

## ИНФОРМАТИКА

УДК 004.7

MSC 90B18

### **Выбор способа передачи данных при проведении исследования, направленного на повышение надежности и обеспечение безопасной эксплуатации изделий**

*А. А. Баевский, М. С. Аносов, А. Ю. Панов*

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексева,  
Российская Федерация, 603155, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

**Для цитирования:** *Баевский А. А., Аносов М. С., Панов А. Ю.* Выбор способа передачи данных при проведении исследования, направленного на повышение надежности и обеспечение безопасной эксплуатации изделий // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2024. Т. 20. Вып. 2. С. 220–230. <https://doi.org/10.21638/spbu10.2024.207>

Цель данной работы — выбрать оптимальный способ передачи данных для проведения исследования повышения надежности и обеспечения безопасной эксплуатации изделий, полученных методом 3D-печати и эксплуатируемых при пониженных температурах. Это очень важно, так как любая возникающая ошибка чревата дальнейшими неточностями, а впоследствии, возможно, и приведет к гибели человека. Описаны основные способы передачи данных, подходящие для изучаемого случая. Подробно разобраны их преимущества, недостатки. Проведено сравнение каждого способа путем присвоения оценок по требуемым группам показателей. По результатам сравнения сделаны выводы о наилучшем способе передачи данных, что может быть полезно для проведения дальнейших работ и схожих исследований в будущем.

*Ключевые слова:* передача данных, 3D-печать, Wi-Fi, RFID, Bluetooth.

**1. Введение.** При изучении повышения надежности и обеспечения безопасной эксплуатации изделий, полученных методом 3D-печати и эксплуатируемых при пониженных температурах, выявилось несколько проблем. Одна из них связана с научными основами для оперативной оценки хладостойкости металлов, выявленных методом 3D-печати в процессе их производства, а также с учетом эксплуатации на основе их связи с параметрами средств технической диагностики (ультразвука и акустической эмиссии) [1]; другая — с разработкой подходов и методов оценки механизмов разрушения металлов, полученных методом 3D-печати, основанных на использовании комбинированных методов неразрушающего контроля, применяющих подходы

цифровой обработки изображений и фрактального анализа фрактограмм, а также искусственного интеллекта в режиме реального времени.

**2. Методика проведения испытаний.** Для проведения низкотемпературных испытаний в рамках настоящего исследования был разработан специализированный стенд с криокамерой (рис. 1), поддерживающей стабильную температуру образцов в диапазоне от  $-80$  до  $+20$  °С. Испытания проводили с учетом требований ГОСТ 25.502-79\*. Частота упругопластического циклического деформирования устанавливалась с использованием частотного преобразователя, равной 8.3 Гц (500 циклов/мин). Амплитуду деформаций в процессе испытаний контролировали с помощью лазерного датчика перемещений с погрешностью 0.001 мм. Температуру в зоне максимальных напряжений контролировали датчиками температуры «рт100». Погрешность измерения температуры  $\pm 1$  °С [2].



Рис. 1. Стенд для усталостных испытаний металлов в широком диапазоне температур

В процессе испытаний регистрировали число циклов  $N$  и амплитуду напряжений в цикле  $\sigma_{max}$ . Напряжение в исследуемой области дополнительно контролировали, используя тензометрический датчик с термокомпенсацией для стали (рис. 2).

Кривую усталости анализировали по методике, описанной в ГОСТ 25.502-79 и литературе на основе оценки тангенса угла наклона этой кривой в логарифмических координатах и предела выносливости.

Металлографические исследования образцов осуществляли в зоне наиболее вероятного разрушения образца, определяемого как расчетным путем, так и путем моделирования в среде Autodesk Inventor Nastran 2022 (рис. 2) по методу Multi-Axial Fatigue Analysis (анализ многоосной усталости с основным критерием по эквивалентным напряжениям фон Мизеса) [1, 2].

Все показания с датчиков передаются в компьютерную систему вручную. Это занимает большое количество времени, имеет высокую трудоемкость, возникает вероятность ошибки или неточности при передаче, что недопустимо при исследовании. Потому нужно проанализировать и выбрать метод передачи данных на компьютер,

\* ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. М.: Стандартиформ, 1979 г., 25 с.

