

Высоконадежные сети с ультра малыми задержками

Лекция

Нaptic-кодек в системе Тактильного Интернета

Владимиров С.С., Владимиров С.А.

Одной из основных задач, рассматриваемых при построении систем ТИ, является разработка семейства кодеков, предназначенных для передачи команд дистанционного управления и сигналов тактильной и управляющей обратной связи [1, 2]. Эти кодеки получили общее название Нaptic-кодеки или, в переводе на русский, «тактильные» кодеки. Работа над разработкой Нaptic-кодеков ведется исследователями по всему миру [3–6]. В частности, в рамках международной ассоциации IEEE сформирована рабочая группа Нaptic Codec Task Group (P1918.1.1), занимающаяся разработкой соответствующего стандарта [6].

В статье рассмотрен вопрос организации тактильных кодеков в рамках функционального и информационного взаимодействия элементов системы ТИ. При этом, рассматривая задачу организации тактильных Нaptic-кодеков, будем рассматривать их в широком смысле, понимая под Нaptic-кодеком всю совокупность методов кодирования и обработки данных, применяемых на уровне приложений системы ТИ (согласно модели TCP/IP), охватывающем три верхних уровня сетевой модели ISO/OSI.

Место кодека в структуре системы ТИ

На рис. 1 представлена функциональная структура системы ТИ с точки зрения взаимодействия ее элементов. Система разделена на два основных уровня: уровень приложений и уровень передачи данных. Если сравнивать приведенную функциональную структуру со структурой системы ТИ, основанной на модели OSI и предложенной в статье [7], то уровень приложений

соответствует трем верхним уровням модели OSI — сеансовому, представления и прикладному, а уровень передачи данных охватывает четыре нижних уровня модели OSI — физический, каналный, сетевой и транспортный.

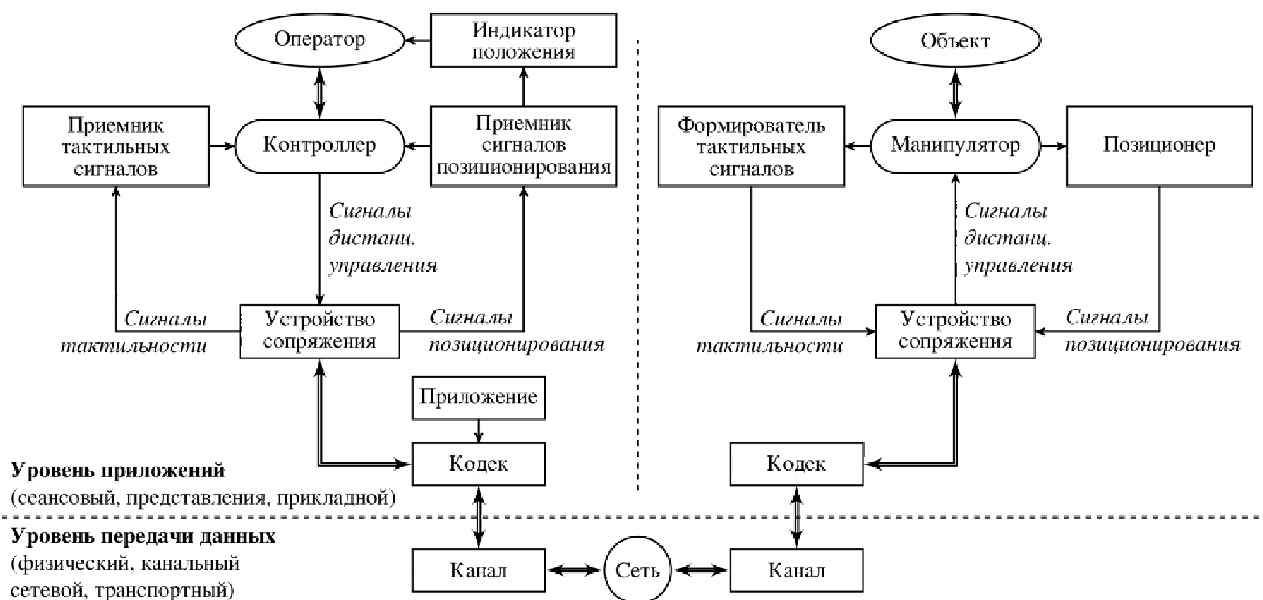


Рис. 1. Структура системы ГИ с точки зрения взаимодействия между элементами.

