

Д. К. Левоневский, канд. техн. наук, зав. лабораторией, levonevskij.d@iiias.spb.su,
А. И. Мотиенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., anna.gunchenko@gmail.com,
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Модели сценариев функционирования медицинской киберфизической системы в штатных и экстренных ситуациях

Представлен анализ существующих решений в области медицинских киберфизических систем, рассмотрены отдельные их компоненты и средства мониторинга состояния пациентов. Установлено, что существуют отдельные разработки в этой области, однако отсутствует комплексный подход к организации киберфизического окружения пациентов в больницах и других стационарных учреждениях.

В ходе исследования изучены некоторые штатные и экстренные сценарии функционирования медицинских киберфизических систем, механизмы которых обеспечивают взаимодействие пациентов с такими системами из дома, а также при их нахождении в больницах и различных других стационарных учреждениях. Выполнено моделирование таких сценариев взаимодействия на логическом уровне их описания. Для моделирования сценариев построены диаграммы активности, структуры данных описаны с помощью диаграмм классов. Представлена обобщенная архитектура медицинской киберфизической системы. Полученные решения можно использовать при проектировании и разработке медицинских киберфизических систем удаленного взаимодействия с пользователем и их составных частей, реализующих мониторинг состояния здоровья пациентов, сбор и визуализацию данных о здоровье, решение вспомогательных задач. Применение предложенных решений предоставит возможность медицинским специалистам более оперативно получать и оценивать информацию, что в свою очередь приведет к повышению качества оказываемых медицинских услуг.

Ключевые слова: медицинская киберфизическая система, умное пространство, человеко-машинное взаимодействие, проектирование

Введение

Современный мир все больше полагается на успешное сочетание цифровых и физических систем для выполнения сложных задач автоматизации и управления процессами во многих сферах деятельности человека. Разработка подобных киберфизических систем (КФС) и обеспечение их эффективности, надежности и безопасности в настоящее время являются важной областью исследований. К подобным системам можно отнести интеллектуальные сети, системы управления "умным" транспортом, интеллектуальное производство и сельское хозяйство, "умный" дом, "умные" здания и сообщества, а также интеллектуальное медицинское оборудование. Существуют масштабные и комплексные решения, называемые "умными" городами.

Высокие темпы развития КФС обеспечили будущее персонализированной медицины, которая является одним из приоритетных направлений в Стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 г. Медицинские киберфизические системы (МКФС) представляют собой важный для здравоохранения способ интеграции вычислительных и медицинских устройств. Медицинские киберфизические системы — это контекстно-зависимые, жизненно важные системы, главной задачей которых является безопасность пациентов. Деятельность таких систем требует строгих процессов проверки для гарантий их соответствия требованиям пользователя и точности, ориентированной на принятые спецификации. Они обеспечивают развитие персонализированной медицины в рамках направления 4П-медицины, которая построена на

принципах индивидуального подхода к здоровью человека и включает в себя следующие понятия:

1) персонализация — индивидуальный подход к каждому пациенту с учетом генетических, биохимических и физиологических особенностей человека;

2) предикция — создание вероятностного прогноза здоровья (выявление предрасположенности к развитию заболевания);

3) превентивность — предотвращение или снижение риска развития заболевания в будущем;

4) партисипативность — мотивированное участие пациента в профилактике возможных заболеваний и их лечении.

Медицинские киберфизические системы в развитых странах все чаще используются в больницах для обеспечения разных аспектов непрерывного высококачественного медицинского обслуживания. Подобные технологии позволяют выполнять мониторинг состояния здоровья человека и в экстренных случаях предупреждают медицинских работников о необходимости неотложной помощи при ведении пациента. Согласно работе [1], традиционные клинические сценарии реализуются в системах с обратной связью, в которых лица, осуществляющие уход, выполняют роль контроллеров, медицинские устройства действуют как датчики и исполнительные механизмы, а пациенты с точки зрения организации работы системы выполняют роль физических объектов. Как отдельный класс, МКФС модифицируют этот сценарий, вводя дополнительные вычислительные объекты, чтобы помочь лицу, осуществляющему уход, в поддержке принятия решений [2].

Комплексный подход к организации киберфизического окружения палат в больницах, клиниках, интернатах, в домах престарелых и иных стационарных учреждениях с учетом современных требований к организации пребывания пациентов в стационаре, а также на дому у пациента основан на использовании современных технологий в области человеко-машинного взаимодействия, интеллектуального видеонаблюдения, обработки гетерогенных данных, интеллектуальных пространств.

Целью исследования, результаты которого представлены в настоящей статье, является расширение функциональных возможностей МКФС в части интеграции поведения разнородных компонентов при появлении различных ситуаций, возникающих в процессе ухода за пациентом. Для достижения этой цели авторами выполняется разработка формальных моделей сценариев функционирования МКФС, основанных на воз-

можных вариантах изменения физического состояния пользователей-пациентов и реагирования пользователей-специалистов. Поставленная цель предполагает проектирование технологических решений для реализации предлагаемого подхода в соответствии с парадигмами создания систем нового поколения, принятыми Европейским Консорциумом Периферийных Вычислений (ЕЕСС) в рамках "Industry 4.0" [3–5].

