELISHCHEV Y. Challenges in body area networks for healthcare: the mac // IEEE Commun. Mag. May 2012. V. 50. N 5. P. 100–106.

41. ULLAH S., HIGGINS H., BRAEM B., LATRE B., BLONDIA C., MOERMAN I., SALEEM S., RAHMAN Z., AND KWAK K. A comprehensive survey of wireless body area networks // J. of Medical Systems. 2012. V. 36. P. 1065–1094.
42. NEHMER J., BECKER M., KARSHMER A., AND LAMM R. Living assistance systems: an ambient intelligence approach // in Proc. 28th Int. Conf. on Software engineering. ACM, 2006. P. 43–50.
43. PANTELOPOULOS AND BOURBAKIS N. A survey on wearable biosensor systems for health monitoring // in 30th Annu. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2008. EMBS 2008. P. 4887–4890.
44. ALEMDAR AND C. ERSOY. Wireless sensor networks for healthcare: A survey // Computer Networks. 2010. V. 54. N 15. P. 2688–2710.
45. KUMAR S., KAMBHATLA K., HU F., LIFSON M., AND XIAO Y. Ubiquitous computing for remote cardiac patient monitoring: a survey // Int. J. of telemedicine and applications. 2008. V. 2008. P. 3.
46. CALDEIRA J., RODRIGUES J., AND LORENZ P. Toward ubiquitous mobility solutions for body sensor networks on healthcare // IEEE Commun. Mag. 2012. V. 50. N 5. P. 108–115.
47. Intra-mobility support solutions for healthcare wireless sensor networks 2013; handover issues // IEEE Sensors J. 2013. V. 13. N 11. P. 4339–4348.
48. ЭСКИНДАРОВ М. А. Место России и перспективы позиционирования в мировом хозяйстве в современных условиях // Внешнеэкономическая политика России в условиях глобальных вызовов: Монография / Финуниверситет ; под ред. А. А. Ткаченко. М., 2015. С. 35–51.
49. LATRE, BRAEM B., MOERMAN I., BLONDIA C., AND DEMEESTER P. A survey on wireless body area networks // Wireless Netw. 2011. V. 17. N 1. P. 1–18.
50. SHAKHOV VLADIMIR V., MIGOV DENIS. Reliability of Ad Hoc Networks with Imperfect Nodes. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014. V. 8715. P. 49–58.
51. ITU — Radio Regulations. Volume 1, Sectio iv. [Electron. Res.]: <http://life.itu.int/radioclub/rr/rindex.htm>, 2012.
52. CARRANO R., PASSOS D., MAGALHAES L., AND ALBUQUERQUE C. Survey and taxonomy of duty cycling mechanisms in wireless sensor networks // IEEE Commun. Surveys Tutorials. 2013. V. PP. N 99, P. 1–14.
53. FCC — Medical Body Area Networks — small entity compliance guide. [Electron. Res.]: <http://www.fcc.gov/document/medical-body-area-networks>, May 2013.
54. ITU TG 1–8 Working Group 1. Characteristics of ultra-wideband (UWB) devices. [Electron. Res.]: <http://wcsp.eng.usf.edu/papers/UWBBasics.doc>, Jan., 2003.
55. CHAVEZ-SANTIAGO R., NOLAN K., HOLLAND O., DE NARDIS L., FERRO J., BARROCA N., BORGES L., VELEZ F., GONCALVES V., AND BALASINGHAM I. Cognitive radio for medical body area networks using ultra wideband // IEEE Wireless Commun. 2012. V. 19. N 4. P. 74–81.
56. HOVAKEEMIAN Y., NAIK K., AND NAYAK A. A survey on dependability in body area networks // Medical Information Commun. Technology (ISMICT), 2011 5th Int. Symp. On. P. 10–14.
57. LARA O. AND LABRADOR M. A survey on human activity recognition using wearable sensors // IEEE Commun. Surveys Tutorials. 2013. V. 15. N 3. P. 1192–1209.
58. ULLAH S., KHAN P., ULLAH N., SALEEM S., HIGGINS H., AND SUP KWAK K. A review of wireless body area networks for medical applications // Int. J. of Commun., Netw. and System Sciences. 2009. V. 2. N 8. P. 797 — 803.
59. SEYEDI M., KIBRET B., LAI D. T., AND FAULKNER M. A survey on intrabody communications for body area network applications, 2013.
60. IEEE 802.15.4 Standard, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for LowRate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). Piscataway, New Jersey, 08855-1331: IEEE, 2006. [Electron. Res.]: [//standards.ieee.org/getieee802/802.15.html](http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html).

61. BAE, H. CHO, SONG K., LEE H., AND YOO H.-J. The signal transmission mechanism on the surface of human body for body channel communication // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2012. V. 60. N 3. P. 582–593.
62. AKYILDIZ F., BRUNETTI F., AND BLAZQUEZ C. Nanonetworks: A new communication paradigm // Comput. Netw. Aug. 2008. V. 52. N 12. P. 2260 — 2279.
63. LA POLLA M., MARTINELLI F., AND SGANDURRA D. A survey on security for mobile devices // IEEE Commun. Surveys Tutorials. 2013. V. 15. N 1. P. 446–471.
64. ШАХОВ В. В., ЮРГЕНСОН А. Н., СОКОЛОВА О. Д. Моделирование воздействия атаки Black Hole на беспроводные сети // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30. № 1. С. 34–39.
65. SHAKHOV V. V. Protecting Wireless Sensor Networks from Energy Exhausting Attacks, Lecture Notes in Computer Science. 2013. Springer. V. 7971. P. 184–193.
66. GALLUCCIO, MELODIA T., PALAZZO S., AND SANTAGATI G. Challenges and implications of using ultrasonic communications in intra-body area networks // Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), 2012 9th Annu. Conf. on. 2012. P. 182–189.
67. SHAKHOV V. V., KOO I., RODIONOV A. S. Energy exhaustion attacks in wireless networks // IEEE Int. Conf. on Computer and Information Sciences (SIBIRCON). 2017. P. 1–3.
68. SHAKHOV V. V., KOO I. Experiment Design for Parameter Estimation in Probabilistic Sensing Models // IEEE Sensors Journal. 2017. V. 17. I. 24. P. 8431–8437.
69. SHAKHOV V. V. Performance Evaluation of MAC Protocols in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016. V. 9787. P. 344–352.
70. MATERUKHIN A., SHAKHOV V. V., SOKOLOVA O. D. An efficient method for collecting spatio-temporal data in the WSN using mobile sinks // IEEE Int. Conf. on Computer and Information Sciences (SIBIRCON), 2017. P. 118–120.



Р. Е. Злотникова окончила с отличием факультет информатики и автоматизации Сибирского государственного индустриального университета (г. Новокузнецк) в 2017 году. В настоящее время является магистрантом факультета автоматики и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета (кафедра вычислительной техники). Область ее научных интересов включает беспроводные сетевые компьютерные сети, технологии ма-

шинного обучения и их применение в медицинской диагностике.

R. E. Zlotnikova received his B.S. degree (with honors) in Information Technologies and Software Engineering from the Siberian State Industrial University, Novokuznetsk. She is currently a Master student in the Department of

Automation and Computer Engineering at the Novosibirsk State Technical University. Her research interests include Wireless Body Area Networks, Machine Learning, Healthcare Applications.

Дата поступления — 08.02.2018