

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 004:378.147

DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.5

Преподавание современных методов обработки и передачи сигналов в строительных университетах

А.И. Конигов

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие и повсеместное распространение таких IT-технологий, как интернет, мобильная связь, облачные вычисления, Big Data, интернет вещей, цифровые двойники и других, предполагает их активное внедрение в различные производственные и бизнес-процессы строительной отрасли. Исходя из этих предпосылок, выпускник вуза строительного профиля должен знать основы данных технологий, уметь использовать их на практике. Особенно важно это для специальностей, связанных с информационными технологиями в строительстве. Однако ряд важных вопросов, лежащих в основе мобильной связи, интернета, беспроводных технологий, преподаются только в специализированных вузах и на факультетах. Между тем, студентам строительных вузов необходимо понимать основные процессы, лежащие в основе IT-технологий, и их теоретические положения.

Материалы и методы. Использованы систематизация, метод сопоставления, теоретического обобщения полученных в литературных источниках данных.

Результаты. Основополагающими понятиями, необходимыми для обсуждения цифровых технологий, являются временное представление сигнала, спектральные характеристики, полоса пропускания, частотное и временное разделение сигнала, дискретизация и квантование сигнала. Без знания таких фундаментальных вопросов успешное изучение и эффективное применение новых технологий невозможно. Дано адаптированное представление этих понятий и основных процессов при акценте на особенностях предметной области, т.е. строительной отрасли.

Выводы. Рассмотрены достаточно сложные вопросы, касающиеся теории сигналов и их передачи по линиям связи. Представлены три ключевых момента, лежащие в основе многих современных IT-технологий: временное и спектральное представление сигналов, частотное и временное разделение сигналов, дискретизация и квантование сигналов. На базе полученного материала можно выстраивать дальнейшее обучение таким современным цифровым технологиям, как мобильные технологии, интернет, интернет вещей, облачные и граничные вычисления, цифровые двойники и др.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство, преподавание, IT-технологии, временное и спектральное представление сигналов, временное и частотное разделение сигналов, дискретизация и квантование сигналов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: *Конигов А.И.* Преподавание современных методов обработки и передачи сигналов в строительных университетах // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 1. Ст. 5. URL: <http://nso-journal.ru>
DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.5

Teaching advanced methods of signal processing and transmission at universities of civil engineering

Alexander I. Konikov

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Development and widespread dissemination of information technologies, including the Internet, mobile communications, cloud computing, Big Data, the Internet of Things, digital twin, etc. are being proactively introduced into versatile production and business processes of the construction industry. Therefore, a graduate of a civil engineering university must master the fundamentals of the above-listed technologies and know how to use them in his/her practical activities. It's particularly important for those specialities that deal with information technologies in civil engineering. However, a number of important areas of knowledge that serve as the basis for mobile communications, the Internet, and wireless technologies, are only taught at specialized universities and schools. Nevertheless, students of civil engineering universities need to understand the theoretical provisions and processes of information technologies.

Materials and methods. Systematization, the benchmark method, theoretical generalization of data extracted from literary sources were applied.

Results. The founding notions, needed to discuss digital technologies, encompass temporary signal notation, spectral characteristics, spectral bandwidth, time and frequency division, multiplexing, discrete sampling and quantization of a signal. It

is impossible to successfully study and effectively use these advanced technologies without having understood these fundamental technologies. The author offers a simplified explanation of these notions and principal processes in terms of their application in the construction industry.

Conclusions. The author addresses complicated issues of the theory of signals and their transmission over communication lines. He presents the three key ideas that serve as the basis for multiple advanced information technologies, including time and spectrum signal notation, time and frequency division, multiplexing, discrete sampling and quantization of a signal. The author's ideas can be used to teach mobile technologies, the Internet, the Internet of Things, cloud and edge computing, digital twin, etc.

KEYWORDS: construction, teaching, information technologies, temporary and spectral signal notation, time and frequency division, multiplexing, discrete sampling and quantization of a signal

FOR CITATION: Konikov A.I. Teaching advanced methods of signal processing and transmission at universities of civil engineering. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2021; 11(1):5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.5 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в практику строительства внедряются технологии, основанные на использовании интернета, мобильной связи, беспроводных каналов данных, облачных вычислений [1–6]. Недавно к ним добавились новейшие IT-технологии: Big Data [7–12], интернет вещей [13, 14], цифровые двойники [15], граничные вычисления [16], машинное зрение [17] и др. Они позволяют вывести на качественно новый уровень многие производственные и бизнес-процессы строительной отрасли. Поэтому выпускник вуза строительного профиля должен знать основы данных технологий, уметь использовать их на практике. Особенно важно это для специальностей, связанных с информационными технологиями в строительстве.

