

Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 004.492.2

Особенности размещения гибких антенн на умной одежде

Морозов А. А. ✉, Литвинов А. С., Кузьмин С. В.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

Постановка задачи: размещение радиоэлектронных средств на одежде — активно развивающееся направление конструирования. При разработке таких устройств необходимо учитывать множество факторов, которые влияют как на надежность готового изделия, так и на его эргономичность. **Целью работы** является отработка технологий встраивания различных радиоэлектронных средств, в том числе устройств сверхвысокочастотного диапазона, в ткань. **Используемые методы:** решение задачи размещения устройств на ткани основано на применении технологий нанесения антенн с помощью токопроводящих материалов. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются использование клеейкой токопроводящей ленты, токопроводящей нити, а также применение аддитивных технологий. **Результат:** использование представленного результата размещения антенны на умной одежде решает проблемы: 1) интеграции датчиков в связи с их размерами, 2) подключения датчиков в связи с трудностями обеспечения их автономного питания и передачи сигналов, а также 3) размещения гибких антенн, которые должны соответствовать сложной геометрии человеческого тела и быть защищены от внешних воздействий.

Ключевые слова: умная одежда, умная ткань, аддитивные технологии, носимые устройства, гибкие антенны

Введение

В начале 2000-х гг. были созданы ткани со встроенными датчиками и другими электронными устройствами. Изделия, разработанные в лабораториях Georgia Tech, Университета Пизы и Гентского университета, содержали ряд удачно встроенных устройств [1]. Однако некоторые проблемы оказались более сложными, чем предполагалось: это касается интеграции, подключения и поддержания стерильности [2–4].

Особенно важно было преодолеть последний недостаток, так как большое количество проектов в области «умной» одежды направлено на применение в медицинской сфере [1, 3]. Проблема интеграции связана с массогабаритными характеристиками датчиков и сложностью их размещения на определенных участках одежды. Проблемы подключения заключаются в трудности обеспечения автономного питания и передачи сигналов от датчиков в систему обработки данных.

Одним из самых передовых проектов в области интеграции электроники в одежду является ProeTEX (защитный электронный текстиль), направленный на исследование и разработку материалов для «умной» одежды с усовершенствованными характеристиками, а также на разработку текстильных

Библиографическая ссылка на статью:

Морозов А. А., Литвинов А. С., Кузьмин С. В. Особенности размещения гибких антенн на умной одежде // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 10. EDN: VNTDAH

Reference for citation:

Morozov A., Litvinov A., Kuzmin S. Features of Flexible Antenna Placement on Smart Clothes // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 10. EDN: VNTDAH

датчиков и способов коммуникации через текстиль. Антенны и схемы, размещенные на ткани, становятся более востребованными для применения, когда они способны подстраиваться под любые изменения внешних факторов, гибкость и прочность [2–4].

Активно развивающимся направлением исследований в данной области стало изучение особенностей размещения антенн на ткани. Было рассмотрено несколько способов решения данного вопроса, которые будут описаны ниже [5–8].

На рисунке 1 представлены примеры существующих подходов к решению проблемы беспроводной связи в одежде. Подход, при котором микрополосковая антенна, выполненная путем нанесения материала трафаретной печатью, и плоскость заземления размещаются на флисовую подложку (рисунок 1а), открывает перспективы для разработки новых высокочастотных схем с изоляцией излучения антенны от человеческого тела. Датчик для отслеживания дыхания, вышитый нитью из нержавеющей стали на детском комбинезоне (рисунок 1б), создает индуктивную связь со второй катушкой, которая встроена в матрас, но такая связь хорошо работает только на коротких расстояниях.



а)



б)

Рис. 1. Примеры существующих подходов к беспроводной связи в одежде

Проблемами при размещении гибких антенн на умной одежде являются обеспечение возможности изгибаться согласно сложной геометрии человеческого тела, а также обеспечение защиты такой антенны от воздействия внешних факторов [9].

Технологии размещения гибких антенн на ткани

Традиционно для различных информационных и командно-телеметрических линий связи используется диапазон от 500 до 5000 МГц.

Измерение коэффициента стоячей волны (КСВ) позволяет оценить эффективность передачи сигнала через спиральные антенны на различных образцах. Результаты дают понимание, какие материалы и методы изготовления спиральных антенн наиболее эффективны.