В любой системе ГИ должны присутствовать следующие элементы:

1. Оператор или субъект управления, который является источником управляющих воздействий и приемником тактильности. Оператор взаимодействует с системой через контроллер и, как правило, использует дополнительное устройство, названное на рис. 1 индикатором положения, для контроля правильности взаимодействия с объектом. Оно визуально отображает реакцию объекта на воздействие. В случае М2М систем роль оператора возлагается на специализированный программно-аппаратный комплекс. При таком подходе построение системы несколько упрощается, поскольку нет необходимости представлять принимаемые сигналы обратной связи в вид приемлемый для оператора-человека.
2. Объект, являющийся конечным приемником управляющих воздействий и источником тактильности. Элементом системы ГИ, непосредственно

взаимодействующим с объектом, является манипулятор, который реализует управляющие воздействия оператора на объект и считывает сигналы взаимодействия с объектом — тактильности и позиционирования — для их дальнейшей передачи оператору.

3. Кодек, который предназначен для приема сигналов дистанционного управления от контроллера оператора, преобразования сигналов управления, позиционирования и тактильности в вид, пригодный для передачи по каналам связи. Кодек непосредственно взаимодействует с каналами связи и является завершающим функциональным блоком уровня приложений. Устройство сопряжения показано на рисунке как обобщенный блок — в реальных устройствах оно обеспечивает сопрягающие интерфейсы и реализуется как часть устройств, присоединенных к нему.
4. Каналы связи реализуют семейство протоколов от транспортного до физического уровня, предназначенных для пакетирования и передачи данных ТИ через существующие и выделенные специализированные сети.

При этом, в рассмотренной на рис. 1 функциональной структуре отметим следующие взаимодействия элементов:

1. Дистанционное управление, как воздействие оператора на объект, выполняемое опосредованно через условную цепочку контроллер–кодек–канал–кодек–манипулятор.
2. Отклик или реакция объекта на управление, являющаяся результатом воздействия управления на объект. Отклик включает в себя сигналы позиционирования и тактильности, то есть управляющую и тактильную обратную связь.

В совокупности эти взаимодействия решают основные три задачи ТИ [8]. При этом обязательным условием, для того чтобы рассмотренные элементы и

взаимодействия образовывали систему ТИ, является осязаемость управления, а основным свойством — динамичность.

Далее перейдем к собственно работе системы ТИ и передаче информации и рассмотрим базовый протокол взаимодействия.

Базовый протокол взаимодействия в системе передачи ТИ

Базовый протокол взаимодействия сторон в системе передачи ТИ представлен на рис. 2.