Проблема состоит в том, что ряд важных вопросов, лежащих в основе мобильной связи, интернета, беспроводных технологий, преподается только в вузах и на факультетах, которые специализируются на изучении физики, радиоэлектроники, связи и т.п. Между тем студентам строительных вузов необходимо в адаптированном виде понимать основные термины и теоретические положения. Поскольку формат статьи не предполагает детальное изложение материала, в работе рассматриваются ключевые вопросы, которые, на наш взгляд, наиболее важны с теоретической и методической точки зрения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использованы систематизация, метод сопоставления, теоретического обобщения полученных в литературных источниках данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В начале работы отметим следующий момент: при изучении новых цифровых технологий используются следующие понятия: временное представление сигнала, спектральные характеристики, полоса пропускания, частотное и временное разделение сигнала, дискретизация и квантование сигнала. Без знания этих основополагающих вопросов успешное изучение и эффективное применение новых технологий невозможно. Поэтому ниже приводится их последовательное рассмотрение, при этом акцентируется внимание

на особенностях предметной области, т.е. строительной отрасли.

Временное и спектральное представление сигналов

Данный вопрос является фундаментальным в области изучения сигналов и теории связи. Сигналы можно рассматривать в двух областях: во временной и в частотной. Один и тот же сигнал может быть представлен на временной оси (более привычное представление) и в частотной области, где показывается распределение сигнала по оси частот (обычно берется круговая частота ω). Оба представления (временное и частотное) связаны, поскольку физически сигнал один и тот же. Поясним вначале это на простом примере, без сложных математических выкладок.

Показаны два примера: для медленно и быстро изменяющихся сигналов (рис. 1). На рис. 1, *a*, *b* сигнал дан во временном представлении, на рис. 1, *c*, *d* — в спектральном. Из рис. 1 видно, что, когда сигнал медленный, его спектр относительно узок (частота среза ω_0 невелика). Во втором случае сигнал изменяется быстрее, ему соответствует более широкий спектр, т.е. величина среза ω_0 значительно больше. Отсюда можно сделать важный вывод: медленному сигналу соответствует узкий спектр, поэтому, чтобы передать его по каналу связи, требуется канал с небольшой полосой пропускания, т.е. узкополосный канал. Быстро изменяющемуся сигналу соответствует широкий спектр, и для него необходим широкополосный канал связи.

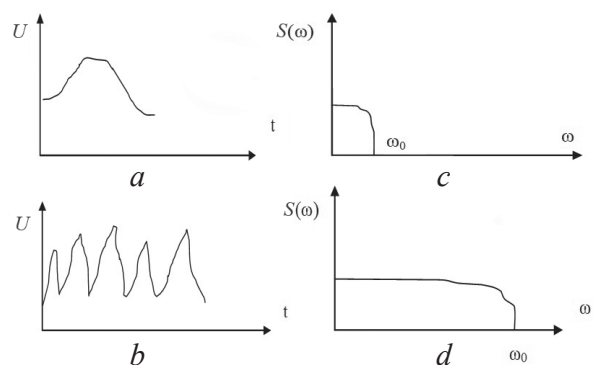


Рис. 1. Временное и частотное представления сигналов

Приведем теперь некоторые математические соотношения. Введем понятие «комплексная спектральная плотность» или «спектральная характеристика» $S(j\omega)$. Эта величина связана с входным сигналом $U(t)$ прямым преобразованием Фурье. Зная $S(j\omega)$, можно определить $U(t)$ с помощью обратного преобразования Фурье:

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (1)$$

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

Отсюда фундаментальный вывод: спектральное и временное представления сигнала однозначно связаны с помощью прямого и обратного преобразования Фурье. Модуль спектральной характеристики $S(\omega)$ представляет четную функцию частоты. Для прямоугольного импульса модуль спектральной характеристики имеет вид, показанный на рис. 2.

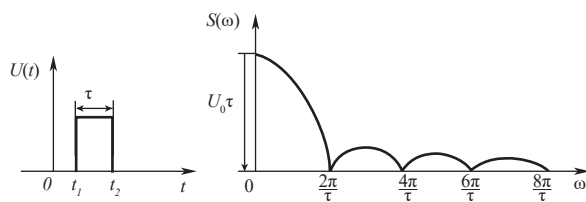


Рис. 2. Спектр одиночного прямоугольного импульса

Из рис. 2 четко просматривается тенденция: чем короче импульс (меньше продолжительность сигнала τ), тем шире спектр. Теперь понятны отмеченные ранее фундаментальные закономерности: быстрый сигнал — широкий спектр — широкополосный канал связи; медленный сигнал — узкий спектр — узкополосный канал связи. Действительно, медленный сигнал можно представить в виде набора протяженных импульсов (спектр узкий), а быстрый сигнал — в виде набора коротких импульсов (спектр широкий).

Для строительной отрасли более характерны медленные сигналы. Такая ситуация имеет место, например, в системах контроля состояния здания. В этом случае сигналы от датчиков могут передаваться по узкополосным каналам. Может использоваться широкополосный канал — один для многих датчиков с разделением по частоте или времени (см. далее). Следует отметить новую технологию (разновидность технологии PLC), основанную на узкополосной связи через линии электропередачи, которая является перспективной для применения в строительной отрасли (высокая скорость не требуется, есть доступ к электросети).