Обзор существующих решений в области медицинских киберфизических систем

В ходе исследования были рассмотрены отдельные аспекты МКФС — физиологические датчики, решения для "умных" пространств, и, в частности, "умных" палат, а также различные интегрированные решения для построения МКФС. Существующие системы мониторинга пациента предназначены, как правило, для анализа физического (физиологического) состояния различных групп населения, в первую очередь — для пожилых людей [6–12]. Так, в работе [6] предложена система определения факта падения человека на основе многомодальных беспроводных сенсорных сетей, включающих датчики температуры, движения и биосенсоры, видеокамеры, аудиодатчики и RFID-метки, которые позволяют идентифицировать объекты с помощью радиосигналов. Для повышения точности обнаружения падений и минимизации ложных срабатываний сенсоры используются совместно. Метки RFID применяют для отслеживания местоположения людей и активации видеокамер в помещениях, где последние находятся. Видеокамеры обеспечивают наблюдение и распознавание действий людей. Биосенсоры измеряют, например, артериальное давление или частоту сердечных сокращений, контролируя состояние здоровья. Датчики окружающей среды используют для предоставления контекстной информации об окружающей среде. Система позволяет осуществлять удаленный мониторинг ее пользователей посредством мобильных и локальных вычислительных сетей [7].

В работе [8] представлена концепция "умной" палаты с системой обнаружения падений, которая может подавать сигнал тревоги медицинским работникам при обнаружении падения. Она состоит из камеры глубины Kinect и алгоритма обнаружения падений на основе нейронной сети.

В работе [9] исследуются преимущества использования мобильной 3D-технологии визуализации для расширения мероприятий по оценке состояния окружающей среды, направленных на

преодоление внешних факторов риска падения в домашних условиях.

Беспроводная домашняя система мониторинга [10] включает в себя монитор состояния человека, носимый на запястье, и опционально пульсоксиметры или мониторы артериального давления, подключаемые по беспроводной сети. Такие средства позволяют собирать данные о деятельности и местоположении человека, распознавать падения, выдавать оповещения о паническом состоянии.

В работе [11] предложена система удаленного мониторинга здоровья пожилых людей на основе "умного дома", состоящая из "умной одежды", считывающей параметры сердцебиения и движения человека, и шлюза "умного дома", предназначенного для мультиплексирования и передачи данных на сервер здравоохранения. Предлагаемая система обладает хорошей масштабируемостью и простой эксплуатации.

В России аналогом рассмотренных систем является автоматизированная система дистанционного мониторинга здоровья человека "Монитор здоровья" [12]. Такая система позволяет автоматически считывать данные с различных специализированных приборов анализа параметров здоровья человека. При необходимости пользователь может предоставить врачу доступ к хранящимся в системе измерениям.

К более сложным и интегрированным решениям относится решение, выполненное в рамках концепции "умной" палаты, которая предложена в работе [13]. Она позволит реализовать сетевой мониторинг состояния пациента с помощью физиологических датчиков, обеспечивающих мониторинг в реальном времени на медицинском планшете врача, а также поддерживающих двустороннюю связь с медперсоналом с помощью мобильной телемедицинской диагностической системы. Разработка медицинской информационной системы для управления "умной" палатой и наблюдения за пациентами в режиме реального времени и соответствующего программного обеспечения даст возможность врачу контролировать их состояние с помощью медицинских планшетов или стационарных компьютеров. Такая система может предоставить следующие возможности:

1) мониторинг состояния пациентов в режиме реального времени с помощью прикроватных мониторов или специальных датчиков, установленных в "умной" палате;

2) заказ еды или лекарств, прописанных врачом, и возможность оставлять запросы на другие медицинские услуги;

3) управление внутренней средой палаты с планшета пациента;

4) контроль и планирование терапии;

5) мобильная лабораторная диагностика с использованием мобильного телемедицинского диагностического комплекса (МТДК);

6) обратная связь с пациентом, телемедицинское обследование пациента с помощью медицинского персонала, использующего МДТК в больницах, клиниках, поликлиниках и дома;

7) подключение к wi-fi, ТВ.

Еще одним примером интегрированной системы является "Электронная система больницы Bundang для полного ухода", реализованная в клинике Сеульского национального университета (Южная Корея) Bundang Hospital, которая является признанным лидером среди "умных" больниц. Реализованная в этой больнице цифровая система BESTCare представляет собой интегрированную систему, включающую:

— электронную медицинскую карту;

— системы компьютерного заказа назначений и рекомендаций предупреждающего характера (когда врачебные назначения несут в себе определенные риски) для врачей и медсестер;

— систему поддержки клинических решений и управление движением лекарственных средств;

— хранилище клинических данных;

— обмен медицинской информацией и аварийное восстановление [14].

Программный продукт Умная палата SMART ROOM от компании "Аналитика М" позволяет управлять комплексом действий, которые могут происходить в палате пациента, а именно: усилить персональный контроль за пациентом; снизить риски возникновения форс-мажорных ситуаций и при этом снизить нагрузку на медицинский персонал. С помощью "умной" панели управления — планшета, как пациент, так и медицинский персонал могут управлять следующими функциями в палате:

— светом, жалюзи, телевидением, климат-контролем;

— кнопкой вызова в режиме "форс-мажор";

— обратной громкой связью с постом медсестры;

— контрольным пунктом вызова в ванной комнате, туалете;

— движением кровати;

— сохранением в памяти истории вызовов и др.

Благодаря специальному фитнес-браслету пациента медицинский специалист может дистанционно проводить мониторинг его состояния и незамедлительно реагировать при резких изменениях

показателей. Специальные кнопки вызова "вода", "обезболивание", "острая боль" и т. д. позволяют медицинскому персоналу быстро реагировать на конкретный вызов и быть готовыми к конкретному запросу пациента [15].

Искусственный интеллект позволил совершить качественный скачок в медицинских технологиях. Его применение позволяет решать сложные задачи с множеством приложений в областях с огромным объемом данных [16]. Интеллектуальные медицинские технологии, основанные на искусственном интеллекте, позволяют использовать концепцию 4П-медицины, которая требует применения современных диагностических технологий и использования основанных на их результатах алгоритмов принятия решений врачами в их деятельности.

