

УДК 61:007

 10.25209/2079-3316-2024-15-2-475-492

Архитектура взаимодействия в медицинской экосистеме

Владимир Леонидович **Малых**^{1✉}, Алексей Николаевич **Калинин**²,
Сергей Владимирович **Рудецкий**³

¹⁻³Институт программных систем им. А. К. Айламазяна РАН, Вельского, Россия

[✉]mul@interin.ru

Аннотация. В сфере медицинской информатики наблюдается устойчивая тенденция к формированию сложной многокомпонентной экосистемы. На передний край выходят проблемы взаимодействия и интеграции компонентов экосистемы: медицинских, лабораторных, радиологических систем, ЕГИСЗ, ЕМИАС, МДЛП, различных регистров и сервисов, в том числе реализующих подходы ИИ к обработке данных и решению задач. Пациенты остро нуждаются в личных кабинетах, интегрирующих их медицинские данные, становятся активными участниками экосистемы. Решать интеграционные задачи приходится в сильно неоднородной информационной среде, когда становится недостижимым обеспечение синхронного интерактивного взаимодействия между участниками экосистемы. Для отдельных приложений необходима гибкая возможность сочетания как синхронного, так и асинхронного взаимодействия, выбираемого ситуационно, исходя из конкретных временных задержек и характеристик взаимодействия.

В статье предлагается специальная архитектура, позволяющая реализовывать синхронное и асинхронное взаимодействие между участниками экосистемы. Адаптация ПО, рассчитанного только на синхронное взаимодействие, под асинхронную архитектуру не требует радикальной перелки ПО. Подход отработывался на примере адаптации модуля МДЛП МИС Интерин к работе во внутренней защищенной сети медицинского центра. Предложенная архитектура может быть использована разработчиками ПО и в других сферах деятельности, где идёт активное развитие экосистем, сопровождающееся ростом интеграционных взаимодействий.

Ключевые слова и фразы: медицинская информатика, медицинские информационные системы, цифровая экосистема, интеграция, асинхронное взаимодействие, личный кабинет пациента

Благодарности: Авторы искренне благодарны Комарову С. И. за интерес к работе и конструктивную критику, позволившую улучшить статью

Для цитирования: Малых В. Л., Калинин А. Н., Рудецкий С. В. *Архитектура взаимодействия в медицинской экосистеме* // Программные системы: теория и приложения. 2024. Т. 15. № 2(61). С. 475–492. https://psta.pstiras.ru/read/psta2024_2_475-492.pdf

Введение

В системном обзоре цифрового здравоохранения США [1] отмечаются происходящие и ожидаемые революционные изменения в индивидуальном здравоохранении и медицинском менеджменте, стратегии здравоохранения для всего населения. «Такие разработки, как облачные вычисления, искусственный интеллект, машинное обучение, блокчейн, цифровая диагностика и лечение, телемедицина и ориентированные на потребителя мобильные приложения для здравоохранения, теперь регулярно используются в самоконтроле, здравоохранении и биомедицинской науке» (пер. Яндекс).

Речь идет о самой богатой стране мира, чьи расходы на здравоохранение в перспективе к 2028 году прогнозируются на уровне 20% от валового внутреннего продукта, стране, задающей тренды развития цифрового здравоохранения для всего мира. Однако отмечается и множество проблем: недостаточная совместимость цифровых технологий, изолированность и недоступность источников медицинских данных, низкая эффективность цифровых интерфейсов и инструментов для помощи пациентам за пределами клиник. Всё это тормозит реализацию концепции обучающейся системы здравоохранения, которая ведёт сбор фактических данных в режиме реального времени, связывает наборы данных и анализирует их с использованием искусственного интеллекта и машинного обучения.

На передний край в цифровой медицине выходит проблема интероперабельности. С этой целью в США разработаны стандарты: Health Level 7 Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) (HL7 International, n.d.), SNOMED (SNOMED International, n.d.), RxNorm (NLM, 2022), United States Core Data for Interoperability (USCDI). И тем не менее, широкая совместимость информационных платформ здравоохранения является неполной во многом из-за неполной доступности медицинских записей, отсутствия стандартов терминологии и проблем обмена данными между системами здравоохранения.

Техническую интероперабельность (способность систем обмениваться данными) можно обеспечить стандартизацией данных, реализацией API, использованием стандартных сетевых протоколов. Но очень трудно, практически невозможно на данном этапе, обеспечить семантическую интероперабельность, когда система не только в состоянии принять данные в достаточно свободном формате, но и «понимает» их.