Временное и частотное разделения сигналов

В современных автоматизированных устройствах часто используется прием «мультиплексирование», который заключается в том, что сигналы от нескольких источников передаются по одному каналу связи. В сфере строительства такой прием может применяться, например, при передаче по одному каналу сигналов большого числа датчиков.

Для осуществления мультиплексирования необходимо произвести разделение входных сигналов, для этого существуют два принципиально различных способа разделения сигнала: по частоте и по времени.

Эти способы необходимы не только в контексте применения их в строительной индустрии, но и с точки зрения понимания современных цифровых технологий. Так, в мобильных технологиях используются системы, основанные на разделении каналов по частоте (FDMA — Frequency Division Multiple Access), и системы, в которых разделение каналов происходит по времени (TDMA — Time Division Multiple Access). Другой пример — подключение к интернету через абонентскую телефонную линию: интернет-трафик и голосовая связь передаются через один канал в различных частотных диапазонах. Этот список можно продолжить.

При мультиплексировании с разделением по частоте входным каналам отводится определенная полоса частот, после мультиплексирования они образуют один широкополосный канал. Принцип частотного разделения каналов поясняется схемой на рис. 3.

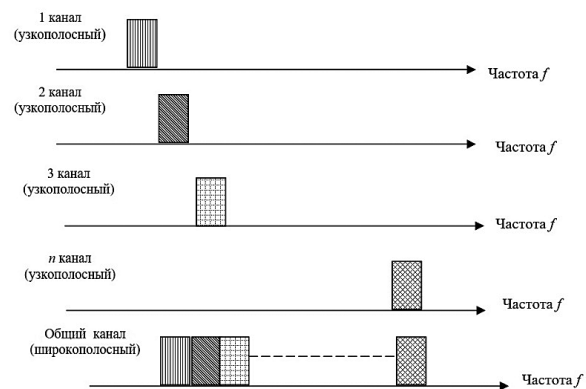


Рис. 3. Частотное разделение каналов

В случае временного разделения одному каналу выделяется отрезок (слот) общего времени передачи, но на этот отрезок предоставляется вся ширина полосы пропускания общего канала, т.е. за выделенное время можно передать быстрый сигнал, большой объем информации и т.п. Принцип временного разделения каналов представлен на рис. 4.

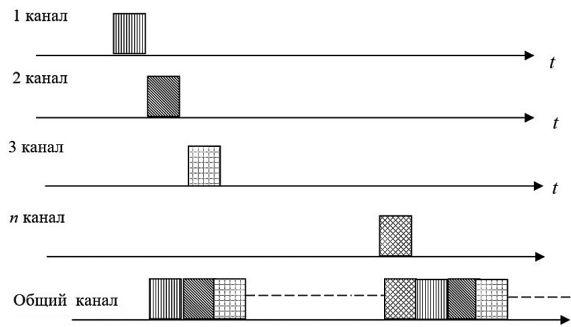


Рис. 4. Временное разделение каналов

В строительной отрасли временное и частотное разделения сигналов могут быть использованы в системах сбора и обработки информации о состоянии здания, в структурированных кабельных системах, при подключении офиса строительной компании к интернету по технологии ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

Дискретизация и квантование сигналов

При автоматизации технических процессов широко применяются преобразователи формы информации (ПФИ) непрерывной (аналоговой) величины в дискретную — аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и обратные преобразователи — цифро-аналоговые (ЦАП). ПФИ широко используются в строительной отрасли: в решениях «умный дом», в системах автоматизированного контроля состояния здания, при автоматизации технологических процессов и др. Значение ПФИ существенно повысилось в связи с внедрением новой IT-технологии — Big Data, которая позволяет оперативно обрабатывать большие объемы разнотипной информации. В качестве источников информации для Big Data могут служить показания многочисленных датчиков, установленных на объекте строительства. Зачастую сигналы датчиков представлены в аналоговой форме, для оцифровки необходимы ПФИ.

ПФИ (АЦП) характеризуются двумя основными параметрами: быстродействием (измеряется частотой дискретизации — f_d) и точностью (измеряется количеством достоверных разрядов на выходе — n).

Процесс преобразования непрерывной величины в цифровой код состоит из двух процессов: дискретизации по времени и квантования по уровню.

Рассмотрим процесс дискретизации. В этом процессе непрерывная по времени величина (чаще всего это — напряжение $U(t)$) заменяется рядом дискретных отсчетов, причем амплитуда отсчетов — величина непрерывная, может принимать любое значение в заданном интервале (допустим, $0 \dots U_{max}$).

Частота дискретизации (частота отсчетов) зависит от скорости изменения входного сигнала АЦП. Интуитивно понятно, что, чем быстрее сигнал, тем выше должна быть частота дискретизации f_d , чтобы

отслеживать быстрые изменения входного напряжения. Перечисленные процессы поясняются диаграммами на рис. 5.