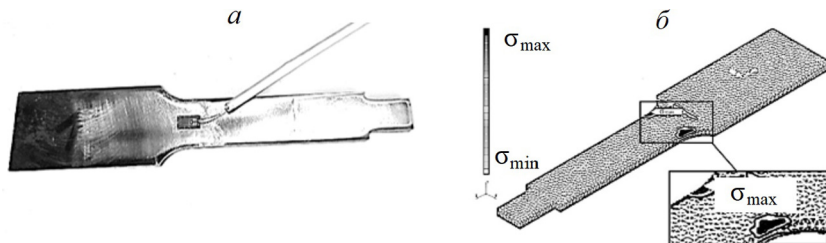


Рис. 2. Место установки тензометрических датчиков (а) и наибольших расчетных напряжений (б) на образце

который позволит убрать эти недостатки и, возможно, дополнит всю систему какими-либо преимуществами.

**3. Описание способов передачи данных.** Существуют несколько вариантов передачи данных, подходящих для переноса показаний приборов на компьютер, где происходит обработка результатов (рис. 3, а-д): ручной, передача по проводу, несколько вариантов беспроводной передачи данных (Wi-Fi, Bluetooth, RFID). У каждого метода есть свои преимущества и недостатки, порой весьма критичные для получения достоверных результатов исследования. Сравним эти виды передачи данных для оптимизации процесса проведения исследования и снижения рисков ошибки.

**Ручной способ** предполагает, как ясно из названия, перенос показаний и параметров вручную оператором, следящим за показаниями при работе экспериментальной установки. Причем оператор может быть один или несколько, что может как повысить надежность, так и увеличить шанс ошибки. Схема передачи данных представлена на рис. 3, а.

*Недостатки:*

1. Человеческая ошибка. Люди более подвержены ошибкам, чем компьютеры. Хотя компьютерная система иногда дает сбой, она обычно записывает данные и организует их более точно, чем люди, с меньшей потребностью в проверке ошибок. Ручная обработка данных требует гораздо больше глаз для проверки и двойной проверки данных на точность.

2. Скорость. Ввод данных вручную занимает много времени. Машины и компьютеры, как правило, работают быстрее, чем люди, что позволяет сотрудникам сосредоточиться на других вещах.

3. Трудозатраты. Платить людям за ввод данных вручную стоит больших денег. Работа многих может быть выполнена одним человеком, а это означает, что нужно меньше сотрудников, занимающихся вводом данных, или можно использовать сотрудников в областях, которые лучше используют их способности для ускорения роста компании.

*Преимущества:*

1. Системные затраты. Ручной ввод данных не требует дорогих систем, машин и программ. Система ручной обработки позволяет начать, не вкладывая много драгоценного капитала в компьютеры, машины и методы компьютерной обработки.

2. Легкость для небольших экспериментов. Не требуется покупать недорогую технику, ее настраивать на начальном этапе, когда может быть неизвестно, насколько сложная система может понадобиться, что может привести к первоначальным переплатам за слишком мощную систему или же к потребности в докупке оборудования со всеми вытекающими проблемами.



Рис. 3. Схема поступления информации при разных способах передачи данных: ручном (*а*), по проводу (*б*), с помощью Bluetooth (*в*), Wi-Fi (*г*) и RFID-технологии (*д*)

3. Усиленный надзор. Когда ведутся записи вручную, можно контролировать, в какие категории помещается каждый отдельный номер.

Ручной перенос данных был исторически первым. Далее появилась передача данных по проводу — телеграф, телефон и др. Схема передачи информации при таком способе передачи данных представлена на рис. 3, б [3].

