

ТАКТИЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ

К. А. Кузнецов, А. С. А. Мутханна*, А. Е. Кучерявый

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

*Адрес для переписки: ammarexpress@gmail.com

Аннотация

В соответствии с рекомендациями 3GPP и МСЭ Тактильный Интернет является одним из основных приложений сетей связи пятого поколения (5G/IMT2020). Тактильный Интернет, можно сказать, представляет собой новую парадигму телекоммуникаций, поддерживающих, при его внедрении, передачу тактильных ощущений, что является основным приложением этой концепции. В статье проводится анализ приложений Тактильного интернета, проблемы реализации и подходы к их решению.

Ключевые слова

Тактильный Интернет, приложение, требования, 5G.

Информация о статье

УДК 004.7

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 17.11.19, принята к печати 30.12.19.

Ссылка для цитирования: Кузнецов К. А., Мутханна А. С. А., Кучерявый А. Е. Тактильный Интернет и его приложения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Том 7. № 2. С. 12–20. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-2-12-20.

TACTILE INTERNET AND ITS APPLICATIONS

K. Kuznetsov, A. Muthanna*, A. Koucheryavy

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

*Corresponding author: ammarexpress@gmail.com

Abstract—Based on 3GPP and ITU recommendations, Tactile Internet is one of the main applications of 5G communication networks (5G / IMT2020). Tactile Internet represents a new paradigm of telecommunications, which can support the transfer of Tactile sensations, which is the main application of this concept. The article analyzes Tactile Internet applications, implementation problems and approaches to their solution.

Keywords—Tactile Internet, application, requirements, 5G.

Article info

Article in Russian.

Received 17.11.19, accepted 30.12.19.

For citation: Kuznetsov K., Muthanna A., Koucheryavy A.: Tactile Internet and Its Applications. 2019. Том 7. № 2. С. 12–20. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-2-12-20.

Введение

Тактильный интернет является одной из важнейших частей эволюции сетей связи и представляет собой взаимодействие человека и машины (H2M) на уровне ощущений. Такими ощущениями могут быть: прикосновения, визуальные и слуховые эффекты. Технология расширяет возможности человеческих рецепторов до глобального уровня, с возможностью ощущать события находясь на большом удалении от эпицентра их генерации. Все эти характеристики влекут за собой потребность в обеспечении высокой доступности, надежности, безопасности, а также задержек, не превышающих уровень 1000 мкс.

К концу этого года будут оглашены стандарты по организации беспроводных сетей пятого поколения (5G/IMT 2020) [1] это станет последним шагом на пути создания сетей 5G. Возникнет новая эра инфокоммуникационных технологий и различных способов их применения. Большинство реализаций смогут быть осуществлены в ближайшее время вместе с реализацией нового поколения связи, исключением является Тактильный Интернет. Кинестетические коммуникации вызывают наибольшие проблемы и сложности, в частности такие трудности вызывает обеспечение сверх низких задержек.

Главным приложением, передаваемым с помощью Тактильного Интернета, являются взаимодействия с применением трехмерного прикосновения [2]. Исследования в области тактильных связей начались в 1998 году, когда группа исследователей в лаборатории Человеческих и Машинных взаимодействий, и исследовательская лаборатория Электроники Массачусетского Технического Университета (MIT)¹ произвели эксперимент по возможностям совместного взаимодействия людей, удаленных друг от друга.

Тактильный Интернет является одной из основополагающих концепций наряду с интернетом вещей при создании сетей связи пятого поколения (5G / IMT 2020), что анонсировано 3GPP и МСЭ. Он позволяет передать через сеть физические навыки, что может привести к изменению преимущественного типа нагрузки сети – контента (видео, аудио, текстовые сообщения и др.), в сторону передачи навыков и ощущений.