Для размещения спиральной антенны на ткани в первом случае был выбран металлизированный скотч. Для нанесения скотча по трафарету в виде спирали нужно было разделить ленту на части, чтобы придать скругление. Таким способом удалось наклеить всю ленту, но выяснилось, что не обеспечивается протекание постоянного тока. Так как фрагменты скотча клеились внахлест, то клейкий слой служил диэлектриком, что не было учтено. Поэтому пришлось по всей длине антенны припаять проволоку для обеспечения проводимости (рисунок 2).

Были проведены измерения КСВ при размещении образца на столе (рисунок 3а) и при размещении на человеке (рисунок 3б).

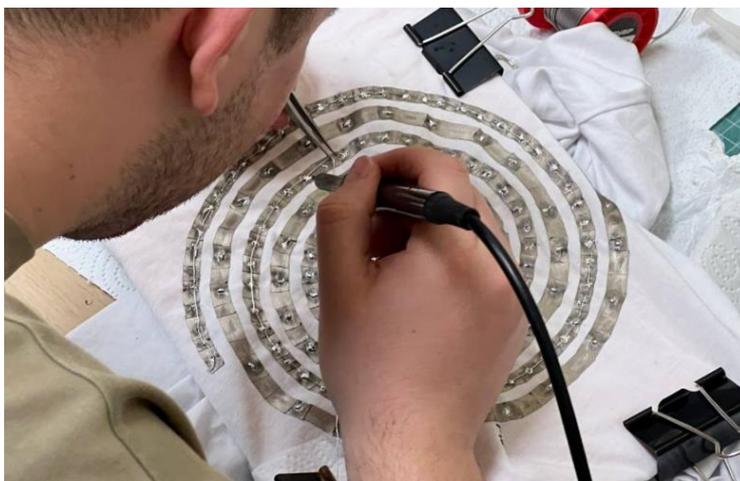
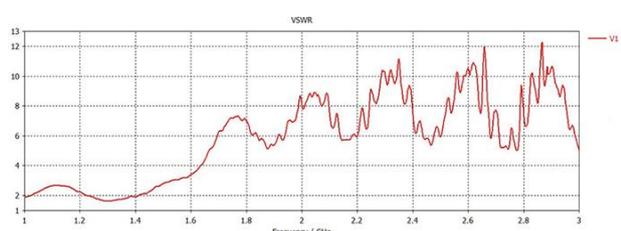
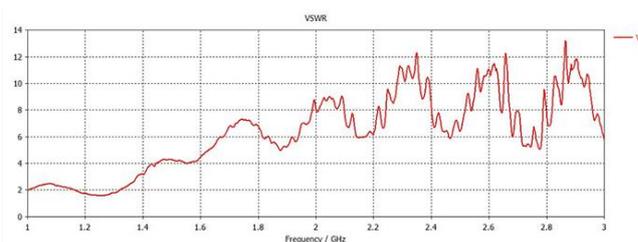


Рис. 2. Образец № 1 с нанесением антенны при помощи металлизированного скотча и проволоки



а)



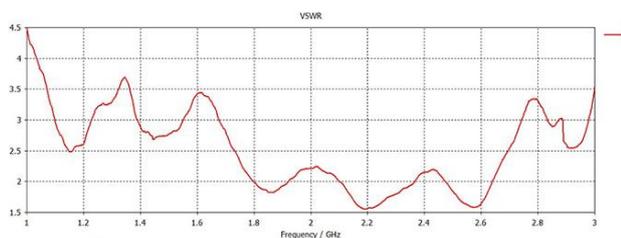
б)

Рис. 3. КСВ спиральной антенны образца № 1 при расположении: а) на столе, б) на человеке

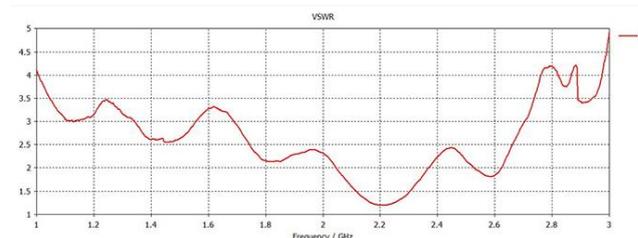
Во втором случае для расположения антенны на ткани был выбран метод вышивки токопроводящей нитью по трафарету (рисунок 4). Полученный образец рубашки с антенной позволил провести дальнейшие тесты и оценить ее эффективность в передаче и приеме сигналов. Были проведены измерения КСВ при размещении образца на столе (рисунок 5а) и на человеке (рисунок 5б).