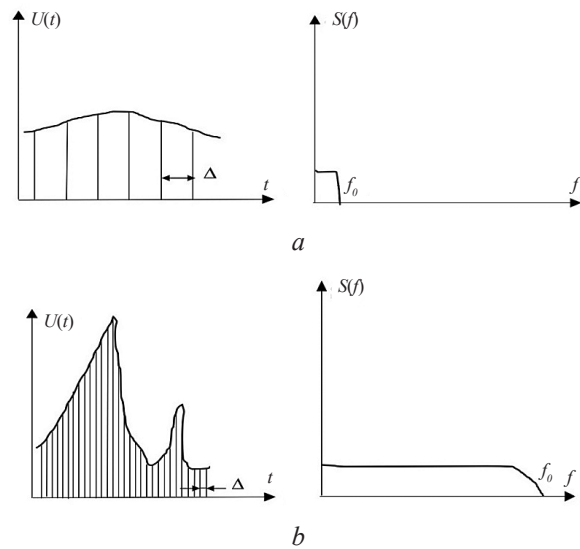


Рис. 5. Дискретизация медленного (a) и быстрого (b) сигналов

Из рис. 5, a видно, что, когда сигнал медленный, его спектр — узкий, при этом частота среза, ограничивающая полосу спектра f_0 , имеет небольшое значение. Тогда величину шага дискретизации Δ можно взять достаточно большой, и по этим дискретам восстановить исходный сигнал. Во втором случае (рис. 5, b) сигнал изменяется быстрее, ему соответствует широкий спектр, шаг дискретизации следует взять значительно меньше, иначе мы пропустим быстрые изменения сигнала, и нельзя будет восстановить исходный сигнал. Таким образом, чем быстрее сигнал и, соответственно, выше частота среза f_0 , тем меньше следует брать шаг квантования по времени Δ и выше частоту дискретизации f . Математически эту зависимость вывел академик В.А. Котельников в своей известной формуле

$$f_d \geq 2f_0, \tag{2}$$

где f_d — частота дискретизации (обратно пропорциональна шагу квантования по времени Δ).

Формулу (1) следует учитывать при проектировании автоматизированных систем в строительстве: завышение значения f_d относительно расчетного значения приведет к информационной избыточности (например, не имеет смысла дискретизировать медленные сигналы датчиков состояния здания с высокой частотой). Результатом занижения значения f_d могут стать значимые потери информации.

При квантовании по уровню непрерывное значение амплитуды заменяется двоичным кодом. Допустим, амплитуда сигнала изменяется в пределах $0 \dots U_{max}$, а U — конкретное значение амплитуды

ды, количество двоичных разрядов равно n (рис. 6). Тогда амплитуда U сопоставляется с линейкой эталонных уровней, число которых равно 2^n (номера от 0 до $2^n - 1$). Расстояние между уровнями или величина кванта — $q = U_{\max}/2^n$. Амплитуде U присваивается двоичный код, соответствующий ближайшему меньшему эталонному уровню. Например, если амплитуда находится между нулевым и первым уровнем, то присваивается код 0 ... 00, если амплитуда находится между третьим и четвертым уровнем, присваивается код 0 ... 011 и т.д.

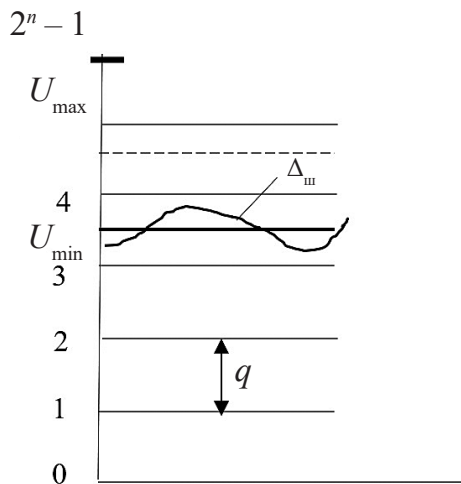


Рис. 6. Квантование по уровню

Таким образом, мы заменяем непрерывное значение амплитуды цифровым двоичным кодом, при этом возникает ошибка, максимальное значение ко-

торой равно q . Поскольку $q = U_{\max}/2^n$, то, чем больше количество разрядов n , тем меньше расстояние между уровнями и выше точность.

Однако при увеличении числа разрядов n следует соблюдать условие

$$q > \Delta_{\text{ш}}, \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{ш}}$ — величина инструментальной погрешности, в частности шумов на входе.