¹ MIT Election lab URL: <https://electionlab.mit.edu/>

Архитектура сети

Сеть тактильного интернета представляет собой совокупность систем, технологий и их взаимосвязей, обеспечивающих сверхнизкие задержки и высокую доступность. Определяется два вида взаимодействия – тактильное и не тактильное. Первое подразумевает постоянное наличие обратной связи, реакции устройств или датчиков. Такое взаимодействие в совокупности с аудио и видео соединением называют «Глобальным управлением». Второй вид взаимодействия не предполагает отклик устройств на прилагаемое управление².

Рис. 1 отображает основу концептуальной архитектуры, в которой главным образом выделяется три элемента: домен управления, сетевой домен и домен исполнения, также важно определять наличие или отсутствие тактильной обратной связи между доменами.

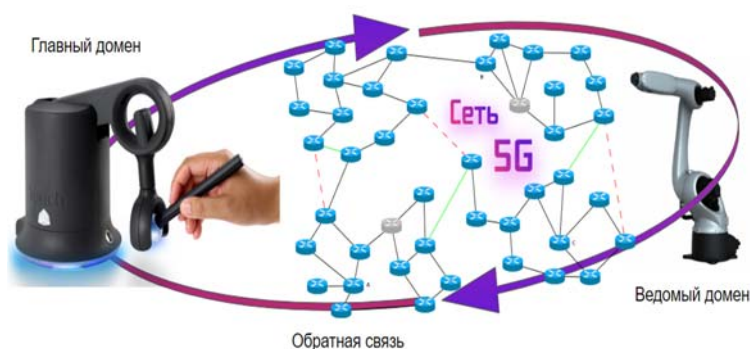


Рис. 1. Реализация Тактильного Интернета

1. Домен управления (ведущий, главный)

Основной функцией ведущего домена является прием человеческого воздействия, преобразование его в тактильное восприятие и осуществление обратной связи. Таким образом, домен включает в себя человека (оператора) и человеко-интерпретируемый системный интерфейс [3].

2. Сетевой домен

Сеть связи для тактильного интернета представляется в виде плотно распределённая сетевая ткань (*fabric*, – фабрика), то есть совокупность сетевых устройств и вычислений, производящихся на разных уровнях приближения к пользователю, для борьбы с задержками. Цель домена – связать другие домены, с наименьшей затратой времени, высокой безопасностью и доступностью.

3. Домен исполнения (ведомый)

Представляет собой механизированное устройство или программный комплекс управляемый человеком из главного домена.

Приложения системы Тактильного Интернета

Ожидается, что Тактильный Интернет совершит революцию в индустрии связи из-за его огромного влияния на жизнь человека. Он будет широко применяться в таких областях, как здравоохранение, включая дистанционную хирургию, промышленная автоматизация, виртуальная и дополненная реальность, игры и образование.

² 5G PPP Architecture Working Group white paper, "View on 5G Architecture".

Хаптик (тактильные) взаимодействия представляют собой основные приложения Тактильного Интернета. На рис. 2 представлены основные потенциальные приложения концепции Тактильного Интернета, включающие в себя:

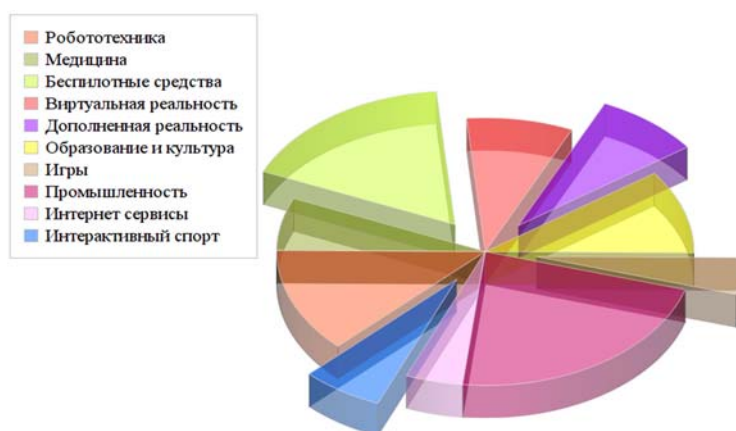


Рис. 2. Услуги тактильного интернета

А. Приложения в области здравоохранения: Предполагается, что Тактильный Интернет поможет медицинскому персоналу более эффективно выполнять свою работу за счет внедрения новых приложений и средств, которые не поддерживаются традиционными сетями. Эти приложения включают дистанционную диагностику, реабилитацию и удаленную хирургию. Они сделают высококвалифицированных медицинских специалистов и врачей доступными в любом месте, что существенно повысит качество оказания медицинских услуг. Кроме того, роботы смогут выполнять сложные операции (например, неврологические и операции на сердце) с дистанционным управлением опытного хирурга посредством Тактильного Интернета.