Таким образом, ряд вопросов, связанных с построением МКФС, является предметом исследования многих ведущих научных коллективов. Для этого существует много технологий, идей и подходов, разработаны концептуальные модели и архитектуры для МКФС различного назначения [17]. При этом часть существующих решений имеют закрытые реализации, как следствие, не находят достаточного отражения вопрос моделирования сценариев функционирования таких интегрированных МКФС. Таким образом, при наличии отдельных разработок в этой области на настоящее время отсутствует целостный, комплексный, отраженный в научных публикациях подход к организации киберфизического окружения пациентов в больницах, клиниках, интернатах, домах престарелых, других стационарных учреждениях и иных местах нахождения пациентов. Такой подход призван учитывать современные требования к организации ухода за пациентом и поддерживать интеграцию способов и систем мониторинга здоровья пациентов, отслеживать экстренные ситуации, аналитику медицинских данных и поддержку вспомогательных обслуживающих функций.

Сценарии функционирования медицинской киберфизической системы в штатных и экстренных ситуациях

Необходимым условием функционирования МКФС является спецификация ее поведения. Поведение системы может быть задано с помощью сценариев ее функционирования, которые задаются формальными моделями. В данной работе используются модели в нотации UML 2.0. Возможные сценарии функционирования информа-

ционной системы сбора и визуализации данных МКФС можно разделить на следующие категории:

- сценарии системы для пациентов при нахождении на дому;
- сценарии системы для пациентов при их нахождении в больницах, клиниках, интернатах, домах престарелых и иных стационарных учреждениях.

Каждая из представленных выше категорий предполагает функционирование в штатной и экстренной ситуациях. Сценарии функционирования можно описать с помощью диаграмм последовательности, в которых объектами являются компоненты МКФС и акторы: в простейшем случае — пациент и врач, в более сложных сценариях могут присутствовать и другие акторы, например, медсестры, технический персонал.

На рис. 1 представлена общая диаграмма последовательности действий для предварительного взаимодействия пациента и врача с учетом использования датчиков физиологических показателей организма пациента и системы многомодального ввода информации для него. Взаимодействие предполагает регулярный предварительный сбор данных о состоянии пациента в автоматическом (с помощью датчиков), полуавтоматическом (с помощью средств многомодального ввода информации в клиентском приложении пациента) и ручном (с помощью медицинского персонала) режимах. Эти данные поступают на сервер, систематизируются и визуализируются в клиентском приложении врача, что позволяет ему более оперативно оценить состояние пациента и принять решение о том, насколько срочно необходима очная консультация, и о необходимости неотложной помощи (вызова бригады).

К экстренным сценариям относится возникновение неотложных состояний у пациента, под которыми понимается совокупность симптомов (клинических признаков), требующих оказания неотложной первой медицинской помощи, либо госпитализации пострадавшего или пациента [18]. В случае экстренного сценария, когда пациент находится дома, необходим вызов бригады скорой помощи, в стационаре — вызов специалиста непосредственно в палату пациента. Различают следующие состояния, требующие оказания скорой помощи в *экстренной* форме:

- нарушения сознания, представляющие угрозу жизни;
- нарушения дыхания, представляющие угрозу жизни;
- нарушения системы кровообращения, представляющие угрозу жизни;

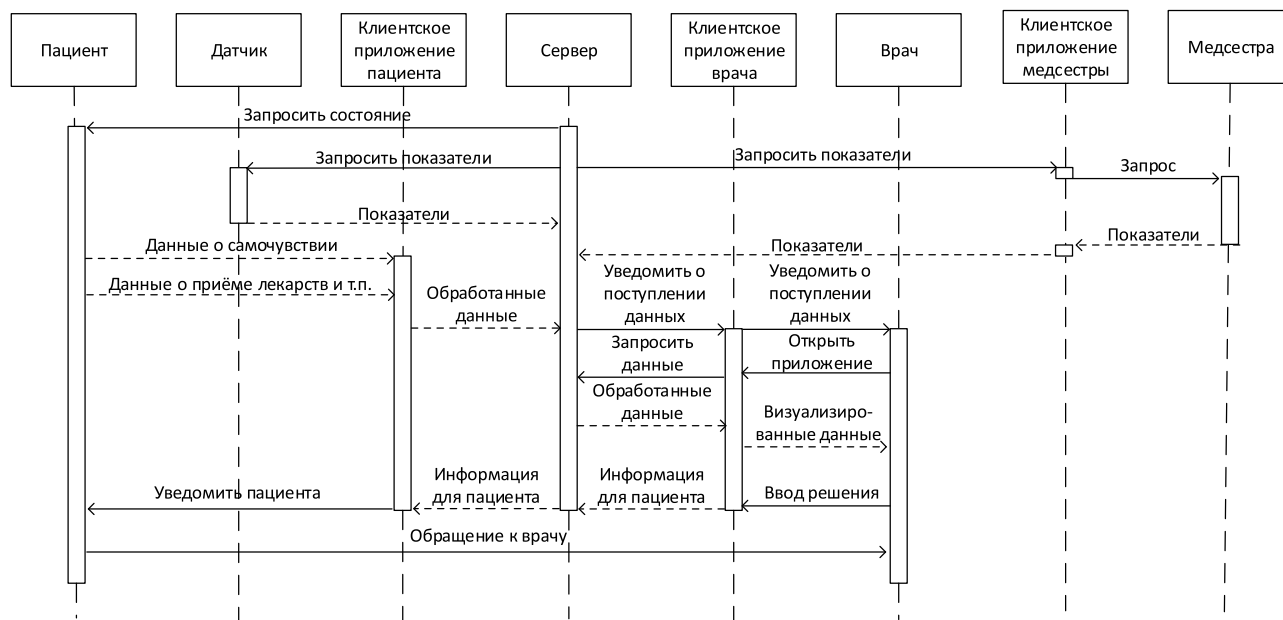


Рис. 1. Диаграмма последовательности для предварительного взаимодействия пациента и врача