На практике автоматизированные строительные системы часто работают в условиях промышленного шума, поэтому следует выбирать количество разрядов АЦП n так, чтобы соблюдалось условие (3), иначе младшие разряды АЦП будут недостоверны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работе в адаптированном для студентов строительных вузов виде даны достаточно сложные вопросы, касающиеся теории сигналов и их передачи по линиям связи. Рассмотрены три ключевых момента, лежащие в основе многих современных ИТ-технологий: временное и спектральное представления сигналов, временное и частотное разделения сигналов, дискретизация и квантование сигналов. На базе полученного материала можно выстраивать дальнейшее обучение таким современным цифровым технологиям, как мобильные технологии, интернет, интернет вещей, облачные и граничные вычисления, цифровые двойники и др. Несомненно, что список ИТ-технологий, где востребован изложенный в работе материал, будет постоянно дополняться и обновляться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Konikov A. Promising wireless applications in the construction industry // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. P. 10043. DOI: 10.1051/e3s-conf/202016410043
2. Konikov A. A selective study of information technologies to improve operations efficiency in construction // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 170. P. 01110. DOI: 10.1051/matecconf/201817001110
3. Банных Г.А. Использование интернет-технологий в университетском образовании: информационная компетентность и возможности ее формирования у студентов и преподавателей // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2016. № 1 (33). С. 15–33. DOI: 10.17223/1998863X/33/2
4. Ижунин М.А. Технология VPN: характеристика // Молодой ученый. 2019. № 50 (288). С. 10–12.
5. Холод И.И. Архитектура «облака» интеллектуального анализа данных на основе библиотеки алгоритмов с блочной структурой // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2014. № 6. С. 34–40.
6. Максимов К.В. Эффективность использования облачных вычислений: методы и модели оценки // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 1 (61). С. 106–113.
7. Гневалов М.В., Иванов Н.А. Технологии «больших данных» (Big Data) и их применение в градостроительном планировании // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 4. С. 83–87.
8. Konikov A., Konikov G. Big Data is a powerful tool for environmental improvements in the construction business // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. P. 012184. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012184
9. Майер-Шенбергер В., Кукьер К. Большие данные: революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. 231 с.

10. *Коников А.И.* Ситуационный центр управления эксплуатацией зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 7. С. 84–87.

11. *Ivanov N., Gnevanov M.* Big data: perspectives of using in urban planning and management // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 170. P. 01107. DOI: 10.1051/mateconf/201817001107

12. *Valpeters M., Kireev I., Ivanov N.* Application of machine learning methods in big data analytics at management of contracts in the construction industry // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 170. P. 01106. DOI: 10.1051/mateconf/201817001106

13. *Hersent O., Boswarthick D., Elloumi O.* The Internet of Things: Key Applications and Protocols. John Wiley & Sons, Ltd, 2011. DOI: 10.1002/9781119958352

14. *Chernyak L.* IoT platform // Open systems. DBMS. 2012. № 7.

15. *Reid J., Rhodes D.* Digital system models: An investigation of the non-technical challenges and research needs // 2016. Conference on Systems Engineering Research. 2016. 10 p.

16. *Lopez P.G., Montresor A., Epema D., Datta A., Higashino T., Iamnitchi A. et al.* Edge-centric computing: vision and challenges // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2015. Vol. 45. Issue 5. Pp. 37–42. DOI: 10.1145/2831347.2831354

17. *Манюкова Н.В.* Компьютерное зрение как средство извлечения информации из видеоряда // Математические структуры и моделирование. 2015. № 4 (36). С. 123–128.

Поступила в редакцию 9 июля 2021 г.

Принята в доработанном виде 26 февраля 2021 г.

Одобрена для публикации 26 февраля 2021 г.

Об авторе: **Александр Ильич Коников** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; KonikovAI@mgsu.ru.

INTRODUCTION

Presently, the Internet, mobile communications, wireless data channels, and cloud computing technologies are being introduced into practical construction activities [1–6]. They have been integrated with the most advanced information technologies, such as Big Data [7–12], the Internet of Things [13, 14], digital twin [15], edge computing [16], computer vision [17], etc. They bring numerous production/business processes underway in the construction industry to a qualitatively new level. Therefore, a graduate of a civil engineering university must master the fundamentals of these technologies and know how to use them in his/her practical activities. These skills are particularly important for the specialities dealing with information technologies in civil engineering.

The problem is that a number of important issues that serve as the basis for mobile communications, the Internet, wireless technologies, are solely taught at the universities and schools that focus on teaching physics, electronics, communications, etc. Meanwhile, students of civil engineering universities need to understand the principal terms and theoretical provisions of these technologies in the customized form. Since the article format does not contemplate any detailed reproduction of the theoretical material, the author will only consider the key issues that, to his mind, are most important in terms of theory and methodology.

MATERIALS AND METHODS

Systematization, the benchmark method and the method of generalization of data extracted from literary sources were employed.

Research findings

To begin with, we'd like to focus on the notions used to study advanced digital technologies. They are time signal notation, spectral characteristics, bandwidth, time and frequency division, multiplexing, discrete sampling and quantization of a signal. Neither the successful study, nor the efficient application of advanced technologies is possible without mastering these basic notions. Therefore, we will consider them one by one further in this article, placing the focus on the features of the construction industry.

Time and spectrum signal notation

This issue is fundamental for the study of signals and the theory of communications. Signals can be considered in two domains, the first one is the time domain, and the second one is the frequency domain. One and the same signal can be displayed with the help of the time axis (which is a more customary method) and demonstrated in the domain of frequencies, if the signal is displayed along the frequency

axis (as a rule, cyclical frequencies are employed for this purpose).