Это дало неоспоримые преимущества, но появились и свои недостатки. Основное достоинство проводной сети — стабильность и надежность работы. Рассмотрим *преимущества* подробнее:

1. Высокая скорость и стабильность работы. Итак, возьмем распространенную конфигурацию сети со скоростью работы 1 Гбит/с, которая доступна для каждого клиента в сети и не делится между ними, плюс это скорость в каждую сторону, т. е. суммарная пропускная способность может достигать 2000 Мбит/с (в соответствии со стандартом беспроводной передачи данных IEEE 802.3ab). Кроме того, есть поддержка больших пакетов (Jumbo Frame, это пакеты по 9 и 16 кб), что дает возможность увеличить скорость при передаче больших объемов данных за счет сокращения передачи служебной информации, а также снизить нагрузку на процессор. Еще одним способом, повышающим пропускную способность сети, является агрегация каналов (используемая в стандарте IEEE 802.3ad), которая позволяет получить пропускную способность выше 1 Гбит/с. Наконец, витая пара эффективно работает при длине провода до 100 м без ухудшения стабильности и скорости соединения [4].

2. Оборудование. Гигабитный контроллер проводной сети сегодня интегрирован в любую продающуюся материнскую плату, т. е. по факту является бесплатным для пользователя. Кабели тоже относительно дешевы, кроме того их можно нарезать самостоятельно до нужной длины. Сетевое оборудование на рынке есть на любой вкус и кошелек, всегда можно найти недорогие и при этом эффективные решения.

3. Безопасность. Один из существенных плюсов проводной сети — безопасность. В первую очередь физическая, так как, чтобы подключиться к сети, злоумышленнику нужен физический доступ в помещение к розетке.

Но есть и *недостатки* у такой сети, а именно:

1. Как и с любым кабелем, основной минус — это необходимость прокладки кабелей до каждого рабочего места, а в дальнейшем привязка к нему работника. Разводка, как правило, осуществляется изначально, поэтому при любых изменениях в расстановке сетевую инфраструктуру тоже, скорее всего, придется перекладывать. В результате поменять раскладку сотрудников, добавить рабочие места или сетевое оборудование, изменить расположение станков или другого оборудования — нетривиальная задача, для которой может потребоваться перепрокладка кабелей или разного рода дополнительные ухищрения.

2. К одному проводу возможно подключение только одного устройства, а некоторые устройства к проводной сети вообще не подключить.

Теперь необходимо рассмотреть *беспроводную передачу данных*. Существует несколько основных ее видов. Это Bluetooth, Wi-Fi, RFID. Разберем преимущества и недостатки каждого для более подробного и углубленного сравнения данных видов передачи данных.

Создание радиомодуля Bluetooth было ознаменовано возможностью беспроводного соединения различных устройств, исключив из обихода неудобные кабели. А сегодня — это мировой стандарт, доступный во всех уголках планеты, с рабочей частотой 2.4 ГГц [5]. Доступность его обуславливается и отсутствием обязательного лицензирования, что дает возможность использовать всеми желающими. Схема прохождения информации при организации сети с помощью данной технологии представлена на рис. 3, в [6].

*Преимущества:*

1. Возможность быстрого обмена данными между устройствами без участия кабеля.
2. Ввиду доступности устройства модуля наличие Bluetooth не существенно влияет на стоимость устройства [7].
3. Использование модуля не требует особых навыков и не вызывает сложностей.
4. По сравнению с Wi-Fi модуль Bluetooth более экономичен в отношении энергопотребления [8].

*Недостатки:*

1. Относительная универсальность. Она является как преимуществом, так и недостатком Bluetooth. Во-первых, не все адаптеры поддерживают все профили (именно по этой причине универсальность Bluetooth относительная). Во-вторых, в некоторых ситуациях эта универсальность может оказаться излишней (например, могут возникнуть трудности при нахождении устройства в сети с большим числом подключений) [9].