— психические расстройства, сопровождающиеся действиями пациента, представляющими непосредственную опасность для него или других лиц;

— внезапный болевой синдром, представляющий угрозу жизни;

— внезапные нарушения функции какого-либо органа или системы органов, представляющие угрозу жизни;

— травмы любой этиологии, представляющие угрозу жизни;

— термические и химические ожоги, представляющие угрозу жизни;

— внезапные кровотечения, представляющие угрозу жизни;

— роды, угроза прерывания беременности;

— дежурство при угрозе возникновения чрезвычайной ситуации, оказание скорой медицинской помощи и медицинская эвакуация при ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайной ситуации.

Поводом для вызова скорой медицинской помощи в неотложной форме являются:

— внезапные острые заболевания (состояния) без явных признаков угрозы жизни, требующие срочного медицинского вмешательства;

— внезапные обострения хронических заболеваний без явных признаков угрозы жизни, требующие срочного медицинского вмешательства.

Под явными признаками угрозы жизни понимаются выраженные проявления заболевания (состояния), которые могут привести к смерти па-

циента. Перечисленные в табл. 1 состояния могут не угрожать жизни явно, однако требуют оказания помощи в целях предотвращения значительного и долгосрочного воздействия на физическое или психическое здоровье человека, оказавшегося в таком состоянии [19].

Необходимые действия со стороны сервера можно представить диаграммой активности на рис. 2. Эта диаграмма также отражает процесс контроля показателей на сервере, что позволяет выявить экстренные сценарии развития ситуации, например, сильное проявление аллергической реакции, такое как ангионевротический отек (отек Квинке), которое часто требует неотложной помощи. Его основная опасность состоит в быстром сужении просвета носовых ходов и гортани отеками тканями и вследствие этого — резкое затруднение дыхания. При несвоевременном обращении может привести к летальному исходу.

Штатный сценарий функционирования системы при нахождении пациента дома предполагает ведение дневника пациента с регулярными записями о его состоянии. В системе могут быть настроены напоминания о внесении информации о текущем состоянии, а также предусматривается запись к врачу на ближайшее доступное время. При появлении новых симптомов, пациент в любое время может внести их в дневник. При этом возможна связь системы с "умной" колонкой с голосовым помощником, который сможет вносить записи о состоянии пользователя в дневник пациента, периодически (период можно настроить)

Классификация неотложных состояний

Раздел	Подраздел
Неотложная хирургия	Раны
	Кровотечения
	Травмы и повреждения
	Шок
	Ожоги
	Отморожения
Неотложные состояния в клинике глазных болезней	—
Неотложные состояния в клинике болезней уха, горла и носа	—
Неотложные состояния в урологии	—
Неотложные состояния в клинике внутренних болезней	Острые аллергические реакции
	Неотложные состояния в клинике инфекционных болезней
	Неотложные состояния в кардиологии
	Неотложные состояния в пульмонологии
	Неотложные состояния в токсикологии и радиационной медицине
	Неотложные состояния в клинике эндокринных болезней
Неотложные состояния в акушерстве и гинекологии	—
Неотложные неврологические и нейрохирургические состояния	—
Неотложные состояния в психиатрии	—
Неотложные состояния в клинике детских болезней	—

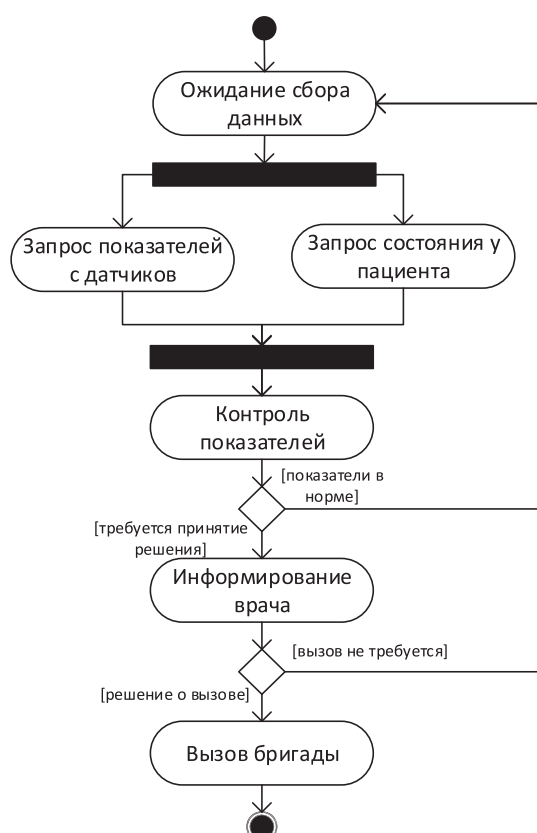


Рис. 2. Диаграмма активности для сервера при предварительном взаимодействии пациента и врача

уточнять информацию об изменениях в состоянии, напоминать о необходимости записи к врачу или приеме лекарственных средств и т. п. Помимо симптомов в систему возможен ввод всех действий, которые совершает пациент, чтобы улучшить или стабилизировать свое состояние, а именно, прием лекарственных и нелекарственных средств, различные манипуляции. При значительном ухудшении состояния предусмотрена возможность вызова бригады скорой помощи и передачи всех записей о состоянии.