Можно привести поучительный пример когнитивной системы от IBM Doctor Watson. Дебютировав в 2011 Watson Health, обещала революционные изменения в здравоохранении. Декларировалась способность системы

к самообучению, усваиванию знаний из различных открытых источников данных, в том числе и из научных публикаций, свободное общение с системой на естественном языке, т. е. предполагалось достижение той самой семантической интероперабельности в сфере здравоохранения. Но именно для здравоохранения ничего из этого не работало. В результате, по образному выражению некоторых западных аналитиков, система Watson Health была продана «по частям, на металлолом».

В настоящее время IBM переосмысливает применение технологий Watson, но уже без прежних амбиций для здравоохранения (Steve Lohr, The New York Times, July 17, 2021). Не следует возлагать слишком большие надежды и на применение технологий ChatGPT. Как отмечают специалисты, в 3–5% случаев эта технология будет выдавать на ваши вопросы совершенно неадекватные ответы, что совершенно не допустимо для сферы здравоохранения. Достаточно привести *пример из сети*^(URL), что GPT «с лёгкостью» создала описание операции удаления головы по Вишневскому с указанием показаний к операции и этапов операции. Поэтому на данном технологическом этапе развития цифрового здравоохранения и в данной статье мы сосредоточимся на технических аспектах взаимодействия систем и опускаем вопросы семантической интероперабельности.

«Проблемы кибербезопасности и конфиденциальности являются основными препятствиями на пути внедрения цифрового здравоохранения, продолжают подрывать доверие пациентов и усиливают нежелание систем здравоохранения делиться данными» ... Эти критические вызовы требуют технологических, управленческих и юридических протоколов. Государственно-частное партнерство необходимо для разработки надстройочной структуры, обеспечивающей безопасность и защиту персональных данных в сфере цифрового здравоохранения» [1] (пер. Яндекс). Один из выводов авторов [1] – существующее взаимодействие информационных систем здравоохранения не обеспечивает адекватной поддержки оптимального долгосрочного оказания медицинской помощи и не способствует удовлетворению потребностей США в области здравоохранения.

Если посмотреть концептуальные работы [2, 3] по стратегии развития цифрового здравоохранения в других странах (Индия и ЮАР), то можно заметить, что их концепции хорошо согласуются с концепциями развития здравоохранения для США [1]. Вполне обоснованно можно сделать вывод, что возникло согласованное и разделяемое развитыми странами концептуальное представление о будущем мирового цифрового здравоохранения.

В современной терминологии для обозначения нового формирующегося цифрового здравоохранения используется термин «медицинская

экосистема» (healthcare ecosystems, digital healthcare ecosystems). Цифровое здравоохранение понимается широко, оно охватывает данные, собираемые электронным способом, техническую и коммуникационную инфраструктуру и приложения в экосистеме здравоохранения. Лаконичное определение медицинской экосистемы – это сложная сеть, объединяющая организации, людей и технологии, для предоставления пациентам медицинских услуг.

Россия также не остаётся в стороне от мирового тренда в здравоохранении. Ведётся концептуальная разработка отечественной экосистемы медицинской помощи [4]. Основная особенность медицинских экосистем – это множество разнотипных участников (key players): пациенты, врачи, медсёстры, различные лечебные и диагностические учреждения, лаборатории, различные государственные агентства (Росздравнадзор и др.), фармакологические компании, производители медицинских устройств, провайдеры различных медицинских услуг и сервисов, операторы ЭДО, отдельно отметим для нашей страны Федеральную государственную информационную систему в сфере здравоохранения ЕГИСЗ и Федеральную государственную информационную систему мониторинга движения лекарственных препаратов ФГИС МДЛП. Основными участниками медицинской экосистемы являются МИС [5].

В настоящее время в России происходят значительные изменения, связанные с формированием современной развитой цифровой среды. Облачный рынок в России сохранил динамику роста в 2023 году, по оценкам Linx рост составил 30%. По данным «Открытых систем» «стимулирующее влияние на облачный рынок по-прежнему будут оказывать такие факторы, как санкционное воздействие, стимулирующее спрос на отечественное ПО и оборудование, а также нарастающая цифровая трансформация предприятий в самых разных отраслях и интенсивное развитие технологий на базе искусственного интеллекта». Президент объявил о запуске национального проекта «Экономика данных». На формирование цифровых платформ во всех ключевых отраслях экономики и социальной сферы будет направлено не менее 700 млрд руб. Предполагается создание на технологии блокчейна аналога системы Свифт для стран членов БРИКС. Всё это даёт уверенность в сформировании в ближайшем времени подходящей цифровой среды для медицинских экосистем.

Всё ещё большой проблемой для медицинских экосистем остаётся формирование системы прав и привилегий участников. Кто и что может запросить у других участников, что и кому можно сообщить. Выше отмечалось, что для решения этой проблемы требуется разработка технологических, управленческих и юридических протоколов, требуется участие и поддержка государства. Эту проблему мы оставляем за рамками статьи.