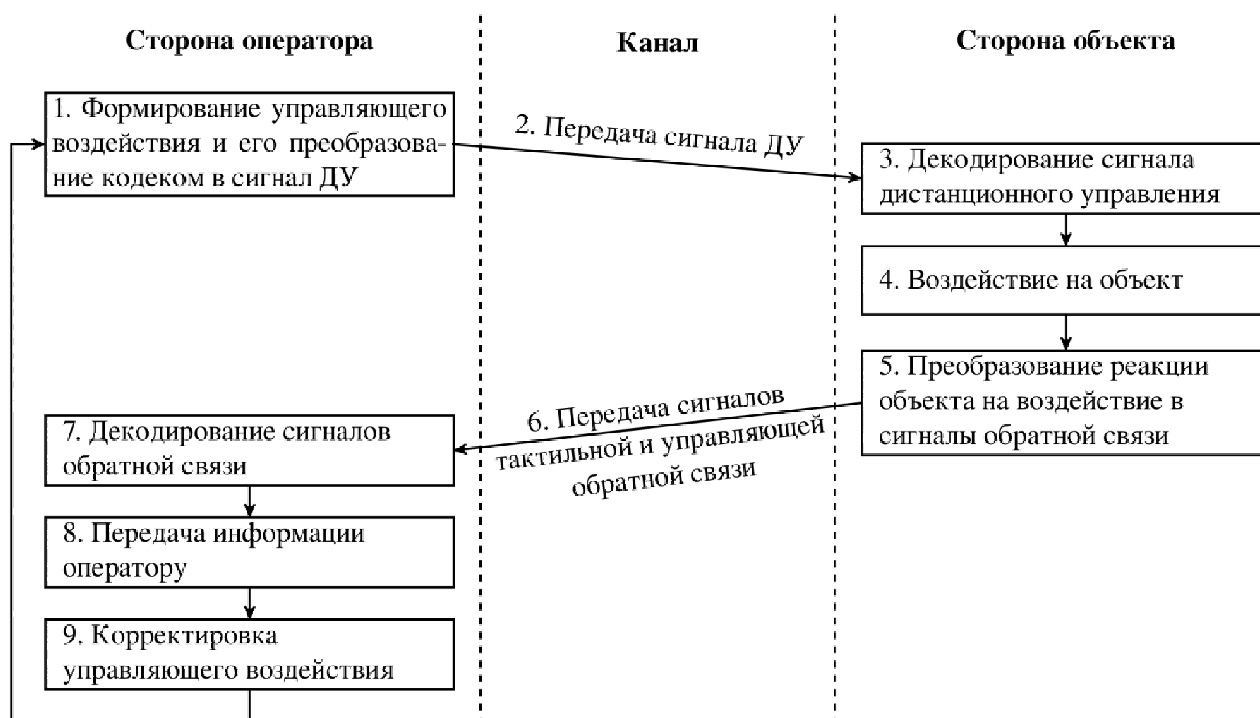


Рис. 2. Базовый протокол взаимодействия сторон в системе передачи ТИ

Оператор с помощью контроллера формирует управляющее воздействие, изменяя параметры объекта или положения объекта. Далее эти изменения параметров воздействий или их значений кодируются, преобразуются в сигнал дистанционного управления и передаются в канал.

На принимающей стороне — стороне объекта — сигналы дистанционного управления декодируются и преобразуются в согласованные изменения

параметров управления, на основе которых манипулятор осуществляет собственно воздействие на объект.

В результате воздействия на объект возникает отклик или реакция, принимаемая датчиками манипулятора. На основе реакции определяются изменения параметров тактильности и позиционирования, которые далее кодируются в сигналы тактильной и управляющей обратной связи и передаются в канал.

На стороне оператора принятые сигналы обратной связи декодируются, преобразуются в изменения параметров тактильности и позиционирования, и на основе этих изменений кодек формирует передаваемые оператору сигналы тактильного отклика и сигналы отображения положения объекта.

Необходимо помнить, что помимо оператора и объекта существует еще и окружающая их среда, которая оказывает дополнительное влияние на изменение параметров воздействия, тактильности и позиционирования как со стороны объекта, так и со стороны оператора. Это влияние должно учитываться при рассмотрении таких систем и разработке соответствующих кодеков.

При исследовании взаимодействия в системах ТИ в качестве основного обычно рассматривается случай одного оператора и одного объекта. Тем не менее, на практике встречаются случаи, когда должны быть реализованы и другие варианты, как показано на рис. 3: 1 оператор и M объектов; N операторов и 1 объект; N операторов и M объектов.

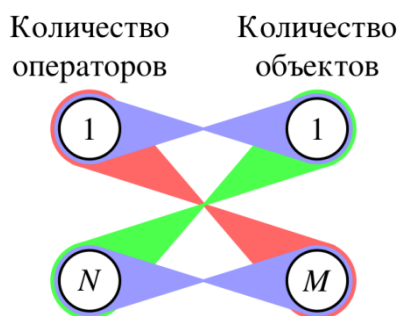


Рис. 3. Варианты взаимодействия оператор–объект.

На начальной стадии разработки Haptic-кодеков имеет смысл ориентироваться на типовой вариант «один оператор, один объект», который возникает, например, при управлении промышленным роботом-манипулятором или военным роботом-сапером с одним управляющим оператором. Но в дальнейшем необходимо проработать возможности кодека для применения остальных вариантов с N операторами и M объектами, которые могут возникнуть, например, при реализации военных и промышленных роботов, медицинских роботизированных систем, многопользовательских игр, использующих передачу тактильных ощущений, как реакций объекта.

Информационно-процессная модель Haptic-кодека

Рассмотрим Haptic-кодек с точки зрения его взаимодействия с другими элементами системы ТИ через изменение информации процессами обработки данных, то есть рассмотрим информационно-процессную модель Haptic-кодека.