2. К главным недостаткам сетей Bluetooth относится обеспечиваемый уровень безопасности. Слабости защиты Bluetooth, в частности, вызваны тем, что эта технология делает сильный упор на опознание устройств для безопасного обслуживания, а также на контроль, которым обладает пользователь над устройствами Bluetooth и их конфигурацией. Современная Bluetooth-технология не предлагает никакого средства опознания пользователя, что делает Bluetooth-устройства особенно уязвимыми к так называемым spoofing-нападениям (радиодезинформации) и неправильному применению опознавательных устройств. Особенно слабый аспект Bluetooth — процесс «спаривания» (pairing) устройств, при котором происходит обмен ключами в незакодированных каналах. Если нападающий перехватит передачу процесса спаривания, то он сможет получить ключ инициализации путем калькуляции этих ключей для любого возможного варианта пароля и сравнения результатов с перехваченной передачей. Ключ инициализации используется для расчета ключа связи. Рассчитанный хакером ключ связи сравнивается с перехваченной передачей с целью узнать, верен он или нет. Также причиной уязвимости является возможность применения коротких, а также заурядных или распространенных паролей (ситуация аналогична использованию простых паролей системными администраторами компьютерных сетей). Такие пароли значительно упрощают инициализацию. Именно это делает ключи связи очень простыми для извлечения из перехваченных спаринговых передач [10].

3. Относительно низкая скорость передачи данных.

Теперь рассмотрим следующий вид беспроводной передачи данных — Wi-Fi. Трудно себе представить современные сети без этой технологии. Принцип действия технологии Wi-Fi достаточно прост. Для организации сети необходимо иметь специальное оборудование, а именно точку доступа, т. е. роутер, подключенный к проводной сети Интернет, и устройство, которое нужно подключить к беспроводной Wi-Fi сети, оснащенное радиомодулем [11]. Роутер оборудован таким же радиомодулем, который выполняет функции приема и передачи беспроводного сигнала. Эти модули могут быть от разных производителей и отличаться между собой конструкцией чипа, но, благодаря единому стандарту Wi-Fi, обеспечивается полная их совместимость, что означает возможность подключения различных устройств к сети Wi-Fi [12]. Схема прохождения данных представлена на рис. 3, 2.

*Преимущества:*

1. Организация, использование и расширение сети без применения кабеля.

2. Возможность предоставления доступа к сети мобильным устройствам.
3. Большой выбор на рынке Wi-Fi устройств и их совместимость, благодаря обязательной сертификации оборудования Wi-Fi Alliance [13].
4. Мобильность клиентов и возможность пользования Интернетом в любой обстановке.
5. Возможность пользования одной точкой доступа несколькими пользователями.

*Недостатки:*

1. Помехи в использовании сети, так как частотный диапазон 2.4 Гц доступен многим другим устройствам, поддерживающим Bluetooth [14].
2. Ограничения частотных диапазонов.
3. Обязательная регистрация точки беспроводного доступа и адаптера Wi-Fi с мощностью излучения, превышающей 100 мВт в РФ.
4. Информационная безопасность, т. е. алгоритм шифрования может быть взломан [15].

И, наконец, последний вариант беспроводного соединения, который можно применить в данном случае — технология, основанная на RFID. Схема организации сети похожа на предыдущую. Только вместо Wi-Fi-оборудования используются пары метка — считыватель метки [16]. Причем последний только называется просто считывателем, он позволяет считывать и записывать информацию на метку. Схема прохода данных по сети, организованной с помощью такой технологии, представлена на рис. 3, д [17].

*Преимущества:*

1. Бесконтактная работа — RFID-метка может быть прочитана без какого-либо физического контакта между меткой и ридером.
2. Перезапись данных — данные RFID-метки с перезаписью (RW-метки) могут быть перезаписаны большое число раз [18].
3. Работа вне прямой видимости — чтобы RFID-метка была прочитана RFID-ридером, в общем случае не требуется ее нахождения в зоне прямой видимости ридера.
4. Разнообразие диапазонов чтения — диапазон чтения RFID-метки может составлять от нескольких сантиметров до 30 м и более [19].
5. Широкие возможности хранения данных — RFID-метка может хранить информацию объемом от нескольких байтов до практически неограниченного количества данных.
6. Поддержка чтения нескольких меток — RFID-ридер может автоматически читать несколько RFID-меток в своей зоне чтения за очень короткий период времени.
7. Прочность — RFID-метки могут в значительной мере противостоять жестким условиям окружающей среды.
8. Выполнение интеллектуальных задач — кроме хранения и передачи данных, RFID-метка может предназначаться для выполнения других задач (например, для измерения условий окружающей среды).
9. Высокая точность чтения — RFID является точной на 100 %.