Важна также и архитектура взаимодействия участников медицинской экосистемы, отдельному аспекту этой архитектуры и посвящена данная статья.

Взаимодействие в такой сложной неоднородной среде становится проблемой. Практически с каждым участником экосистемы приходится «говорить» на его «личном» языке, например ФГИС МДЛП имеет свой документированный API для взаимодействия. В самом информационном взаимодействии могут наблюдаться значительные временные задержки (latency). При этом задержки не сетевые, они связаны либо со значительным временем отработки запроса (построение статистических отчётов, обработка больших массивов данных, использование ресурсозатратных вычислительных методов, в том числе методов ИИ), либо с особенностями расположения и работы некоторых участников в защищенных закрытых сетях. Последнее свойственно для ведомственной медицины (Банк России, Федеральная таможенная служба, Министерство обороны и др.), с которой у авторов имеется многолетний опыт работы, и где выход во внешний мир может осуществляться через отдельные шлюзы, обеспечивающие безопасность информационного обмена. Можем привести пример такого обмена, когда гарантированное время доставки сообщения из внутренней сети в МДЛП через шлюз, работающий в пакетном режиме, составляло до 45 минут (на практике оказалось меньше, но всё равно могло быть значительным).

Следует также отметить, что появляются асинхронные виды оказания медицинской помощи, в частности асинхронные медицинские консультации, см. например *«Асинхронные телемедицинские услуги - преимущества и ограничения»*^(URL): «Асинхронная телемедицина или телемедицина с промежуточным хранением (метод коммутации “store-and-forward”), относится к типу общения между пациентами и поставщиками медицинских услуг, которое не ведётся в режиме реального времени. Этот метод предполагает безопасный обмен электронными сообщениями или отправку заранее записанной информации и документов, которые медицинские работники рассматривают позже».

Указанные особенности требуют построения особой архитектуры взаимодействия в медицинской экосистеме. В условиях плавающих временных задержек архитектура должна позволять пользователям работать как синхронно, так и асинхронно, настраиваясь ситуационно автоматически на моду информационного обмена. Одни и те же модули должны поддерживать оба режима работы.

Задача обеспечения взаимодействия в информационной среде не нова. Разработаны определённые классы ПО для её решения: Request Management Software, Service Request Management Software, Data Management

Tools, Business Intelligence, разрабатываются интеграционные платформы - Integration Platforms, Big Data Integration Platforms Interconnected, см. обзор^{URU}. В многолетних разработках этих классов ПО участвуют ведущие западные компании: Amazon, Google, IBM, Microsoft, Oracle, SAP, SAS и др. Проблема использования западного ПО в нашей стране и необходимость отказа от него общеизвестна, см. работу [6]. Однако путь к импортозамещению оказался чрезвычайно трудным. Как отмечено в [7] нет отечественных аналогов зарубежных систем различных классов, в том числе и перечисленных выше.

Отечественная медицинская экосистема только начала формироваться, ведётся разработка отечественных базовых интеграционных платформенных решений для медицины (Нетрика, Ростелеком). В этих условиях в [7] предлагается двигаться поступательно с использованием решений Open Source, вести разработку собственных платформ автоматизации. Соглашаясь с [7], авторы видят обоснованной разработку принципов построения собственной интеграционной архитектуры для участников отечественной экосистемы медицинской помощи. Задача построения отечественной медицинской интеграционной платформы чрезвычайно важна и трудоёмка, и двигаться к её решению можно лишь постепенно, поэтому мы рассмотрим лишь отдельные аспекты этой проблемы и перейдём к рассмотрению одного из базовых принципов построения интеграционной архитектуры.

1. Базовый принцип интеграционной архитектуры

В не устаревшей работе [8] представлены широко известные принципы построения интеграционной архитектуры. Мы будем следовать архитектуре, основанной на асинхронном обмене сообщениями. Это зарекомендовавший себя подход, созданный специально для интеграции информационных систем. Недостатком такого подхода по мнению [8] является высокая цена разработки, необходимость реализовывать адаптеры между системой доставки и приложениями.

Будем описывать архитектуру с привлечением понятия интеграционной платформы взаимодействий (ИПВ). Концептуально задача ИПВ, получить от участника экосистемы сообщение (запрос), передать его адресату (другому участнику, иногда даже самому себе), получить ответное сообщение (результат), если оно предполагается, и вернуть ответ запрашивающей стороне. ИПВ должна решать проблемы временной невозможности доставок сообщений адресатам, например в силу неготовности адресата к приёму. Для этого нужно предусмотреть возможность откладывания доставки сообщений с дальнейшими попытками доставки

с использованием различных стратегий доставки отложенных сообщений. В дальнейшем изложении также будем использовать термин «запрос» как синоним к термину «сообщение».