Вначале рассмотрим информационно-процессную модель со стороны оператора/контроллера, представленную на рис. 4.

Сторона оператора в этой модели разделена на четыре основных части:

1. Элементы управления и воздействия, к которым относятся устройство управления (контроллер), блок вывода информации для отображения ее в виде, удобном оператору, управляющее приложение и окружающая среда, как внешний фактор влияния. Дополнительно могут присутствовать внешние специализированные подсистемы, обеспечивающие автоматизацию некоторых действий, выполняемых оператором посредством контроллера, или вовсе заменяющие оператора в случае систем D2D.
2. Процессы. К ним относится собственно Haptic-кодек, включающий в себя кодеки сигналов дистанционного управления, сигналов тактильности и сигналов позиционирования (т. е. сигналов управляющей обратной

связи); опциональный кодек аудио-видео сигналов, используемый в случае использования в системе мультимедийной обратной связи; вычислитель-имитатор, который в том числе, совместно с анализатором канала, служит для обеспечения механизмов компенсации критичных задержек ТИ [8]. Важно отметить, что Haptic-кодек и кодек аудио-видео сигналов обязательно должны быть синхронизированы между собой, чтобы не вызывать расхождений между отображаемой перед оператором картинкой и получаемыми им тактильными сигналами.

3. Память, содержащая буферы параметров, служащие для обеспечения взаимодействия процессов и элементов управления; конфигурационные наборы параметров, определяющие работу Haptic-кодека; базы данных, предназначенные для обеспечения правил применения механизмов аппроксимации, используемых в Haptic-кодеке при кодировании и декодировании данных, а также при реализации механизмов компенсации критичных задержек ТИ [8].
4. Канал связи. Для обеспечения работы кодека в существующих сетях связи и выделяемых каналах предполагается применить анализатор канала, как некий процесс или устройство для получения и подтверждения необходимых кодеку для организации функционального взаимодействия параметров канала связи. Применяемость и готовность существующих технологий и систем связи рассмотрена в статье [7].