В. Виртуальная и дополненная реальности (VR/AR) [4]: Тактильный Интернет поможет динамическому решению проблем виртуальной и дополненной реальности вместо существующих статических решений. VR можно рассматривать как форму тактильной взаимосвязи, которая будет предоставляться через Тактильный Интернет. Требования к задержке и надежности приложений VR/AR будут поддерживаться Тактильным Интернетом, который, как ожидается, достигнет круговой задержки в 1 мс, что существенно больше, чем требуется приложениям VR (5 мс).

С. Приложения индустриальной автоматизации: Управление замкнутым контуром большинства промышленных автоматизированных систем требует круговой задержки для датчиков и исполнительных механизмов величиной в 1 мс. Это может быть достигнуто с помощью системы Тактильного Интернета, а существующая проводная система будет превращена в беспроводную или в систему дополненной реальности. Это позволит в большей степени автоматизировать процесс производства и повысить его эффективность.

Д. Приложения роботов: В последнее время роботы начинают принимать все большее участие в повседневной жизнедеятельности общества, и число внедренных роботов, прибыль от них увеличиваются с каждым днем. Тактильный Интернет позволит существенно улучшить управление роботами со стороны человека, особенно для приложений дистанционного управления. Ультрамалая задержка

и надежность, требуемые роботам с дистанционным управлением, изначально заложены в концепцию Тактильного Интернета.

Е. Беспилотные средства: Ожидается, что Тактильный Интернет поможет в управлении дорожным движением с помощью датчиков транспортных средств и систем помощи водителю. Тактильный Интернет может улучшить, как взаимодействия между транспортными средствами (V2V) [5], так и взаимодействия между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой (V2I). Кроме того, ультрамалая задержка, необходимая для автомобильных приложений и беспилотных автомобилей будет, естественно, поддерживаться Тактильным Интернетом.

Ф. Приложения для умной энергетики: Основной целью умной сети для энергетики является эффективное распределение энергии при требуемой стабильности энергоснабжения. Умные энергосистемы контролируют состояние генераторов и линий электропередачи, и управляют работой и тех, и других. Кроме того, контролируется потребление и тарифы пользователей. Поэтому, такие системы требуют высокой надежности и ультрамалых задержек (например, требуемая задержка из конца в конец синхронного совместного использования поставщиков электроэнергии составляет 1 мс) для передачи информации между сетями. Тактильный Интернет сможет поддерживать эти системы, обладая малыми задержками с очень низкими потерями (вероятность потери пакетов 0,001 %) [6].

Г. Приложения Интернет сервисов: Такого рода приложения создаются для расширения возможностей маркетинга. Они позволяют мгновенно оценивать желания и потребности покупателя. Сегодня, чтобы приобрести какой-либо товар большинство отправляются в магазин. Тактильный Интернет позволит потрогать или примерить товар, не выходя из дома³.

Н. Приложения для образования и культуры: Познание истории прошлого, приобретение новых навыков будет становиться все более интерактивным. Посещая музеи и выставки появится возможность прикоснуться к любым экспонатам, даже утерянным многие века назад, посредством Тактильного Интернета. VR/AR технологии помогут еще больше погружаться в атмосферу прошлого, получать новые навыки, например, управление самолетом, автомобилем, сварное дело и множество других.