Основная топология интеграционного узла может быть «хаб + спицы», где роль хаба исполняет ИПВ. Но не исключается и взаимодействие «точка - точка» в вариантах «ИПВ – участники взаимодействия» и «ИПВ – ИПВ». Ниже будет приведен пример апробации одного из вариантов такой архитектуры.

В условиях невозможности обеспечения гарантированного времени ответа от внешних систем для синхронной работы и возможных задержек в передаче данных между ИПВ и внутренней сетью следует предусмотреть базовую возможность работы платформы в асинхронном режиме. Подобная архитектура была разработана для многофункционального медицинского центра при реализации взаимодействия модуля МДЛП из внутренней сети через шлюз с внешней системой МДЛП.

Основные черты архитектуры:

- (1) К ИПВ направляется типизированный запрос (сообщение, объект, документ, файл...) с указанием адресата (участника взаимодействия). Содержание запроса и его формат для общего описания архитектуры не важны.
- (2) Каждый запрос получает идентификатор. Механизм назначения идентификаторов запросов описан ниже.
- (3) Идентификатор запроса формируется как значение хеш-функции, основанной на содержании запроса, при этом хеш строится только по существенным атрибутам запроса, исключая незначимые для сути запроса "временные" компоненты (дату и время запроса, автора запроса и т. п.).

Например, пациент запрашивает по известному идентификатору заключение врача-диагноста. Запрашиваемый документ находится в терминальном состоянии (подписан, возможно, квалифицированной ЭЦП, изменение документа не предполагается). В хеш запроса включим тип и идентификатор запрашиваемого документа. Важно, чтобы хеш уникально характеризовал запрос, и при повторении запроса мы бы получили то же самое значение хеша.

- (4) Запросы, имеющие одинаковое значение идентификатора (одинаковое значение хеш-функции), считаются идентичными.

Пункты 3) и 4) являются основой архитектуры. Они позволяют каждому запросу присваивать идентификатор – значение хеш-функции. Какие запросы считать идентичными, какие характеристики должны

быть включены в хеш решают авторы запросов, потому что только они знают и понимают семантику запросов. Поэтому прерогатива построения идентификатора (хеша) относится только к авторам и не затрагивает ИПВ. Например, документ целиком может войти в состав данных, по которым формируется хеш. В работе [9] отмечено использование хеш-функций в блокчейн-процессе передачи медицинских данных для решения проблемы дублирования записей о пациенте. Мы используем это полезное свойство хеш-функции для выделения идентичных запросов.

- (5) Адресат по запросу может вернуть ИПВ результат.
- (6) Возвращаемый результат связывается с запросом и передается ИПВ, где сохраняется в БД в хранилище результатов запросов.
- (7) Каждый результат типизирован и ему сопоставляется время жизни (время актуальности результата).

Пользовательские интерфейсы, генерирующие запросы к другим участникам, работают в асинхронном режиме следующим образом:

- (1) Перед отправкой запросу присваивается идентификатор, например вышеописанным методом вычисления хеш-функции;
- (2) Запрос направляется к ИПВ;
- (3) ИПВ проверит, есть ли в хранилище результатов актуальный результат для данного значения идентификатора; если результат есть, то он возвращается как ответ на запрос.
- (4) Если результата для данного значения идентификатора нет, делается проверка не является ли запрос повторным, если запрос является повторным и время прошедшее с момента отправки более раннего запроса не превысило время актуальности ожидаемого результата, то запрос игнорируется.

Время актуальности ожидаемого результата – это время прошедшее от времени отправки запроса до получения результата считающегося актуальным. Например, результат запроса подписанного и не подлежащего изменению документа может иметь неограниченное время актуальности. Результат запроса свободных талонов для записи к врачу очевидно имеет ограниченное время актуальности. Определение времени актуальности ожидаемого результата для различных запросов может вызывать затруднения. В этих случаях можно предоставить оценку актуальности результата пользователю. Результаты, помеченные пользователем как не актуальные, не будут влиять на прохождение идентичных запросов.

- (5) Если запрос является повторным и время прошедшее с момента отправки более раннего запроса превысило время актуальности ожидаемого результата, то ИПВ отправляет запрос адресату повторно.

Пользовательский интерфейс, создающий запросы к внешним системам, работает следующим образом:

- (1) Запрос отправляется ИПВ (менеджеру запросов) и ожидается ответ до стандартного таймаута.
- (2) Если ответ за время таймаута не поступает, то пользователю (интерфейсу) выдается сообщение о переходе запроса в асинхронный режим ожидания ответа.
- (3) Запрос, который не удалось обработать в синхронном режиме, должен быть повторен запрашивающей стороной (автором, участником взаимодействия) и при наличии актуального результата запрашивающей стороной будет получен ответ на запрос.
- (4) Следует также предусмотреть «силовое» выполнение запроса (force request), когда пользователь имеет возможность отправить повторный запрос независимо от нахождения в хранилище актуального результата для этого запроса.