*Недостатки:*

1. Невысокие рабочие характеристики в присутствии радионепрозрачных и радиопоглощающих объектов. Такое поведение зависит от частоты. Технология в современном ее состоянии плохо работает с такими материалами, а в некоторых случаях отказывает полностью.

2. Воздействие факторов окружающей среды. Условия окружающей среды могут оказывать негативное влияние на RFID-решения.

3. Ограниченное число читаемых меток. Существует ограничение на количество меток, которые можно прочитать за определенное время.

4. Воздействие помех от аппаратуры. На RFID-решение может отрицательно влиять неправильная установка аппаратуры (например, расположение и ориентация антенны) [20].

**4. Выбор способа передачи данных.** При выборе способа передачи данных были проанализированы его преимущества и недостатки, а также их критичность для исследования. Они были классифицированы на 4 группы: скорость передачи данных, затраты, удобство развертывания системы и вероятность ошибки (в том числе вызываемой помехами). Параметр «Скорость передачи данных» позволяет оценить, насколько быстро данные от датчиков будут доставлены до конечного устройства, учитывая промежуточные станции, по типу Wi-Fi-роутера и пр. Параметр «Затраты» предполагает суммарную стоимость развертывания всей системы передачи данных. Параметр «Удобство развертывания системы» показывает, насколько быстро, легко, без дополнительных ремонтных работ, организации дополнительных рабочих мест можно собрать данную систему. Параметр «Вероятность ошибки» позволяет оценить надежность сети с точки зрения отсутствия искажений данных и потери их при передаче. Расставим числовые коэффициенты от 1 до 5 (1 — наихудший показатель, 5 — наилучший) для каждого способа передачи данных для таких групп и выясним, какой способ наиболее подходит в случае проведения этого эксперимента (таблица). Столбец «Итого» получен путем сложения числовых коэффициентов и дает возможность оценить суммарный показатель способа передачи данных, если его применять в условиях экспериментальной установки подобного типа, как описано в п. 2.

*Таблица. Сравнение способов передачи данных в рамках эксперимента*

Способ	Скорость передачи данных	Затраты	Удобство развертывания системы	Вероятность ошибки	Итого
Ручной	1	1	2	1	5
Провод	5	2	1	5	13
Bluetooth	2	5	4	2	13
Wi-Fi	3	3	3	3	12
RFID	4	4	5	4	17

Как видно из таблицы, лучшим результатом является показатель 17 у RFID-технологии ввиду не критичности всех недостатков, присущих данному способу, в рамках условий, в которых проводилось исследование. Именно она была выбрана для передачи данных при изучении рассматриваемого вопроса.

Выбранный метод был опробован при проведении эксперимента и показал хорошие результаты, что позволило сделать вывод о необходимости расширения исследования такого способа передачи данных, в том числе в условиях производства.

**5. Заключение.** В статье описаны основные способы передачи данных. Подробно рассмотрены их преимущества и недостатки. Способы сравнивали путем присвоения оценок по требуемым группам показателей. Сделаны выводы о наилучшем способе передачи данных, что может быть полезно для проведения работ.