Штатные сценарии включают действия МКФС в стационаре, выполняемые по указанию пациента (например, регулирование комфортного нахождения в палате — свет, температура, проветривание, вызов персонала т. п.). Если в каких-то ситуациях сценарии конфликтуют, то выполняется сценарий по указаниям врача. Например, проветривание помещения по просьбе пациента может выполняться только в условиях отсутствия запрета на проветривание со стороны врача. Диаграмма последовательности для такого случая изображена на рис. 3. Здесь врач с помощью своего клиентского приложения управляет разрешениями для системы климат-контроля, а пациент может запросить те или иные действия у МКФС, которые выполняются при условии, если они разрешены. Соот-

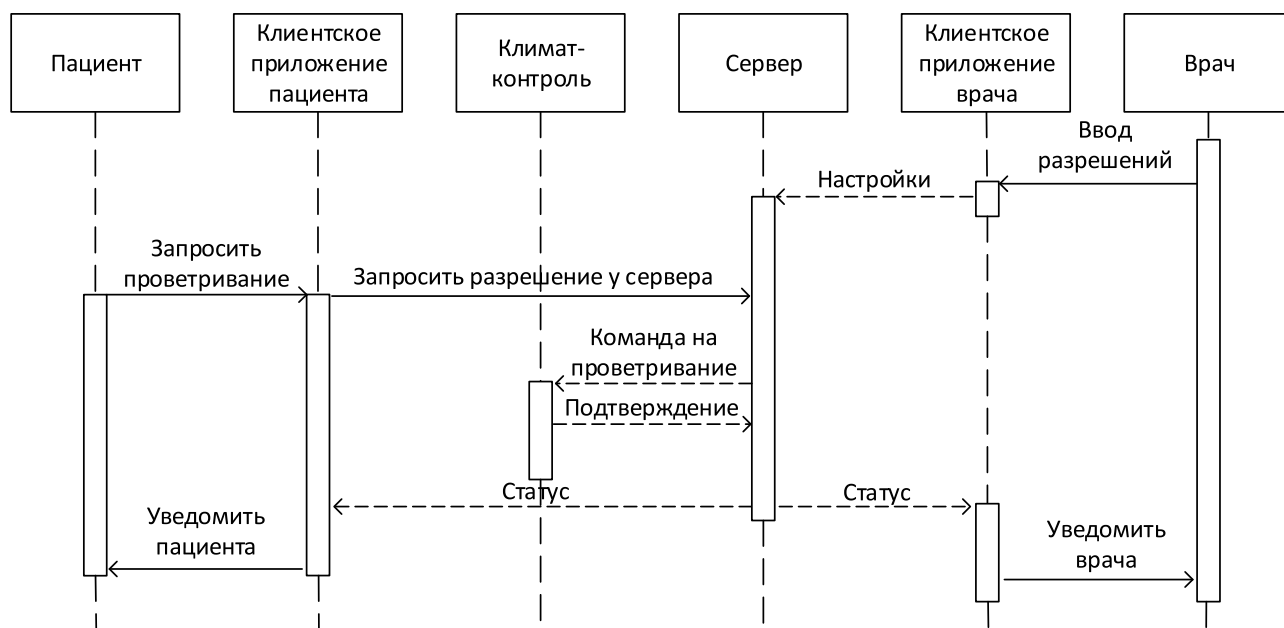


Рис. 3. Диаграмма последовательности для управления проветриванием помещения

ветствующая диаграмма активности изображена на рис. 4.

Таким образом, для некоторых сценариев функционирования МКФС были построены формальные модели в виде диаграмм последовательностей

и активностей. Такие модели, а также аналогичные модели других сценариев и ситуаций могут быть использованы при проектировании составных частей интегрированных решений по уходу за пациентами. В частности, для разработки программного обеспечения строятся диаграммы классов, а для проектирования систем — диаграммы компонентов, которые могут включать известные и предлагаемые решения. Так, в работе [20] предложен ряд решений для подсистемы сбора и визуализации медицинских данных для оптимизации процесса ведения пациента и приведена клиент-серверная архитектура, в рамках которой могут быть реализованы эта и подобные подсистемы. Однако более широкий взгляд на МФКС предполагает не только сбор и визуализацию медицинской информации, но и наличие контура управления. Так, объектно-ориентированная модель в форме диаграммы классов для реализации процесса управления модулями климат-контроля представлена на рис. 5.

Диаграмма описывает множество компонентов МКФС, характеризующихся параметрами, которые пользователи могут регулировать. При этом пользователи, обладающие необходимой ролью (медицинские специалисты), могут устанавливать политики, ограничивающие возможность регулирования параметров для той или иной группы пользователей. В этой диаграмме не выполняется детализация представления множества состояний компонентов МКФС, так как представление этого множества носит технический характер и обе-