Соответственно в архитектуру ИПВ входят следующие основные компоненты:

- (1) менеджер запросов;
- (2) хранилище запросов и результатов;
- (3) адаптеры, предназначенные для работы с различными участниками экосистемы.

Архитектура обеспечивает взаимодействие между участниками экосистемы с помощью ИПВ, см. рисунок 1. Архитектура позволяет

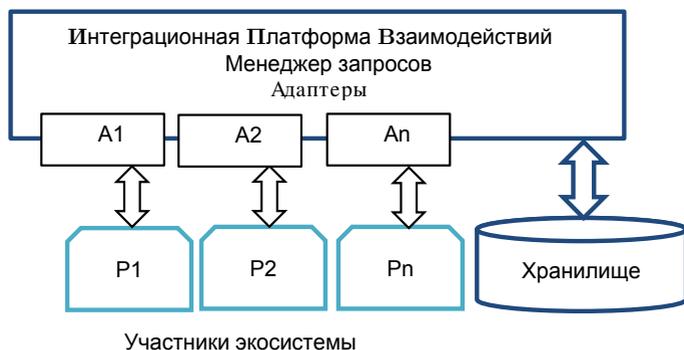


Рисунок 1. Архитектура интеграционного узла экосистемы

"бесшовно шить" два режима работы синхронный и асинхронный, при отсутствии критических временных задержек архитектура будет работать в наиболее благоприятном для пользователей синхронном режиме.

ИПВ сама становится компонентой экосистемы. Экземпляры ИПВ могут общаться друг с другом напрямую, передавая сообщения участникам подключенным через адаптеры к экземплярам ИПВ. Экземпляры ИПВ должны обладать возможностями масштабироваться. Например, для крупных федеральных систем (участников) соответствующие экземпляры ИПВ должны обладать соответствующей производительностью обработки больших потоков заявок и ёмкостью хранилищ. Для решения локальных интеграционных задач медицинских учреждений могут применяться экземпляры ИПВ с более низкими характеристиками. Поскольку имеется полная аналогия архитектуры с обычной почтой, то разные по масштабу и характеристикам ИПВ можно ассоциировать с главпочтамтами и местными небольшими почтовыми отделениями. Каждый экземпляр ИПВ доставляет сообщения определённому набору участников и соответственно нуждается в определённом наборе адаптеров.

На рисунке 2 представлена общая интеграционная архитектура экосистемы, адаптеры и хранилища на рисунке опущены.

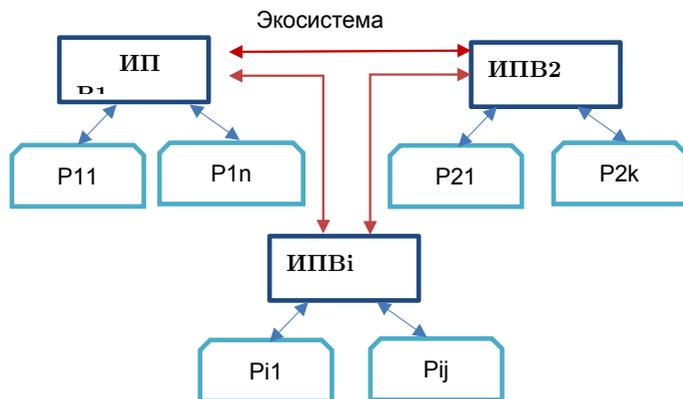


Рисунок 2. Общая интеграционная архитектура экосистемы

Проблемы адресации, маршрутизации доставки сообщений, защищенных и безопасных протоколов передачи данных в экосистеме могут быть решены уже имеющимися средствами сети Интернет.

2. Асинхронная архитектура личного кабинета пациента

Роль пациента в экосистеме оказания медицинской помощи чрезвычайно выросла. Пациент становится активным участником экосистемы, на передний план выходит заинтересованность пациента в сохранении и

поддержании собственного здоровья, принципы превентивной медицины. Экосистема должна предоставлять пациентам личные кабинеты, через которые они могут взаимодействовать с другими участниками экосистемы [10].

«Отдельные люди и семьи привыкли к мобильным и онлайн-инструментам в других аспектах своей жизни, таких как бронирование авиабилетов, автомобильные услуги и банковское дело. Развитие надежного партнерства между отдельными лицами, семьями и поставщиками медицинских услуг требует дальнейшего внедрения систем, которые функционируют так же, как и эти другие инструменты, предлагая ориентированную на пациента, простую и безопасную двустороннюю связь для записи на прием, самостоятельной регистрации и опросов для обратной связи. . .