И. Интерактивный спорт: Занятия спортом, здоровый образ жизни становятся все более популярными. Планируется, что сети пятого поколения (5G/IMT 2020) позволять тренироваться и состязаться вместе несмотря на разделяющее вас расстояние. Армреслинг с роботом, который управляется соперником или игра в теннис с вашим зарубежным другом? Скоро это может стать реальностью.

Ж. Другие приложения: Тактильный Интернет будет иметь множество приложений в различных областях, которые не ограничиваются ранее упомянутыми. Ожидается, что Тактильный Интернет будет использоваться в таких важных областях жизнедеятельности человека как: образование, культура, профессиональные игры и беспилотные летательные аппараты. Приложения Тактильного Интернета могут помочь детям и взрослым с трудностями в развитии их образовательных навыков, восстановлении навыков после травм или инвалидности. Профессиональные игры – это игры, в которых развлечение сочетается с другими

³ 3GPP TR 22.891, "Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers," Ver. 14.2.0.

мотивациями и задачами. При этом именно эти мотивы представляют основную цель игры. Профессиональные игры имеют приложения во всех важных областях жизнедеятельности человека и общества, таких как: образование, тренировки, обучение и здоровье. Поскольку круговая задержка представляет собой важный фактор, определяющий динамику игры и ее результаты, Тактильный Интернет может обеспечить самую лучшую поддержку подобных приложений. Кроме того, Тактильный Интернет может обеспечить построение сети связи для управляемых человеком беспилотных летательных аппаратов с необходимой задержкой, надежностью и доступностью системы [7].

Диаграмма представляет сравнение приложений тактильного интернета по потребностям в обеспечении ключевых особенностей концепции (рис. 3).

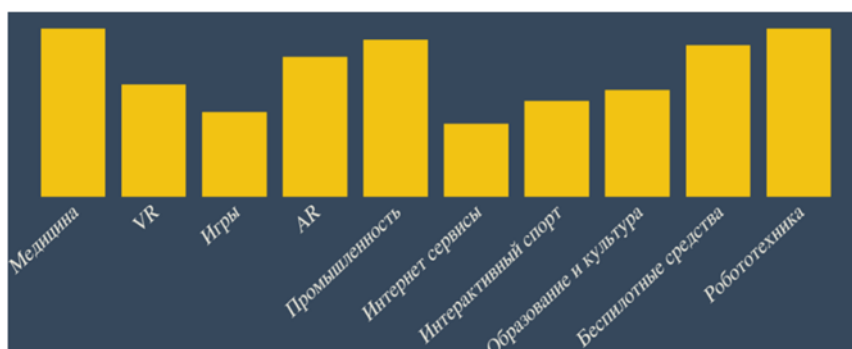


Рис. 3. Сравнение приложения Тактильного Интернета

Медицина выступает лидером среди других приложений. Её потребности являются самыми ответственными, ведь за каждой кратчайшей задержкой стоит человеческая жизнь [8].

Поиск совместимости технологий

Совместимость технологий предполагает использования сетей предыдущих поколений совместно с 5G (IMT 2020). Такой подход позволяет значительно уменьшить нагрузку на новую сеть, что способствует улучшению таких показателей как: jitter, задержки, доступность.

Взаимодействие человеческих тактильных ощущений может происходить в режиме реального времени, только если сеть обеспечит задержку меньше, чем соответствующая физиологическая константа времени. В таблице 1 (см. ниже) указаны различные физиологические константы времени для разных ощущений человека.

Человек, как социальное существо не может уйти от потребности в разговоре, общении. Поэтому Передача речи и звука является неотъемлемой частью сетей пятого поколения (5G/ IMT 2020). Ввиду большого количества разговорного трафика, не нуждающегося в обеспечении малых задержек, для такого вида данных можно применять сети 3G, 4G. Также передача статистики или иных данных, которые не предъявляют высоких требований для передачи информации, должны передаваться с помощью иных технологий, включая сети второго поколения. Несмотря на их устаревающие характеристики, нельзя не отметить лучше в мире покрытие, которое поможет решать специфические задачи будущего [9].

Таблица 1.