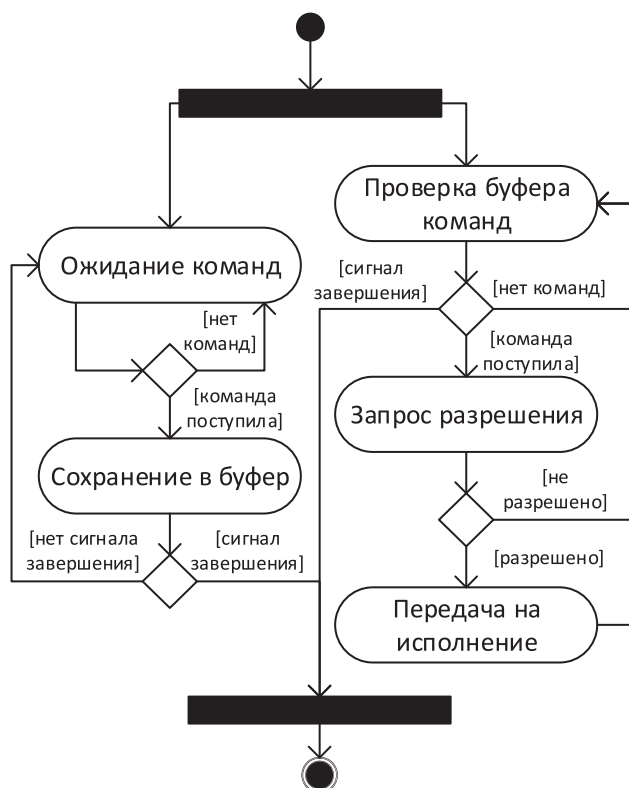


Рис. 4. Диаграмма активности для обработки команд климат-контроля

Таблица 2

Задержки при выполнении запросов в МКФС

Технология	Среднее значение задержки, мс	Среднее квадратическое отклонение, мс
Задержка сети t_{conn} (Ethernet)	2,8	1,1
Задержка сети t_{conn} (wi-fi)	4,8	1,4
Выполнение типового запроса t_{inf}	227	58,9

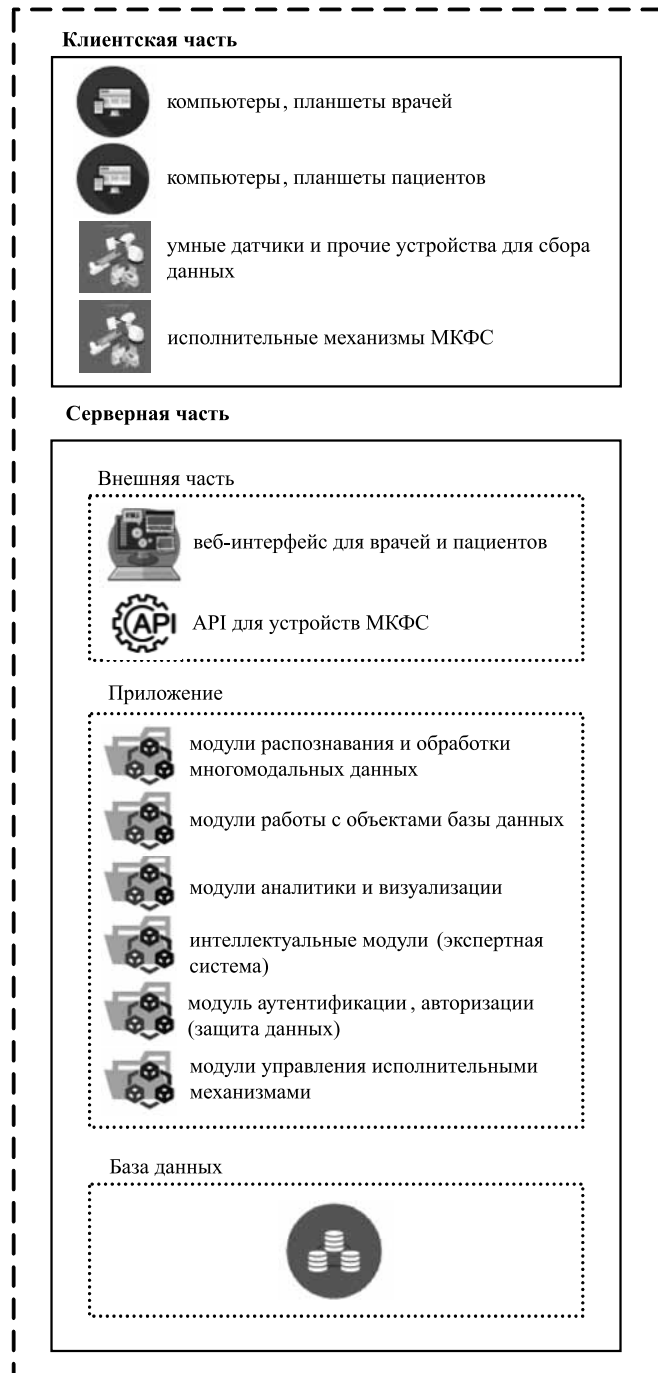


Рис. 7. Архитектура медицинской киберфизической системы

между компонентами, которое определяется задержками в передаче данных по сети. Указанное время не должно превышать некоторых граничных значений, которые определяются для экстренных ситуаций специальными требованиями, для штатных — инженерными нормативами, которые касаются удобства использования систем и времени реакции пользовательских интерфейсов.

К примеру, сценарий обращения к модулю климат-контроля от выдачи команды до получения подтверждения занимает шесть шагов. Реализация физического процесса в этом сценарии происходит параллельно с другими процессами, поэтому слагаемое t_{ph} в формуле (1) можно не учитывать. Измеренные задержки при нахождении компонентов в локальной сети приведены в табл. 2.

Таким образом, рассмотренное взаимодействие реализуется за приемлемое время. Кроме того, процесс в лучшем случае удовлетворяет критерию восприятия взаимодействия пользователем как непрерывного процесса (задержки до 1 с), в худшем случае — критерию, при котором пользователь может сохранять концентрацию внимания на процессе взаимодействия (задержки до 10 с) [21].