Полное вовлечение людей в заботу об их здоровье и благополучии с помощью цифрового здравоохранения, удовлетворение общественного спроса на участие в растущей экосистеме цифрового здравоохранения. . . является приоритетом в достижении полностью реализованного будущего цифрового здравоохранения. Медицинские данные носят исключительно личный характер, и непреднамеренное или злонамеренное раскрытие этих данных может перевернуть жизнь человека. Использование всего потенциала цифрового здравоохранения потребует широкого доверия к системам здравоохранения и коммерческим предприятиям для защиты человека от негативных последствий» [1] (перевод Яндекс). Данные, обрабатываемые в МИС, относятся законодательством (ФЗ-152) к персональным данным специального характера, и подлежат защите по самому высокому классу.

Пациенты являются самыми многочисленными участниками экосистемы. Понятно, что у пациентов не будет «личных» адаптеров и все они будут решать свои интеграционные задачи через предусмотренные архитектурой универсальные адаптеры.

Основные проблемы, связанные с персональными медицинскими данными пациентов, сводятся к защите персональной информации, обеспечению права пациентов на получение своих персональных данных, идентификации пациентов, как участников экосистемы.

При проектировании платформ цифрового здравоохранения необходимо переходить на принципы проектирования в расчете на конечного пользователя, включая вовлеченность конечных пользователей в процесс разработки и в поддержание жизненного цикла ПО. «Помимо индивидуального управления данными о состоянии здоровья, вовлечение потребителей в их собственное здоровье и медицинскую помощь с помощью цифровых платформ потребует от разработчиков систем и руководителей

систем здравоохранения учета мнения клиентов при разработке, внедрении и оценке инструментов и платформ цифрового здравоохранения» [1] (перевод Яндекс).

Перейдем от общесистемных принципов построения цифровых ориентированных на пациентов экосистем здравоохранения к частной цели статьи и покажем возможности асинхронной архитектуры для реализации ЛК пациентов.

Ниже приводится описание принципов работы ЛК в асинхронном режиме применительно к многофункциональному медицинскому центру. ЛК через шлюз должен работать с АС МЦ, находящейся во внутренней защищенной сети. Особенности работы шлюза таковы, что запросы от ЛК могут приходиться во внутреннюю сеть с большой задержкой, поэтому необходима возможность работы ЛК в асинхронном режиме.

- (1) Из личного кабинета создается типизированный запрос на получение данных (консультации пациента, список результатов исследований, свободные талоны записи к специалистам, запрос документа, др.) к внутренней сети МЦ, обращаясь к ИПВ.
- (2) Запрос хешируется, при этом хеш строится только по существенным атрибутам объекта, исключая незначимые для сути запроса “временные” компоненты (дату и время запроса, автора запроса и т.п.).
- (3) Запросы, имеющие одинаковое значение хеш-функции, считаются идентичными.
- (4) Далее ИПВ обращается к внутреннему шлюзу.
- (5) Внутренний шлюз передает объект запроса к GraphQL серверу МИС, который обрабатывает только запросы, относящиеся к взаимодействию Личного кабинета и МИС.
- (6) Возвращаемый результат связывается с запросом (значением хеш-функции) и передается через шлюз -> ИПВ -> в Личный кабинет, где сохраняется в БД в хранилище результатов запросов.
- (7) Каждый результат типизирован и ему сопоставляется время жизни (время актуальности результата);

Пользовательские интерфейсы, генерирующие запросы из внешней сети к внутренней сети медицинской организации, работают в асинхронном режиме следующим образом:

- (1) Перед отправкой запроса вычисляется его хеш-функция.
- (2) ИПВ проверяет, есть ли в хранилище результатов актуальный результат для данного значения хеш-функции, если результат есть, то он возвращается как ответ на запрос.

- (3) Если результата для данного значения хеш-функции нет, то делается проверка не является ли запрос повторным, если запрос является повторным и время прошедшее с момента отправки более раннего запроса не превысило время актуальности ожидаемого результата, то запрос игнорируется.
- (4) Если запрос является повторным и время прошедшее с момента отправки более раннего запроса превысило время актуальности ожидаемого результата, то запрос отправляется через В ИПВ далее через шлюз в МЦ.

Пользовательский интерфейс, создающий запросы к внешним системам, работает следующим образом:

- (1) Запрос отправляется менеджеру запросов и ожидается ответ до стандартного таймаута.
- (2) Если ответ за время таймаута не поступает, то пользователю (интерфейсу) выдается сообщение «Ваша заявка принята, ожидайте ответа от МИС», далее в асинхронном режиме ответ будет получен и отобразится в разделе запроса информации.
- (3) Запрос, который не удалось обработать в синхронном режиме, должен быть повторен и при наличии актуального результата будет получен ответ на запрос.