Рис. 4. Образец № 2 с нанесением антенны при помощи токопроводящей нити



а)



б)

Рис. 5. КСВ спиральной антенны образца № 2 при расположении: а) на столе, б) на человеке

Хотя эти образцы и могли обеспечить достаточный изгиб без существенного влияния на характеристики при движениях человеческого тела, их проблемой была низкая степень защиты от воздействия внешних факторов (например, при стирке или при задевании телом других поверхностей).

Рассмотрим еще один подход к размещению антенны. Сама спиральная антенна будет располагаться в гибком пластиковом корпусе, изготовленном с помощью 3D-принтера, работающего по технологии послойного наплавления. Корпус антенны может быть учтен при расчете ее характеристик в современных системах автоматизированного проектирования.

Изначально была выбрана 3D-модель (рисунок 6), которая после изготовления может сгибаться, за счет особенностей своей геометрической формы. После печати планировалось покрасить токопроводящей краской. Чтобы напечатать спиральную антенну из такой структуры, нужно сильно уменьшить размеры каждой ячейки, однако это влечет за собой очень высокий шанс перелома в области соединений при интенсивном движении. Это обстоятельство привело к пересмотру выбора базовой модели.

В САПР КОМПАС-3D был разработан корпус для спиральной антенны, представленный на рисунке 7. Он будет напечатан гибким пластиком, что позволит повторять изгибы, обусловленные сложной геометрией человеческого тела. Линии, которые направлены из центра к краям, позволят сохранить расстояние между секциями спирали, чтобы влияние на характеристики антенны было минимальным.



Рис. 6. Структура на основе цепи шестигранников

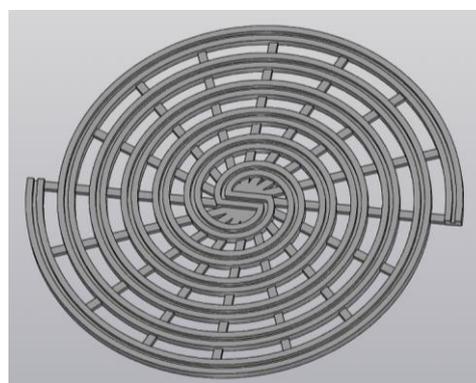


Рис. 7. Корпус спиральной антенны

После завершения процесса печати в паз, размеры которого можно увидеть на разрезе, представленном на рисунке 8, вкладывается проводящий материал, а затем сверху печатается еще несколько слоев крышки.

Пробная печать такого корпуса (рисунок 9) дала понять, что такая технология справляется с поставленными задачами. Кроме того, для автоматизации процесса предлагается использовать тонкий проводящий слой, нарезанный заранее на оборудовании с числовым программным управлением, например, из клейкой токопроводящей ленты. Данная технология позволяет размещать антенну на любом участке одежды вне зависимости от того, к какой части человеческого тела он прилегает.

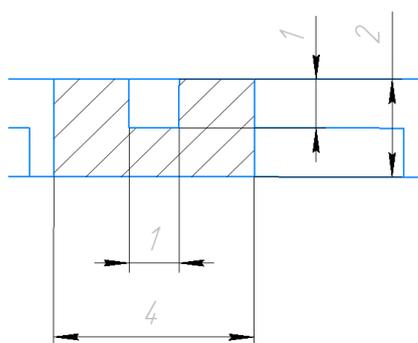


Рис. 8. Разрез корпуса



Рис. 9. Корпус спиральной антенны из гибкого пластика

Выводы

Внедрение радиоэлектронных средств в умную одежду имеет высокий потенциал развития. С учетом выявленных ограничений такие технологии могут найти широкое применение в различных областях — от медицины до спорта и сферы развлечений.

Полученные результаты, представленные в виде графиков КСВ, подтверждают функциональность антенн и показывают их рабочие диапазоны. Были опробованы различные методики нанесения антенн на ткань, что позволило сравнить их эффективность и выбрать наиболее подходящую для решения поставленных задач.

В дальнейшем планируется исследование влияния человеческого тела на характеристики антенн и способов минимизации этого влияния, а также проведение дополнительных изысканий в области управления, обработки данных и безопасности таких систем. Это поможет учесть различные аспекты, связанные с удобством использования, функциональностью и безопасностью, что важно для практического внедрения таких технологий в повседневную жизнь.