Заключение

В ходе исследования были изучены некоторые штатные и экстренные сценарии функционирования МКФС, было выполнено их моделирование в UML на логическом уровне. Для моделирования процессов построены диаграммы активности, структуры данных описаны с помощью диаграмм классов. Приведена обобщенная архитектура МКФС.

Полученные решения возможно использовать при проектировании и разработке МКФС и их составных частей, реализующих мониторинг состояния здоровья пациентов, взаимодействие с ними, сбор и визуализацию данных о здоровье для медицинского персонала. Включение этих компонентов в контур принятия врачебных решений позволит специалистам более оперативно получать и оценивать информацию, что в свою очередь приведет к повышению качества оказываемых медицинских услуг. Использование МКФС также позволяет упростить выполнение широкого круга вспомогательных задач средствами "умной" палаты, в том числе — задачи управления климатом, оснащением палаты, оперативной связи с персоналом, доставки, уборки и т. п.

Дальнейшие направления работы могут включать в себя создание общего классификатора сценариев функционирования МКФС, разработку

моделей и архитектур программного обеспечения для таких систем не только на концептуальном и логическом, но и на физическом уровне, и оценку их эффективности.

Список литературы

1. Lee I., Sokolsky O., Chen S. et al. Challenges and research directions in medical cyber-physical systems // Proceedings of the IEEE. 2011. Vol. 100, No. 1. P. 75–90. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2165270.
2. Lee E. A. The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models // Sensors. 2015. Vol. 15, No. 3. P. 4837–4869. DOI: 10.3390/s150304837.
3. Klitou D., Conrads J., Rasmussen M. et al. Digital Transformation Monitor Germany: Industrie 4.0. European Commission, European Union. 2017. URL: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%204.0_DE.pdf
4. Schwab K. The fourth industrial revolution. NY.: Currency Books, 2017. 192 p.
5. European Edge Computing Consortium (EECC). URL: <https://eeconsortium.eu/>
6. Alemdar H. Ö., Yavuz G. R., Özen M. O. et al. Multi-modal fall detection within the WeCare framework // Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks. 2010. P. 436–437.
7. Саитов И. А., Мотиенко А. И., Астапов С. С., Басов О. О. Синтез топологической структуры распределенной терминальной системы для аудиомониторинга пользователей локальных информационных пространств // Информатика и автоматизация. 2019. Т. 18, № 6. С. 1357–1380. DOI: 10.15622/sp.2019.18.6.1357-1380.
8. Su M. C., Liao J. W., Wang P. C., Wang C. H. A smart ward with a fall detection system // 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe). 2017. P. 1–4.
9. Hamm J. J. Technology-assisted healthcare: exploring the use of mobile 3D visualisation technology to augment home-based fall prevention assessments. Ph. D. Thesis. Brunel University London, 2018. 316 p.
10. Papadopoulos A., Crump C., Wilson B. Comprehensive home monitoring system for the elderly // Wireless Health 2010. 2010. P. 214–215. DOI: 10.1145/1921081.1921118.
11. Guan K., Shao M., Wu S. A remote health monitoring system for the elderly based on smart home gateway // Journal of healthcare engineering. 2017. Vol. 2017. 10 p. DOI: 10.1155/2017/5843504.
12. Шалковский А. Г., Купцов С. М., Берсенева Е. А. Актуальные вопросы создания автоматизированной системы дистанционного мониторинга здоровья человека // Врач и информационные технологии. 2016. № 1. С. 67–69.
13. Orsaeva A. T., Tamrieva, L. A., Mischvelov A. E. et al. Development of a Prototype of a "Smart Ward" as an Element of a Digital Polyclinic // Pharmacophore. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 142–146.
14. Кобринский Б. А. "Умная" больница как инструмент цифровой медицины // Информационные технологии и вычислительные системы. 2018. № 4. С. 3–14. DOI: 10.14357/20718632180401.
15. Компания "АНАЛИТИКА М" предлагает управление и интеграцию комплексных решений для эффективной работы Вашего ЛПУ. URL: <http://www.analitika-m.ru/services/>
16. Peng Y., Zhang Y., Wang L. Guest editorial: Artificial intelligence in biomedical engineering and informatics: An introduction and review // Artificial intelligence in medicine. 2010. Vol. 48, No. 2–3. P. 71–73. DOI: 10.1016/j.artmed.2009.07.007.
17. Chen F., Tang Y., Wang C. et al. Medical Cyber-Physical Systems: A Solution to Smart Health and the State of the Art // IEEE Transactions on Computational Social Systems. 2021. P. 1–21.
18. Руководство по скорой медицинской помощи / Под ред. С. Ф. Багненко, А. Л. Верткина, А. Г. Мирошниченко, М. Ш. Хубутя. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 783 с.
19. Смагин А. Ю., Белых Т. Н., Белоусова Т. Н., Девяткина Н. П. Первая и неотложная медицинская помощь: методическое пособие, 2-е изд., Омск: БУ ДПО ОО ЦПК РЗ, 2018. 84 с.
20. Левоневский Д. К., Мотиенко А. И. Информационная система сбора и визуализации медицинских данных для оптимизации процесса ведения пациента // Информатизация и связь. 2021. № 7. С. 21–29. DOI: 10.34219/2078-8320-2021-12-7-21-29.
21. Henty S. UI Response Times. URL: <https://medium.com/@shenty/ui-response-times-acec744f3157>.