The following two examples of quickly and slowly changing signals are demonstrated in Fig. 1: *a, b* demonstrate signal representation in time, while *c, d* stand for its frequency representation. Fig. 1 shows that when a signal is slow, its spectrum is relatively narrow (cut-off frequency ω_0 is small). In the second case, the signal changes faster, and its spectrum is wider, that means that the value of cut-off frequency ω_0 is substantially bigger. Hence, we can make an important conclusion: a slow signal corresponds to a narrow spectrum; therefore, to have it transmitted over a communication channel, we need a channel having a small bandwidth, or a narrow band channel. A quickly changing signal has a wide spectrum, therefore, it needs a broadband communication channel.

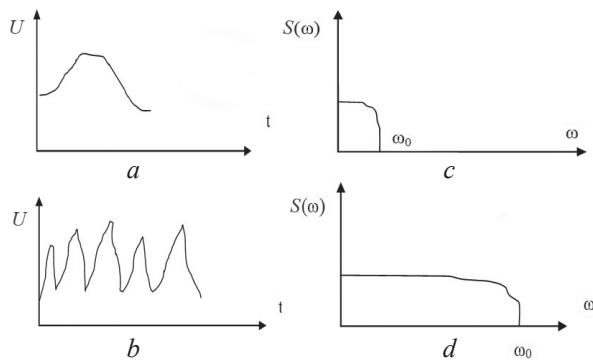


Fig. 1. Signals represented in time and frequency domains

Let's focus on the mathematic constituent of this issue and introduce the notion of “complex spectral density” or “spectral characteristic” $S(j\omega)$. Forward Fourier transformation connects this value with input signal $U(t)$. If we know $S(j\omega)$, we can calculate $U(t)$ with the help of inverse Fourier transformation:

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-j\omega t} dt, \tag{1}$$

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

Hence, we can make the following fundamental conclusion: signal representation in frequency and time domains are related by means of direct and inverse Fourier transformations. Modulus of band characteristic $S(\omega)$ represents an even function of the frequency. The modulus of the band characteristic of a square wave is shown in Fig. 2.

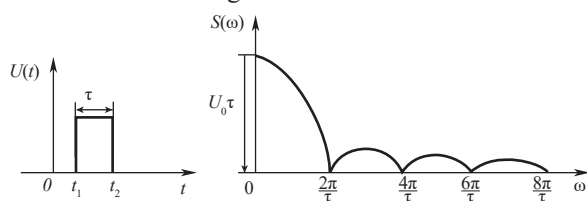


Fig. 2. The band of a single square wave

Fig. 2 demonstrates the following trend: the shorter the wave (the smaller the duration of signal τ), the wider the band. Now we can master the fundamental regularities that we identified earlier: a fast signal means a broad band and a broadband communication channel, while a slow signal means a narrow band and a narrow band communication channel. Indeed, a slow signal can be represented as a set of long pulses (a narrow band), while a fast signal can be represented as a set of short pulses (a broad band).

Slow signals are more typical for the construction industry, namely, building control systems. In this case, signals, produced by sensors, can be transmitted over narrowband channels. A broadband channel can also be employed, it will serve several sensors and signals will be broken down by frequencies or time (the explanation will follow). Here we would like to mention a new technology (an option of the PLC technique), developed with the help of narrowband communication over electricity transmission lines which has a strong potential in the construction industry (no high speed is needed, access to the power grid is available).

Time and frequency division of signals

Advanced automated devices often use the multiplexing technique which means that signals, emitted by several sources, are transmitted over one communication channel. In the construction industry this technique can be used, for example, to transmit signals, emitted by several sensors, through one channel.

Multiplexing needs input signals to be divided, and two absolutely different signal division technologies can be applied for this purpose, they are frequency division and time division technologies.

These technologies are important not only in the context of their application in the construction industry, but they are also vital for the understanding of advanced digital technologies. Indeed, mobile technologies employ the systems built around the frequency division of channels (FDMA — Frequency Division Multiple Access), and the systems that encompass the time division of channels (TDMA — Time Division Multiple Access). Another example consists in an Internet connection using a telephone line: both Internet traffic and the voice are transmitted through one channel in different frequency bands. And the list of similar examples can be very long.

If multiplexing, coupled with frequency division, is employed, input channels obtain a dedicated band of frequencies, they consolidate into one single broadband channel with the help of multiplexing. The principle of frequency division of channels is explained in Fig. 3.

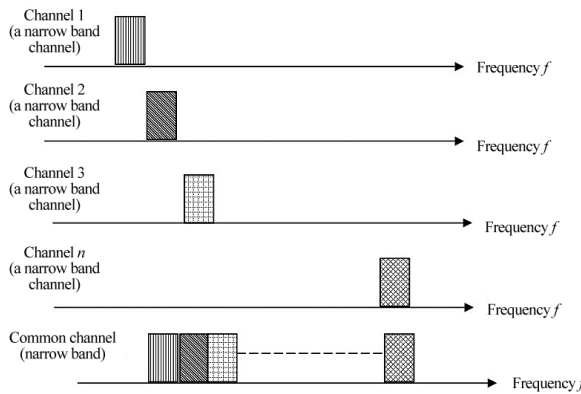


Fig. 3. Frequency division of channels

In the case of the time division, one channel obtains a section (a slot) in the overall transmission time; however, this slot accumulates the whole bandwidth of the shared channel, which means that a fast signal and a large amount of information can be transmitted within an allocated time slot, etc. The principle of the time division of channels is shown in Fig. 4.