## Литература

1. Кабалдин Ю. Г., Аносов М. С., Шатагин Д. А., Колчин П. В. Получение хладостойких металлов наномодифицированием при 3D-печати электродуговой наплавкой с использованием квантово-механического и нейросетевого моделирования // Вестник машиностроения. 2022. № 9. С. 75–80. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-9-75-80>
2. Кабалдин Ю. Г., Аносов М. С., Шатагин Д. А., Колчин П. В., Желонкин М. В., Рябов Д. А. Failure of metals produced by additive arc surfacing: Neural network analysis // Russian Engineering Research. 2022. Vol. 42. N 11. P. 1164–1169. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22110119>
3. Mannah M. A., Ginot N., Batard C. Effect of the power cable on data transmission over a pulse-width-modulated network // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2014. Vol. 61. N 8. P. 4238–4245. <https://doi.org/10.1109/TIE.2013.2288189>
4. Wu H., Jiao C., Cui X. Study on coupling of very fast transients to secondary cable via a test platform // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2018. Vol. 60. N 5. P. 1366–1375. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2017.2761998>
5. Фаустов И. С., Токарев А. Б., Сладких В. А., Козьмин В. А., Крыжко И. Б. Радиоконтроль служебных параметров сигнала Bluetooth // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 3. С. 135–151. <https://doi.org/10.24412/2410-9916-2021-3-135-151>
6. Sakkopoulos E., Ioannou Z.-M., Viennas E. Personalized data minimization assurance using Bluetooth low energy // Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. 2020. P. 41–58. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39489-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39489-9_3)
7. Hasan M. M., Faruque M. R. I., Islam M. T. Dual band metamaterial antenna for LTE/Bluetooth/WiMAX system // Scientific Reports. 2018. N 8. P. 1240. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19705-3>
8. Qazi R., Parker K. E., Kim C. Y., Rill R., Norris M. R., Chung J., Bibily J., Kim J. R., Walicki M. C., Gereau G. B., Lim H., Xiong Y., Lee J. R., Tapia M. A., Kravitz A. V., Will M. J., Ha S., McCall J. G., Jeong J.-W. Scalable and modular wireless-network infrastructure for large-scale behavioural neuroscience // Natural Biomedical Engineering. 2022. N 6. P. 771–786. <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00814-w>
9. Huang Z., Hao Y., Li Y. Three-dimensional integrated stretchable electronics // Natural Electronics. 2018. N 1. P. 473–480. <https://doi.org/10.1038/s41928-018-0116-y>
10. Albazraqe W., Huang J., Xing G. A practical Bluetooth traffic sniffing system: design, implementation, and countermeasure // IEEE/ACM Transactions on Networking. 2019. Vol. 27. N 1. P. 71–84. <https://doi.org/10.1109/TNET.2018.2880970>
11. Сушко А. Д., Фуртов Д. А., Матюшов Д. А., Аль-Ханани М. А., Родыгина И. В. Сравнительный анализ современных технологий передачи данных // Эксплуатация морского транспорта. 2019. № 2 (91). С. 114–119. <https://doi.org/10.34046/aumsuomt91/19>
12. Музаев М. М., Назаева М. И., Мурзаев Х. А. Принципы работы сети Wi-Fi // Вопросы устойчивого развития общества. 2020. № 7. С. 229–233. <https://doi.org/10.34755/IROK.2020.36.52.188>
13. Koелемей J. C. J., Dun H., Diouf C. E. V. A hybrid optical-wireless network for decimetre-level terrestrial positioning // Nature. 2022. N 611. P. 473–478. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05315-7>
14. Jiang Z. Eliminating the barriers: demystifying Wi-Fi baseband design and introducing the picoscenes Wi-Fi sensing platform // IEEE Internet of Things Journal. 2022. Vol. 9. N 6. P. 4476–4496. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3104666>
15. Wang W., Chen Y., Wang L., Zhang Q. Sampleless Wi-Fi: Bringing low power to Wi-Fi communications // IEEE/ACM Transactions on Networking. 2017. Vol. 25. N 3. P. 1663–1672. <https://doi.org/10.1109/TNET.2016.2643160>
16. Zhang J., Lyu Y., Patton J., Periaswamy S. C. G., Roppel T. BFVP: A probabilistic UHF RFID tag localization algorithm using bayesian filter and a variable power RFID model // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018. Vol. 65. N 10. P. 8250–8259. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2803720>
17. Khadka G., Arefin M. S., Karmakar N. C. Using punctured convolution coding (PCC) for error correction in chipless RFID tag measurement // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2020. Vol. 30. N 7. P. 701–704. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2020.2994189>
18. Barbot N., Rance O., Perret E. Classical RFID versus chipless RFID read range: Is linearity a friend or a foe? // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2021. Vol. 69. N 9. P. 4199–4208. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2021.3077019>
19. Dobrykh D., Yusupov I., Ginzburg P. Self-aligning poly-poly RFID-tag // Scientific Reports. 2022. N 12. P. 2140. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06061-6>
20. Zhu W., Cao J., Xu Y., Yang L., Kong J. Fault-tolerant RFID-reader localization based on passive RFID-tags // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2014. Vol. 25. N 8. P. 2065–2076. <https://doi.org/10.1109/TPDS.2013.217>

Статья поступила в редакцию 8 августа 2023 г.  
Статья принята к печати 12 марта 2024 г.