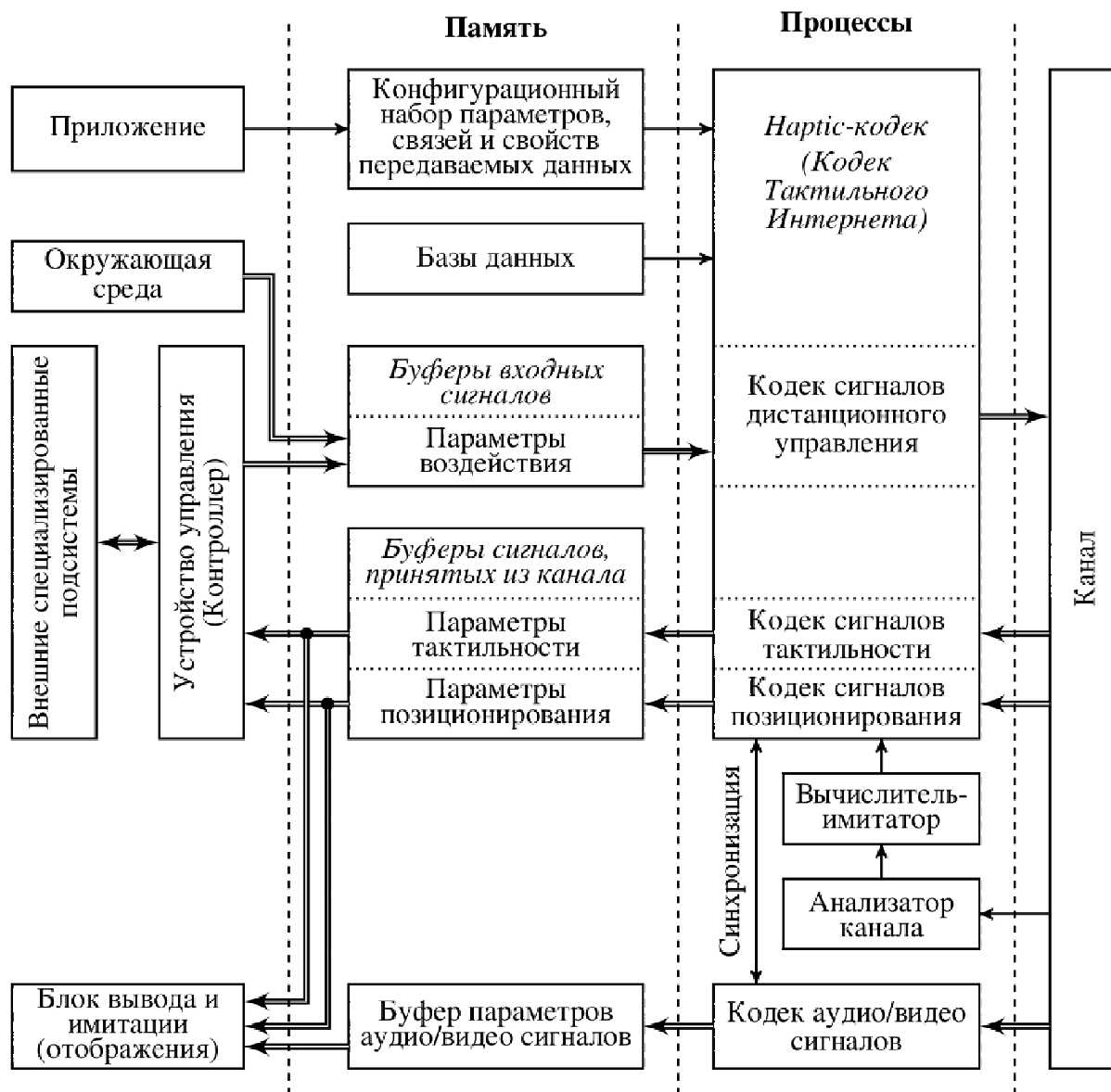


Рис. 4. Информационно-процессная модель стороны оператора/контроллера

Взаимодействия Haptic-кодека в рамках модели, представленной на рис. 4, можно описать набором процедур-обработчиков, отвечающих за работу с определенными элементами системы и реализацию функций самого Haptic-кодека. Эти обработчики могут представлять собой внутренние подсистемы (подпрограммы) кодека, которые могут выполняться на стороне оператора или на стороне объекта в зависимости от решаемой задачи, или являться внешними по отношению к самому кодеку подсистемами для реализации особых специализированных функций, не всегда обязательных к решению на

вычислителе, реализующем функционал кодека. Возможная организация набора процедур-обработчиков представлена на рис. 5. Обработчики разделяются на три категории: первичные, вторичные и третичные.