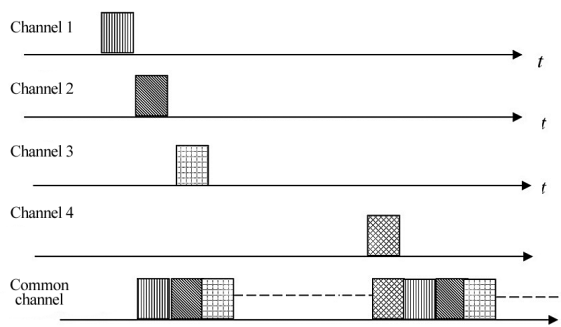


Fig. 4. Time division of channels

In the construction industry, time and frequency division of signals can be employed by the systems responsible for the collection and processing of information about the condition of a building or a structure, by structured cabling networks, if the office of a construction company has an ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) Internet connection.

Signal sampling and digitization

The automation of technical processes needs converters of analog variables into discrete ones (or analog-digital converters) and inverse converters (or digital — analog converters). Such converters are widely spread in the construction industry, including “smart house” solutions, systems of control over the condition of buildings and structures, automated processes, etc. These converters have gained importance as a result of the emerge of the Big Data technology that makes it possible to process big amounts of heterogeneous

information. Readings of multiple sensors, installed at construction facilities, can serve as the source information usable by the Big Data technology. More often than not, signals produced by sensors represent analog variables that need to be converted.

Converters have the following two principal parameters: speed of operation (which is measured by sampling frequency f_s) and accuracy (which is measured by n , or the number of reliable output digits).

The process of converting an analog variable into the digital code may be split into two sub-processes: time digitization and level sampling.

Let’s address the process of digitization. A variable, which is continuous in time (in the most cases it is voltage $U(t)$), is substituted for a raw of sampled calculations, whose amplitude is a continuous variable which can have any value (for example, $0 \dots U_{max}$).

Sampling frequency (the frequency of calculations) depends on the speed of changes in the converter’s input signal. It is intuitively clear that the faster the signal, the higher the sampling frequency f_s , because fast changes in the input voltage need to be traced.

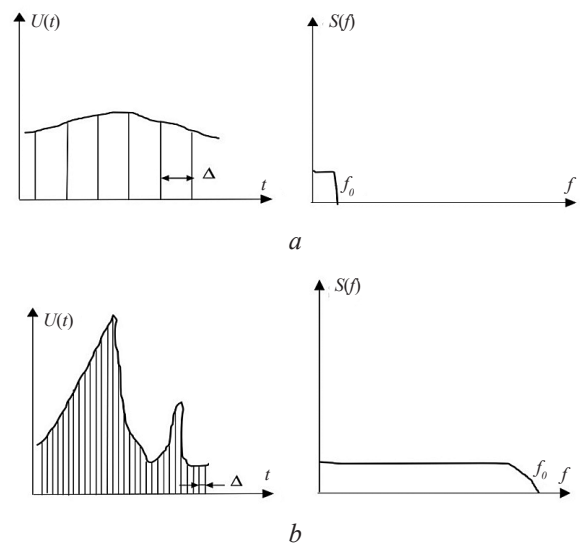


Fig. 5. The sampling of slow (a) and fast (b) signals

Fig. 5, a shows that if the signal is slow, its band is narrow, and the cutoff frequency that limits spectrum band f_0 , is maximal. Therefore, the value of sampling interval Δ can be quite large, in order to have the input signal restored using these intervals. In the second case (Fig. 5, b) the signal changes faster, it corresponds to a broad band, therefore, the sampling interval shall be smaller, otherwise we will miss fast signal changes and the input signal will be impossible to restore. Hence, the faster the signal and the higher the cutoff frequency f_0 , the smaller the sampling interval Δ and the higher the sampling frequency f . The mathematical description of this dependency

was formulated by Academician V.A. Kotelnikov in is well-known formula

$$f_s \geq 2f_{\theta}, \quad (2)$$

where f_s is sampling frequency (which is inversely proportional to sampling interval Δ).

Formula (1) should be employed in the design of computer-aided systems in civil engineering: setting excessively high values of f_s can cause information redundancy (for example, the sampling of slow signals produced by high-frequency building condition sensors makes no sense). Substantial losses of information are the consequence of setting excessively low values of f_s .

In the process of digitization, continuous amplitude is represented as the binary code. Let's assume that signal amplitude changes within $0 \dots U_{\max}$ limits, where U is the specific value of an amplitude, and the number of binary digits is equal to n (Fig. 6). In this case, amplitude U is compared with the line of benchmark levels, whose number is equal to 2^n (from 0 to $2^n - 1$). The level-to-level distance or the digit value is equal to $q = U_{\max}/2^n$. Amplitude U obtains the binary code that corresponds to the closest and smallest benchmark value. For example, if the amplitude is between the zero and the first level, it obtains the code that reads as $0 \dots 00$, if the amplitude is between the third and fourth level, it obtains the code that reads as $0 \dots 011$, etc.