Scenario Models for the Functioning of a Medical Cyber-Physical System in Normal and Emergency Situations

D. K. Levonevskiy, levonevskij.d@iias.spb.su, A. I. Motienko, anna.gunchenko@gmail.com, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 199178, Russian Federation

Corresponding author:

Dmitrii K. Levonevskiy, PhD, Head of Laboratory,
St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, 199178,
Russian Federation
E-mail: levonevskij.d@iias.spb.su

Received on May 05, 2022

Accepted on June 27, 2022

The existing solutions in the field of medical cyber-physical systems, considers their individual components and patient monitoring systems are studied in the paper. It has been established that there are separate developments in this area, but there is no comprehensive approach to organizing the cyber-physical environment of patients in hospitals and various other inpatient institutions.

In the course of the study, some regular and emergency scenarios for the functioning of medical cyber-physical systems have been studied. Its are implemented when patients interact with the system while at home, as well as while in hospitals and various other inpatient institutions. These scenarios have been simulated at the logical level. To model processes, activity diagrams are constructed, data structures are described using class diagrams. The generalized architecture of the medical cyber-physical system is given. The obtained solutions can be used in the design and development of medical cyber-physical systems and their components that monitor the health status of patients, interact with them, collect and visualize health data, and solve auxiliary problems. The application of the proposed solutions will enable medical specialists to receive and evaluate information more quickly, which, in turn, will lead to an increase in the quality of medical services provided.

Keywords: medical cyber-physical system, smart space, human-machine interaction, decomposition, software design

For citation:

Levonevskiy D. K., Motienko A. I. Scenario Models for the Functioning of a Medical Cyber-Physical System in Normal and Emergency Situations, *Programmnaya Ingeneria*, 2022, vol. 13, no. 8, pp. 383—393.

DOI: 10.17587/prin.13.383-393

References

1. Lee I., Sokolsky O., Chen S. et al. Challenges and research directions in medical cyber—physical systems, *Proceedings of the IEEE*, 2011, vol. 100, no. 1, pp. 75—90. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2165270.
2. Lee E. A. The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models, *Sensors*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 4837—4869. DOI: 10.3390/s150304837.
3. Klitou D., Conrads J., Rasmussen M. et al. Digital Transformation Monitor Germany: Industrie 4.0, European Commission, *European Union*, 2017, available at: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%204.0_DE.pdf
4. Schwab K. *The fourth industrial revolution*, Currency, 2017, 192 p.
5. European Edge Computing Consortium (EECC), available at: <https://eeconsortium.eu/>
6. Alemdar H. Ö., Yavuz G. R., Özen M. O. et al. Multi-modal fall detection within the WeCare framework, *Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 2010, pp. 436—437.
7. Saitov I., Motienko A., Astapov S., Basov O. Synthesis of the Topological Structure of Distributed Terminal System for Audio Monitoring of Users of Local Information Spaces, *SPIIRAS Proceedings*, 2019, vol. 18, no. 6, pp. 1357—1380. DOI: 10.15622/sp.2019.18.6.1357-1380.
8. Su M. C., Liao J. W., Wang P. C., Wang C. H. A smart ward with a fall detection system, *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*, 2017, pp. 1—4.
9. Hamm J. J. Technology-assisted healthcare: exploring the use of mobile 3D visualisation technology to augment home-based fall prevention assessments, Ph. D. Thesis, Brunel University London, 2018. 316 p.
10. Papadopoulos A., Crump C., Wilson B. Comprehensive home monitoring system for the elderly, *Wireless Health 2010*, 2010, pp. 214-215. DOI: 10.1145/1921081.1921118.
11. Guan K., Shao M., Wu S. A remote health monitoring system for the elderly based on smart home gateway, *Journal of healthcare engineering*, 2017, vol. 2017, 10 p. DOI: 10.1155/2017/5843504.
12. Shalkovsky A. G., Kuptsov S. M., Berseneva E. A. Topical issues of person health remote monitoring automated system creation, *Vrach i informacionnye tehnologii*, 2016, vol. 1, pp. 67—69 (in Russian).
13. Orsaeva A. T., Tamrieva L. A., Mischvelov A. E. et al. Development of a Prototype of a "Smart Ward" as an Element of a Digital Polyclinic, *Pharmacophore*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 142—146.
14. Kobrinskii B. A. Smart hospital as a tool of digital medicine, *Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2018, vol. 4, pp. 3—14. DOI: 10.14357/20718632180401 (in Russian).
15. The company "ANALITIKA M" offers management and integration of complex solutions for the efficient operation of your healthcare facility, available at: <http://www.analitika-m.ru/services/> (in Russian).
16. Peng Y., Zhang Y., Wang L. Guest editorial: Artificial intelligence in biomedical engineering and informatics: An introduction and review, *Artificial intelligence in medicine*, 2010, vol. 48, no. 2—3, pp. 71—73. DOI: 10.1016/j.artmed.2009.07.007.
17. Chen F., Tang Y., Wang C. et al. Medical Cyber-Physical Systems: A Solution to Smart Health and the State of the Art, *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2021, pp. 1—21.
18. Emergency Medical Guide / Edited by S. F. Bagnenko, A. L. Vertkina, A. G. Miroshnichenko, M. Sh. Hubutiya, Moscow, GJeOTAR-Media, 2012, 783 p (in Russian).
19. Smagin A. Yu., Belyh T. N., Belousova T. N., Devyatkina N. P. *First and emergency medical care: tutorial*, 2nd ed. Omsk, BU DPO OO CPK RZ, 2018, 84 p. (in Russian).
20. Levonevskiy D. K., Motienko A. I. Information system for collection and visualization of medical data for optimizing the patient management process, *Informatization and communication*, 2021, vol. 7, pp. 21—29. DOI: 10.34219/2078-8320-2021-12-7-21-29 (in Russian).
21. Henty S. UI Response Times, available at: <https://medium.com/@shenty/ui-response-times-accc744f3157>