Контактная информация:

Баевский Анатолий Аркадьевич — ст. преп.; baevsky1990@gmail.com

Аносов Максим Сергеевич — канд. техн. наук, доц.; anosov-maksim@mail.ru

Панов Алексей Юрьевич — д-р техн. наук, проф.; panov@nntu.ru

## The choice of the data transmission method during the study of improving the reliability and ensuring safe operation of products

A. A. Baevskiy, M. S. Anosov, A. Y. Panov

Nizhny Novgorod State Technical University, 24, Minina ul., Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation

**For citation:** Baevskiy A. A., Anosov M. S., Panov A. Y. The choice of the data transmission method during the study of improving the reliability and ensuring safe operation of products. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2024, vol. 20, iss. 2, pp. 220–230. <https://doi.org/10.21638/spbu10.2024.207> (In Russian)

The purpose of this work is to choose the most optimal method of data transmission for conducting research on improving the reliability and ensuring safe operation of products obtained by 3D printing, operated at low temperatures. This is very important, since any error that occurs when transmitting the results of the study is fraught with further inaccuracies, and, subsequently, possibly human lives or environmental and economic disasters. The article describes the main methods of data transmission suitable for this case. Their advantages and disadvantages, possible problems when deploying networks in production or when scaling the experiment are analyzed in detail. Further, a comparison of each method is made by assigning estimates for the required groups of indicators. Based on the results of the comparison, conclusions were drawn about the best way to transfer data for this study, which may be useful in carrying out further work, as well as in similar studies in the future.

*Keywords:* data transmission, 3D-printing, Wi-Fi, RFID, Bluetooth.

## References

1. Kabaldin Yu. G., Anosov M. S., Shatagin D. A., Kolchin P. V. Poluchenie hladostojkikh metallov nanomodificirovaniem pri 3D-pechati elektrodugovoj naplavkoj s ispol'zovaniem kvantovo-mekhanicheskogo i nejrosetevogo modelirovaniya [Production of gold-resistant metals by nanomodification in printing by electric arc welding using quantum mechanical and neural network modeling]. *Vestnik of Machine-building*, 2022, no. 9, pp. 75–80. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-9-75-80> (In Russian)
2. Kabaldin Yu. G., Anosov M. S., Shatagin D. A., Kolchin P. V., Zhelonkin M. V., Ryabov D. A. Failure of metals produced by additive arc surfacing: Neural network analysis. *Russian Engineering Research*, 2022, vol. 42, no. 11, pp. 1164–1169. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22110119>
3. Mannah M. A., Ginot N., Batard C. Effect of the power cable on data transmission over a pulsedwidth-modulated network. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, vol. 61, no. 8, pp. 4238–4245. <https://doi.org/10.1109/TIE.2013.2288189>
4. Wu H., Jiao C., Cui X. Study on coupling of very fast transients to secondary cable via a test platform. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2018, vol. 60, no. 5, pp. 1366–1375. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2017.2761998>
5. Faustov I. S., Tokarev A. B., Sladkih V. A., Koz'min V. A., Kryzhko I. B. Radiokontrol' sluzhebnyh parametrov signala Bluetooth [Radio monitoring of Bluetooth signals service parameters]. *Systems of Control, Communication and Security*, 2021, no. 3, pp. 135–151. <https://doi.org/10.24412/2410-9916-2021-3-135-151> (In Russian)