Если больших (больше таймаута пользовательского интерфейса) временных задержек при отработке запросов ЛК не будет, то ЛК будет работать в наиболее благоприятном для пользователей синхронном режиме.

Сайт МЦ может быть построен на тех же принципах, что и ЛК, и должен иметь возможность работы в асинхронном режиме.

3. Апробация архитектуры и программное решение

Масштаб задачи построения общей интеграционной архитектуры для экосистемы медицинской помощи накладывал значительные ограничения в части возможности полной детальной разработки архитектуры и её прототипирования исследовательским центром медицинской информатики ИПС РАН совместно с ООО «Интерин технологии». Было решено апробировать лишь отдельное архитектурное решение на локальной интеграционной задаче. Требовалось построить асинхронную архитектуру взаимодействия модуля МДЛП, находящегося во внутренней закрытой сети многофункционального медицинского центра, с ФГИС МДЛП. Между внутренней и внешней сетью МЦ данные передавались через особый шлюз, что не исключало значительные временные задержки при

доставке сообщений. Поэтому для решения интеграционной задачи как нельзя лучше подходили вышеописанные возможности архитектуры в части асинхронной работы.

Прототип ИПВ был реализован на языке Java на сервере приложения Java Apache Tomcat 8 с использованием OpenJDK8, хранилищем данных для ИПВ выступала СУБД Oracle. Клиентское ПО модуля МДЛП было реализовано на языке JavaScript в среде Интерин Promis Alpha [11] разработки ООО «Интерин технологии».

Адаптация модуля МДЛП под асинхронную работу была выполнена очень быстро и не потребовала серьёзных переделок модуля. Компонент ИПВ был реализован за 2 месяца. Вычислительные эксперименты полностью подтвердили принятую концепцию архитектуры. Модуль МДЛП позволял работать во внутренней защищённой сети как в асинхронном, так и в синхронном режиме, в зависимости от задержек при передаче сообщений через шлюз.

Заключение

В статье поднимается проблема разработки интеграционной архитектуры для отечественной экосистемы оказания медицинской помощи. Проблема сложная и многогранная. На данном этапе развития экосистемы целесообразно вести обмен идеями по созданию интеграционной архитектуры и проводить прототипирование отдельных архитектурных идей. В работе предложен апробированный принцип построения асинхронного взаимодействия между участниками экосистемы. Предложенное решение может быть использовано другими разработчиками, решающими интеграционные задачи в цифровых экосистемах любой природы, особенно в случае информационного обмена с задержками. Полученные результаты могут найти применение и в более сложных архитектурах будущего [12]. Работа может также повлиять на развитие отечественной цифровой медицинской экосистемы. Актуально привлечение к решению проблемы крупных отечественных разработчиков ПО.

Список использованных источников

- [1] Abernethy A., Adams L., Barrett M., Bechtel C., Brennan P., Butte A., Faulkner J., Fontaine E., Friedhoff S., Halamka J., Howell M., Johnson K., Long P., McGraw D., Miller R., Lee P., Perlin J., Rucker D., Sandy L., Savage L., Stump L., Tang P., Topol E., Tuckson R., Valdes K. *The promise of digital health: then, now, and the future* // NAM Perspect.– Jun 27 2022.– id. 202206e.  [↑476, 477, 485, 486](https://doi.org/10.1093/nam/pnab011)