Литература

1. Kimura M. Conductive Polymer Fibers for Sensor Devices // Handbook of Smart Textiles / Ed. by X. Tao. Singapore: Springer, 2015. PP. 63–78. DOI: 10.1007/978-981-4451-45-1_9
2. Kiourti A., Lee C., Volakis J. L. Fabrication of Textile Antennas and Circuits with 0.1 mm Precision // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2015. Vol. 15. PP. 151–153. DOI: 10.1109/LAWP.2015.2435257
3. Salman S., Wang Zh., Colebeck E., Kiourti A., Topsakal E. et al. Pulmonary Edema Monitoring Sensor with Integrated Body-Area Network for Remote Medical Sensing // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2014. Vol. 62. Iss. 5. PP. 2787–2794. DOI: 10.1109/TAP.2014.2309132
4. Rao S., Lombart N., Moradi E., Koski K., Bjorninen T. et al. Miniature Implantable and Wearable On-Body Antennas: Towards the New Era of Wireless Body-Centric Systems [Antenna Applications Corner] // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2014. Vol. 56. Iss. 1. PP. 271–291. DOI: 10.1109/MAP.2014.6821799
5. Castano L., Flatau A. B. Smart Fabric Sensors and E-Textile Technologies: A Review // IOP Publishing Smart Materials and Structures. 2014. Vol. 23. Iss. 5. PP. 1–27. DOI: 10.1088/0964-1726/23/5/053001
6. Koski K., Sydanheimo L., Rahmat-Samii Y., Ukkonen L. Fundamental Characteristics of Electro-Textiles in Wearable UHF RFID Patch Antennas for Body-Centric Sensing Systems // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2014. Vol. 62. Iss. 12. PP. 6454–6462. DOI: 10.1109/TAP.2014.2364071
7. Tsolis A., Whittow W. G., Alexandridis A. A., Vardaxoglou J. C. Embroidery and Related Manufacturing Techniques for Wearable Antennas: Challenges and Opportunities // Electronics. 2014. Vol. 3. Iss. 2. PP. 314–338. DOI: 10.3390/electronics3020314
8. Kiourti, A., Volakis J. L. High-Geometrical-Accuracy Embroidery Process for Textile Antennas with Fine Details // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2015. Vol. 14. PP. 1474–1477. DOI: 10.1109/LAWP.2014.2363556
9. Alharbi S., Shubair R. M., Kiourti A. Flexible Antennas for Wearable Applications: Recent Advances and Design Challenges // Proceedings of the 12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018, 9–13 April 2018, London, UK). PP. 1–3. DOI: 10.1049/cp.2018.0843

Статья поступила 27 марта 2024 г.
Одобрена после рецензирования 17 апреля 2024 г.
Принята к публикации 23 апреля 2024 г.

Информация об авторах

Морозов Александр Алексеевич — ассистент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: morozov.aa@sut.ru

Литвинов Алексей Сергеевич — студент факультета радиотехнологий связи (группа РТ-32, специальность 11.04.01 Радиотехника) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Кузьмин Сергей Викторович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: kuzmin.sv@sut.ru

Features of Flexible Antenna Placement on Smart Clothes

A. Morozov ✉, A. Litvinov, S. Kuzmin

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Purpose: the placement of electronic devices on clothing is an actively developing area of design. When developing such devices, it is necessary to take into account many factors that affect both the reliability of the finished product and its ergonomics. The aim of the work is to develop technologies for embedding various electronic devices, including microwave devices, into fabric. **Methods:** the solution to the problem of placing devices on fabric is based on the application of antenna application technologies using conductive materials. **Novelty:** the novelty elements of the presented solution are the use of adhesive conductive tape, conductive thread, as well as the use of additive technologies. **Results:** using the presented solution for placing an antenna on smart clothes allows us to solve the integration problem associated with the mass and dimensional characteristics of sensors and the difficulty of placing them on certain areas of clothing, the connection problem, which consists in the difficulties of providing autonomous power supply and transmitting signals from sensors to a data processing system and the problem of placing flexible antennas on smart clothes, which is conditioned by providing the ability to bend according to the complex geometry of the human body, as well as ensuring the protection of such an antenna from external influences.

Keywords: smart clothing, smart fabric, additive technologies, wearable devices, flexible antennas

Information about Authors

Morozov Aleksandr — Assistant of the Department of Design and Production of Radio-electronic Devices (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications).
E-mail: morozov.aa@sut.ru

Litvinov Aleksey — Student of the RT-32 group, specialty 11.04.01 Radio Engineering (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)

Kuzmin Sergey — Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Production of Radioelectronic Devices (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: kuzmin.sv@sut.ru