6. Sakkopoulos E., Ioannou Z.-M., Viennas E. Personalized data minimization assurance using Bluetooth low energy. *Advanced Sciences and Technologies for Security Applications*, 2020, pp. 41–58. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39489-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39489-9_3)
7. Hasan M. M., Faruque M. R. I., Islam M. T. Dual band metamaterial antenna for LTE/Bluetooth/WiMAX system. *Scientific Reports*, 2018, no. 8, p. 1240. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19705-3>
8. Qazi R., Parker K. E., Kim C. Y., Rill R., Norris M. R., Chung J., Bilbily J., Kim J. R., Walicki M. C., Gereau G. B., Lim H., Xiong Y., Lee J. R., Tapia M. A., Kravitz A. V., Will M. J., Ha S., McCall J. G., Jeong J.-W. Scalable and modular wireless-network infrastructure for large-scale behavioural neuroscience. *Nature Biomedical Engineering*, 2022, no. 6, pp. 771–786. <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00814-w>
9. Huang Z., Hao Y., Li Y. Three-dimensional integrated stretchable electronics. *Nature Electronics*, 2018, no. 1, pp. 473–480. <https://doi.org/10.1038/s41928-018-0116-y>
10. Albazraqoe W., Huang J., Xing G. A practical Bluetooth traffic sniffing system: design, implementation, and countermeasure. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2019, vol. 27, no. 1, pp. 71–84. <https://doi.org/10.1109/TNET.2018.2880970>
11. Sushko A. D., Funtov D. A., Matyushov D. A., Al'-Hanani M. A., Rodygina I. V. Sravnitel'nyj analiz sovremennyh tekhnologij peredachi dannyh [Comparative analysis of modern data transmission technologies]. *Operation of Marine Transport*, 2019, no. 2 (91), pp. 114–119. <https://doi.org/10.34046/aumsuomt91/19> (In Russian)
12. Mizaev M. M., Nazaeva M. I., Murzaev H. A. Principy raboty seti Wi-Fi [How does Wi-Fi work]. *Issues of Sustainable Development of Society*, 2020, no. 7, pp. 229–233. <https://doi.org/10.34755/IROK.2020.36.52.188> (In Russian)
13. Koelemeij J. C. J., Dun H., Diouf C. E. V. A hybrid optical-wireless network for decimetre-level terrestrial positioning. *Nature*, 2022, no. 611, pp. 473–478. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05315-7>
14. Jiang Z. Eliminating the barriers: demystifying Wi-Fi baseband design and introducing the picoscenes Wi-Fi sensing platform. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, vol. 9, no. 6, pp. 4476–4496. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3104666>
15. Wang W., Chen Y., Wang L., Zhang Q. Sampleless Wi-Fi: Bringing low power to Wi-Fi communications. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2017, vol. 25, no. 3, pp. 1663–1672. <https://doi.org/10.1109/TNET.2016.2643160>
16. Zhang J., Lyu Y., Patton J., Periaswamy S. C. G., Roppel T. BFVP: A probabilistic UHF RFID tag localization algorithm using bayesian filter and a variable power RFID model. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018, vol. 65, no. 10, pp. 8250–8259. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2803720>
17. Khadka G., Arefin M. S., Karmakar N. C. Using punctured convolution coding (PCC) for error correction in chipless RFID tag measurement. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2020, vol. 30, no. 7, pp. 701–704. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2020.2994189>
18. Barbot N., Rance O., Perret E. Classical RFID versus chipless RFID read range: Is linearity a friend or a foe? *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2021, vol. 69, no. 9, pp. 4199–4208. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2021.3077019>
19. Dobrykh D., Yusupov I., Ginzburg P. Self-aligning roly-poly RFID-tag. *Scientific Reports*, 2022, no. 12, p. 2140. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06061-6>
20. Zhu W., Cao J., Xu Y., Yang L., Kong J. Fault-tolerant RFID-reader localization based on passive RFID-tags. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2014, vol. 25, no. 8, pp. 2065–2076. <https://doi.org/10.1109/TPDS.2013.217>

Received: August 8, 2023.

Accepted: March 12, 2024.

#### Authors' information:

Anatolij A. Baevskij — Senior Lecturer; baevsky1990@gmail.com

Maksim S. Anosov — PhD in Technics, Associate Professor; anosov-maksim@mail.ru

Aleksej Y. Panov — Dr. Sci. in Engineering, Professor; panov@nntu.ru