Физиологические константы времени для различных ощущений человека

Ощущение	Константы времени t
Мышечное	1 с
Слуховое	100 мс
Визуальное	10 мс
Тактильное	1 мс

Передача тактильных ощущений в реальном времени – самый требовательный параметр одноименных сетей. Остальные физиологические константы, представленные в таблице 1 требуют задержек от 10 мс и более. Сеть четвертого поколения способна обеспечивать задержки порядка 5 мс. Теоретически такой показатель может быть снижен до 2 мс. Таким образом мышечные, слуховые и визуальные ощущения могут быть переданы с помощью 4G. Такое решение существенно снизит нагрузку на ядро сети пятого поколения [10].

Ограничения

Концепция Тактильного Интернета безусловно является одной из технологий будущего, позволяя все больше улучшать наш мир. Заявленные требования по круговой задержке, не превышающей 1 мс будоражат умы многих. Существуют разные методы уменьшения задержек, основным из которых является организация туманных вычислений, наиболее приближенных к пользователю. Однако стоит посчитать на какое расстояние возможно передать частицу света за 1 мс. Вспомним простую формулу $S = V \times t$, где V – скорость света (3×10^8 м/с).

$$S = 3 \times 10^8 \text{ м/с} \times 0,001 \text{ с} = 3 \times 10^5 \text{ м} = 300 \text{ км}$$

Таким образом, мы нашли предельное расстояние для передачи света за 1 мс, без учета потерь на обработку передаваемых данных, на затухание сигнала и т. д. Ограничение по передачи света, как самой быстрой частице, открытой на сегодняшний день, препятствуют применению тактильного интернета за рамками одного города или организации.

Требования к приложениям

Существует несколько различных путей подходов к идейному представлению работы и взаимодействию приложений Тактильного Интернет, большинство из них требует, как можно более низкий задержек и максимальной надежности, но все же сложилось представления о некотором разделении этих пониманий, который представлены в таблице 2⁴.

⁴ 3GPP TR 38.913, "Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies," Ver. 14.3.0.

Таблица 2.

Сравнительный анализ требований приложений

Тип приложения	Задержки (мс)	Надёжность (%)	Скорость передачи данных	Размер передаваемой нагрузки	Плотность передачи данных	Плотность абонентов	Область обслуживания (м)
Тактильные взаимодействия	0,5	99,999	мал.	мал.	мал.	мал.	любая
Удаленное управление	50	99,9999	1–100 Мбит/с	любой	100 Гбит/км ²	1000 км ²	300×300×50
Мониторинг	50	99,9	1 Мбит/с	мал.	10 Гбит/км ²	10 000 км ²	300×300×50
Смарт транспорт	10	99,9999	10 Мбит/с	любой	10 Гбит/км ²	1 000 км ²	2 км вдоль дороги

Вывод

Тактильный Интернет – это концепция, которая в скором времени сможет преобразить человеческую жизнь, позволив реализовать взаимодействия H2M в полной мере и с новым качеством. Люди смогут обезопасить себя от вредных производств, быстрее обучаться, оказывать медицинские услуги высококвалифицированных специалистов в кратчайшие сроки и много другое. В то же время внедрение концепции Тактильного Интернета требует пересмотра принципов построения существующих и перспективных сетей связи, в том числе и сетей связи пятого поколения. Основной проблемой при этом является реализация требований Тактильного интернета по круговой задержке величиной в 1000 мкс.