Hence, we substitute the continuous value of the amplitude for a digital binary code, and a mistake, whose value is equal to q , is generated as a result of this process. Since $q = U_{\max}/2^n$, then the bigger the n number, the smaller the distance between the levels and the higher the accuracy.

However if the n number goes up, the following condition must be complied with

$$q > \Delta_n, \quad (3)$$

where Δ_n is the value of the instrument error, including the input noise value.

In practical terms, computer-aided civil engineering systems frequently operate in the conditions of industrial noise; therefore, the n number should ensure the compliance with condition (3), otherwise, smaller digits generated by the converter, will be unreliable.

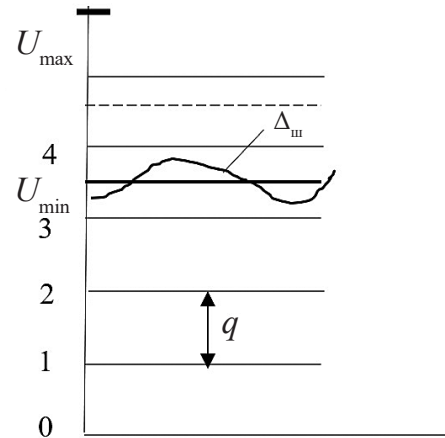


Fig. 6. Sampling

CONCLUSION AND DISCUSSION

The articles addresses complex issues of the theory of signals and their transmission over communication lines. In this work, they are simplified for students of civil engineering universities. The author also addresses the key points employed by numerous advanced information technologies: they include time and spectral representation of signals, time and frequency division of signals, signal sampling and digitization. This work can serve as the basis for teaching advanced digital technologies, including mobile communications, the Internet, the Internet of Things, cloud and edge computing, digital twin, etc. No doubt that the list of information technologies, built around the material provided in this article, will be supplemented and updated.

REFERENCES

1. Konikov A. Promising wireless applications in the construction industry. *E3S Web of Conferences*. 2020; 164:10043. DOI: 10.1051/e3sconf/202016410043
2. Konikov A. A selective study of Information technologies to improve operations efficiency in construction. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 170:01110. DOI: 10.1051/mateconf/201817001110
3. Bannykh G.A. The use of internet technologies in university education: information competence and the possibility of it's formation among students and teachers. *Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science*. 2016; 1(33):15-33. DOI: 10.17223/1998863X/33/2 (rus.).
4. Izhunin M.A. VPN technology: characteristics. *Young scientist*. 2019; 50(288):10-12. (rus.).
5. Kholod I.I. Data mining cloud architecture based on library of algorithms with functional-block structure. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University*. 2014; 6:34-40. (rus.).
6. Maksimov K.V. Methods and models for assessing the effectiveness of the use of cloud computing. *Journal of Applied Informatics*. 2016; 11(1):(61):106-113. (rus.).
7. Gnevanov M.V., Ivanov N.A. Application of technologies "Big Data" in urban planning. *Industrial and Civil Engineering*. 2018; 4:83-87. (rus.).
8. Konikov A., Konikov G. Big Data is a powerful tool for environmental improvements in the con-

struction business. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017; 90:012184. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012184

9. Mayer-Schoenberger V., Kukier K. *Big data: a revolution that will change the way we live, work and think*. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber, 2014; 231. (rus.).

10. Konikov A.I. Situational control center of buildings operation. *Industrial and Civil Engineering*. 2018; 7:84-87. (rus.).

11. Ivanov N., Gnevanov M. Big data: perspectives of using in urban planning and management. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 170:01107. DOI: 10.1051/mateconf/201817001107

12. Valpeters M., Kireev I., Ivanov N. Application of machine learning methods in big data analytics at management of contracts in the construction industry. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 170:01106. DOI: 10.1051/mateconf/201817001106

13. Hersent O., Boswarthick D., Elloumi O. *The Internet of Things: Key Applications and Protocols*. John Wiley & Sons, Ltd, 2011. DOI: 10.1002/9781119958352

14. Chernyak L. IoT platform. *Open systems. DBMS*. 2012; 7.

15. Reid J., Rhodes D. Digital system models: An investigation of the non-technical challenges and research needs. *2016 Conference on Systems Engineering Research*. 2016; 10.

16. Lopez P.G., Montresor A., Epema D., Datta A., Higashino T., Iamnitchi A. et al. Edge-centric Computing: Vision and Challenges. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. 2015; 45(5):37-42. DOI: 10.1145/2831347.2831354

17. Manyukova N.V. Computer vision as a means of extracting information from video series. *Mathematical Structures and Modeling*. 2015; 4(36):123-128. (rus.).

Received July 9, 2021.

Adopted in revised form on February 26, 2021.

Approved for publication on February 26, 2021.

BIONOTES: Alexander I. Konikov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; KonikovAI@mgsu.ru.