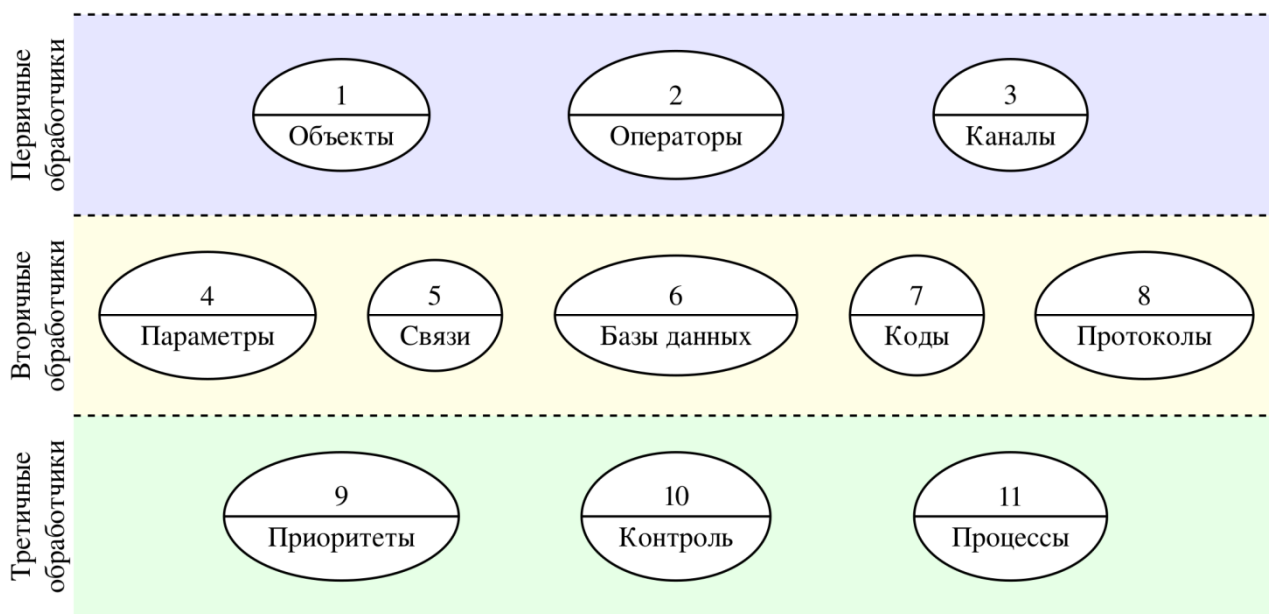


Рис. 5. Процедуры-обработчики, отвечающие за работу Naptic-кодека

В первичных обработчиках, которые могут быть реализованы в рамках управляющего приложения, определяются и ограничиваются задачи для решения; определяются объекты управления, операторы, участвующие в процессе управления; задается, оценивается и составляется таблица возможных каналов; определяются взаимосвязи и зависимость по объектам и операторам; а также может быть обозначена приоритетность. Таким образом, основной задачей, выполняемой первичными обработчиками, является определение источников и приемников тактильности, а также соединяющих их каналов. По итогам работы формируется первичный раздел конфигурационного файла с необходимым набором параметров, свойств и признаков. Прохождение обработчиков первичных сред не предполагает возможность включения Naptic-кодека в работу.

Обработчики вторичных сред согласно своему назначению должны определить необходимые наборы параметров, свойств, признаков и иной информации, обеспечивающие решаемую кодеком задачу требуемым необходимым и возможным функционалом, а также выявить или задать возможный диапазон их изменений. Дополнительно определяются пункты получения и назначения, способы кодирования и правила передачи для каждого пункта, формируются базы данных кодека и вторичный раздел конфигурационного файла.

Согласно сформированным областям базы и разделам конфигурационного файла обработчики третичных сред формируют для кодека необходимые области в базах и в конфигурационном файле в соответствии с назначением, а именно по приоритетам, контролю за данными и процессам внутри кодека. Последней подзадачей обработчика третичных сред является формирование и задание параметров тактильности с корректировкой данных в области тактильности и разделе конфигурационного файла для завершения подготовки кодека к работе.

В дальнейшем каждый тип обработчика планируется к использованию на различных этапах подготовки и реализации задачи Naptic-кодека, включая его взаимодействие в процессе исполнения в реальном времени, и будет рассмотрен более подробно в ходе дальнейшей проработки.

Рассмотрим более подробно работу кодека на стороне оператора, как субъекта, инициирующего работу системы, во взаимодействии с другими элементами системы (см. рис. 4).

Управление системой Naptic-кодека производится оператором посредством приложения. Оно формирует в памяти конфигурационный набор параметров, связей и свойств передаваемых данных, который используется для инициализации и контроля работы элементов кодека, указывая им методы и алгоритмы обработки сигналов дистанционного управления, получаемых от контроллера и окружающей среды, и сигналов тактильной и управляющей

обратной связи, принимаемых из канала связи. При этом, как было указано ранее, должны быть сформированы списки субъектов и объектов управления и каналов, используемых для передачи данных между ними.

Исходя из сформированной конфигурации, формируются буферы сигнальных параметров, поступающих на вход кодека от источников управляющих воздействий, т. е. контроллера и окружающей среды, и параметров тактильности и позиционирования, выделяемых кодеком из соответствующих сигналов, которые принимаются из канала связи. Опционально, при реализации мультимедийной обратной связи, может быть сформирован буфер аудио/видео сигнала, принимаемого из канала связи и обрабатываемого соответствующим кодеком, синхронизированным с Haptic-кодеком.

Далее запускаются процессы анализатора канала и вычислителя-имитатора, которые используются Haptic-кодеком совместно с заранее сформированной базой данных для компенсации критичных задержек ТИ [8]. Параллельно система взаимодействует со стороной объекта/манипулятора (см. рис. 6), передает необходимые настройки кодеков и согласует параметры протоколов передачи и обработки данных.