Литература

1. Meryem, S., Adnan, A., Mischa, D. The 5G-Enabled Tactile Internet: Applications, Requirements, and Architecture // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016. Pp. 1–6.
2. Ali, I., Seung-Chan, K., Poupyrev, I. Surround Haptics: Tactile Feedback for Immersive Gaming Experiences // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2012. Pp. 1087–1090.
3. Атея А. А., Филимонова М. И., Мутханна А. С. А. Структура Системы 5G/IMT-2020 // 73-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню Радио. 2018. С. 191–192.
4. Xiaochi, G., Weize, S., Yuanzhe, B., Dao, Z., Dexmo: An Inexpensive and Lightweight Mechanical Exoskeleton for Motion Capture and Force Feedback in VR // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2016. Pp. 1991–1995.
5. Koon J. Will Vehicle-to-Vehicle Communication Ever Take Off? URL: <https://www.engineering.com/IOT/ArticleID/18583/Will-Vehicle-to-Vehicle-Communication-Ever-Take-Off.aspx>
6. Fettweis G. The Tactile Internet: Applications and Challenges // IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 9, no. 1, pp. 64–70.
7. Выборнова А. И. Кучерявый А. Е. Тактильный интернет: новые возможности и задачи // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2016. Первый научный форум «Телекоммуникации: теория и технологии» 3Т-2016. С. 133–134
8. Волков А. Н., Атея А. А., Мутханна А. С. А., Киричек Р.В. MEC и SDN/NFV как решение по обеспечению 1 мс в сетях связи 5G/IMT-2020 // 73-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню Радио.

9. Abuarqoub, A. Hammoudeh, M. H. Behaviour Profiling in Healthcare Applications Using the Internet of Things Technology // Proceedings of Fourth International Conference on Advances in Information Processing and Communication Technology. Pp. 1–4.

10. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный Интернет. Сети связи со сверх малыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.

References

1. Meryem, S., Adnan, A., Mischa, D. The 5G-Enabled Tactile Internet: Applications, Requirements, and Architecture // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016. Pp. 1–6.

2. Ali, I., Seung-Chan, K., Poupyrev, I. Surround Haptics: Tactile Feedback for Immersive Gaming Experiences // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2012. Pp. 1087–1090.

3. Ateya, A. A., Filimonova, M., Muthanna, A. 5G/IMT-2020 System Structure // 73rd All-Russian Scientific-Technical Conference, Dedicated to the Day of Radio. 2018. Pp. 191–192.

4. Xiaochi, G., Weize, S., Yuanzhe, B., Dao, Z., Dexmo: An Inexpensive and Lightweight Mechanical Exoskeleton for Motion Capture and Force Feedback in VR // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2016. Pp. 1991–1995.

5. Koon, J. Will Vehicle-to-Vehicle Communication Ever Take Off? URL: <https://www.engineering.com/IOT/ArticleID/18583/Will-Vehicle-to-Vehicle-Communication-Ever-Take-Off.aspx>

6. Fettweis, G. The Tactile Internet: Applications and Challenges // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2014. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 64–70.

7. Vybornova, A., Koucheryavy, A. Tactile Internet: New Opportunities and Objectives // The First Scientific Forum "Telecommunications: Theory and Technology" (3T). 2016. Pp. 133–134.

8. Volkov, A., Ateya, A. A., Muthanna, A., Kirichek, R. MEC and SDN/NFV as a Solution for Providing 1ms in 5G/IMT-2020 Communication Networks // 73rd All-Russian Scientific-Technical Conference, Dedicated to the Day of Radio. 2018. Pp. 192–193.

9. Abuarqoub, A. Hammoudeh, M. H. Behavior Profiling in Healthcare Applications Using the Internet of Things Technology // Fourth International Conference on Advances in Information Processing and Communication Technology. 2016. Pp. 1–4.

10. Koucheryavy, A., Makolkina, M., Kirichek, R. Tactile Internet. Ultra-Low Latency Networks // *Elektrosvyaz*. 2016. No. 1. Pp. 44–46.

**Кузнецов
Константин Алексеевич** – студент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация, kuznetsov.sut@gmail.com

**Мутханна
Аммар Салех Али** – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
ammarexpress@gmail.com

**Кучерявый
Андрей Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация, akouch@mail.ru

Kuznetsov Konstantin – student, SUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation,
kuznetsov.sut@gmail.com

Muthanna Ammar – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, SUT,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation,
ammarexpress@gmail.com

Koucheryavy Andrey Doctor of Engineering Sciences, Full Professor,
Head of the Department, SUT, St. Petersburg,
193232, Russian Federation, akouch@mail.ru