Оператор, используя контроллер, формирует сигналы дистанционного управления. Кодек кодирует эти сигналы в вид, пригодный для передачи по каналу связи, преобразует параметры сигналов дистанционного управления и формирует двоичные пакеты с командами управления, которые далее передаются в канал связи. В ответ из канала связи принимаются сигналы тактильности и сигналы позиционирования, представленные в виде пакетов данных, и, при востребованности, пакеты аудио-видео данных. Соответствующие элементы Haptic-кодека и аудио-видео кодек обрабатывают полученные пакеты, преобразуют данные в значения параметров сигналов, и синхронно пересылают их на контроллер и блок отображения, которые на их основе формируют информационное, тактильное и визуальное представление

хода работы системы для оператора. При реализации процедур кодирования Naptic-кодек может использовать данные от анализатора канала для динамической подстройки параметров кодирования к качеству канала. При этом, если изменение было проведено на стороне оператора/контроллера, то аналогичные настройки необходимо осуществить и на стороне объекта/манипулятора.

Информационно-процессная модель со стороны объекта/манипулятора, показанная на рис. 6, во многом подобна модели стороны оператора/контроллера. Однако, являясь фактически подчиненной/управляемой стороной, она значительно проще. В частности, на стороне объекта отсутствует управляющее приложение. Все необходимые параметры кодека согласуются со стороной оператора/контроллера перед началом работы. Оперативные изменения конфигурации кодека периодически или по требованию приходят по каналу связи от оператора.

На стороне манипулятора кодек реализует механизмы компенсации критичных задержек ТИ [8] согласно данных конфигурационного файла или правил применения аппроксимации для конкретной управляющей системы, поскольку манипулятор должен получать только реальные команды дистанционного управления от оператора с учетом условий и ограничений как объекта, так и манипулятора. В связи с этим в модели на рис. 6 присутствует вычислитель-имитатор. Также на приемной стороне должна присутствовать база данных, согласующаяся с базой на передающей стороне.

Процедура работы для стороны манипулятора начинается с получения конфигурации кодеков от стороны контроллера. После согласования настроек, начинается передача данных. Кодек сигналов дистанционного управления получает пакеты с командами из канала связи, декодирует из полученных данных значения или изменения необходимых сигнальных параметров воздействия и передает их на манипулятор через соответствующий буфер памяти.

Параметры сигналов тактильности и позиционирования объекта поступают от манипулятора в соответствующие буферы памяти, откуда они считываются подсистемой Haptic-кодека и преобразуются в пакеты данных, передаваемые по каналу связи. Параллельно и синхронно по аналогичному принципу работает подсистема кодирования и передачи аудио/видео сигналов, так называемая мультимедийная обратная связь. При этом кодек может использовать данные от анализатора канала для динамической подстройки параметров кодирования к качеству приема-передачи данных с их фиксацией в конфигурационном файле. Очевидно, что соответствующие изменения настроек должны быть возвращены и на сторону оператора/контроллера.

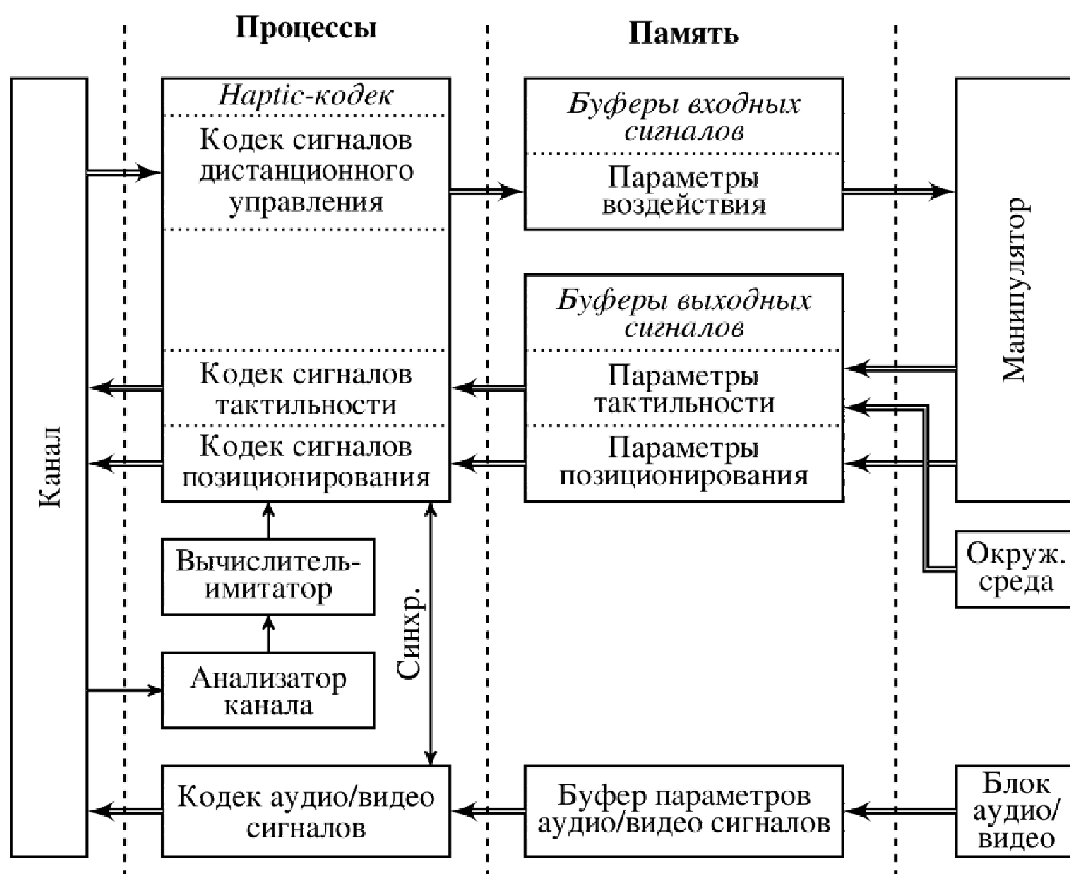


Рис. 5. Информационно-процессная модель стороны объекта/манипулятора

Выводы

1. В функциональной структуре системы ТИ кодек является граничным элементом уровня приложений и обеспечивает взаимодействие с каналом передачи данных.
2. Haptic-кодек представляет собой совокупность кодеков для обработки сигналов дистанционного управления, тактильности и позиционирования.
3. При использовании в системе ТИ мультимедийной обратной связи средствами кодека необходимо обеспечить синхронизацию между аудио/видео сигналами и сигналами Haptic-кодека.
4. Функциональное взаимодействие Haptic-кодека в рамках информационно-процессной модели ТИ предлагается рассматривать как совокупность процедур-обработчиков, разделенных на три категории согласно порядку выполнения операций.
5. В работе кодека необходимо учесть влияние окружающей среды на систему ТИ.

Список использованных источников

1. Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Киричек Р.В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
2. Aijaz A., Dohler M., Aghvami A.H., Friderikos V., Frodigh M. Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks // IEEE Wireless Communications. 2017. Vol. 24. Iss. 2. PP. 82–89. DOI: 10.1109/MWC.2016.1500157RP
3. Liu X., Dohler M., Mahmoodi T., Liu H. Challenges and opportunities for designing tactile codecs from audio codecs // 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC), Oulu. 2017. PP. 1–5. DOI: 10.1109/EuCNC.2017.7980643
4. Israr A., Kim S.-Ch., Stec J., Poupyrev I. Surround Haptics: Tactile Feedback for Immersive Gaming Experiences // CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, Austin, Texas, USA. 2012. PP. 1087–1090. DOI: 10.1145/2212776.2212392.

5. King H.H., Hannaford B., Kammerly J., Steinbachy E. Establishing multimodal telepresence sessions using the Session Initiation Protocol (SIP) and advanced haptic codecs // 2010 IEEE Haptics Symposium, Waltham, MA. 2010. PP. 321–325. DOI: 10.1109/HAPTIC.2010.5444637
6. Bhardwaj A., Cizmeci B., Steinbach E., Liu Q., Eid M., AraUjo J., Saddik A.E., Kundu R., Liu X., Holland O., Luden M.A., Oteafy S., Prasad V. A candidate hardware and software reference setup for kinesthetic codec standardization // 2017 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE), Abu Dhabi, United Arab Emirates. 2017. PP. 1–6. DOI: 10.1109/HAVE.2017.8240353
7. Владимиров С.С. Передача данных в Тактильном Интернете // Электросвязь. 2018. № 5. С. 44–48.
8. Владимиров С.С., Кучерявый А.Е. Механизм компенсации задержек для приложений Тактильного Интернета // Электросвязь. 2018. № 3. С. 62–67.