- [2] Viswanadham N. *Ecosystem model for healthcare platform* // *Sādhanā*.– 2021.– Vol. **46**.– id. 188.– 13 pp. doi ↑477
- [3] Chibuike M. C., Grobbelaar S. S., Botha A. *Overcoming challenges for improved patient-centric care: a scoping review of platform ecosystems in healthcare* // *IEEE Access*.– 2024.– Vol. **12**.– Pp. 14298–14313. doi ↑477
- [4] Бельшев Д. В., Гулиев Я. И., Михеев А. Е. *Цифровая экосистема медицинской помощи* // *Врач и информационные технологии*.– 2018.– № 5.– С. 4–17. * URL ↑478
- [5] Михеев А. Е. *МИС как бизнес-платформа цифровой экосистемы медицинской помощи* // *Менеджер здравоохранения*.– 2022.– № S1.– С. 5–22. doi * ↑478
- [6] Малых В. Л., Калинин А. Н. *Миграция с Oracle на PostgreSQL сильно связанной МИС Интернет* // *Программные системы: теория и приложения*.– 2022.– Т. **13**.– № 4(55).– С. 77–91. doi URL ↑480
- [7] Фадеев В. *Пять мифов корпоративной автоматизации* // *Открытые системы. СУБД*.– 2023.– № 02.– С. 41–43. * URL ↑480
- [8] Добровольский А. *Интеграция приложений: методы взаимодействия, топология, инструменты* // *Открытые системы. СУБД*.– 2006.– № 09.– С. 30–34. * URL ↑480
- [9] Abugabah A., Nizamuddin N., Alzubi A. A. *Decentralized telemedicine framework for a smart healthcare ecosystem* // *IEEE Access*.– 2020.– Vol. **8**.– Pp. 166575–166588. doi ↑482
- [10] Казаков И. Ф., Гулиев Я. И., Бельченков А. А., Рудецкий С. В. *Развитие пациент-ориентированных ИТ-сервисов в медицинских организациях* // *Менеджер здравоохранения*.– 2022.– № S1.– С. 63–68. doi * ↑485
- [11] Гулиев Я. И., Бельшев Д. В., Кочуров Е. В. *Медицинская информационная система "Интерин Promis Alpha— новые горизонты"* // *Врач и информационные технологии*.– 2016.– № 6.– С. 6–15. URL * ↑488
- [12] Прозоров А., Шнырев Р., Волков Д. *Архитектура цифровых платформ будущего* // *Открытые системы. СУБД*.– 2021.– № 02.– С. 24–28. doi * ↑488

Поступила в редакцию	22.02.2024;
одобрена после рецензирования	08.04.2024;
принята к публикации	16.05.2024;
опубликована онлайн	29.06.2024.

Рекомендовал к публикации

к.т.н. Я. И. Гулиев

Информация об авторах:**Владимир Леонидович Малых**

Зав. лабораторией Института программных систем им. А. К. Айламазяна, 30 лет работы в сфере медицинской информатики, архитектор семейства МИС Интерин. Научные интересы: Медицинские информационные системы, платформы для МИС, интеграционные профили и личные кабинеты участников медицинских экосистем.

 0000-0002-0072-0724

e-mail: mvl@interin.ru

**Алексей Николаевич Калинин**

Ведущий инженер-программист ООО «Интерин технологии», ведущий разработчик семейства МИС Интерин. Медицинские информационные системы, компоненты разработки МИС на платформе Интерин Альфа, интеграционные профили участников медицинских экосистем.

 0000-0002-3607-7400

e-mail: ank@interin.ru

**Сергей Владимирович Рудецкий**

Руководитель группы разработки ООО «Интерин технологии». Научные интересы: Медицинские информационные системы, платформы для МИС, интеграционные профили и личные кабинеты участников медицинских экосистем.

 0000-0003-2986-3785

e-mail: rsv@interin.ru

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Декларация об отсутствии личной заинтересованности: благополучие авторов не зависит от результатов исследования.



Architecture of interaction in the digital medical ecosystem

Vladimir Leonidovich **Malykh**¹, Aleksey Nikolayevich **Kalinin**²,
Aleksey Nikolayevich **Rudetsky**³

¹⁻³ Ailamazyan Program Systems Institute of RAS, Ves'kovo, Russia

¹  mvl@interin.ru

Abstract. In the field of medical informatics, there is a steady trend towards the formation of a complex multicomponent ecosystem. The problems of interaction and integration of ecosystem components come to the forefront: medical, laboratory, radiological systems, EGISZ, EMIAS, MDLP, various registers and services, including those implementing AI approaches to data processing and problem solving. Patients are in dire need of personal offices that integrate their medical data, patients become active participants in the ecosystem. Integration tasks have to be solved in a highly heterogeneous information environment, when it becomes unattainable to ensure synchronous interactive interaction between ecosystem participants. For individual applications, a flexible combination of both synchronous and asynchronous interaction is required, selected situationally based on specific time delays and interaction characteristics.

The article proposes a special architecture that allows for synchronous and asynchronous interaction between ecosystem participants. Adapting software designed only for synchronous interaction to an asynchronous architecture does not require a radical redesign of the software. The approach was worked out using the example of adapting the MDLP MIS Interin module to work in the internal secure network of the multidisciplinary medical center of the Bank of Russia. The proposed architecture can be used by software developers in other fields of activity, where there is an active development of ecosystems, accompanied by an increase in integration interactions. (*In Russian*).

Key words and phrases: medical informatics, medical information systems, digital ecosystem, integration, asynchronous interaction, patient's personal office

2020 *Mathematics Subject Classification:* 94-04; 68P05; 92C50

Acknowledgments: The authors are sincerely grateful to Komarov S.I. for his interest in the work and constructive criticism, which allowed us to improve the article

For citation: Vladimir L. Malykh, Aleksey N. Kalinin, Aleksey N. Rudetsky. *Architecture of interaction in the digital medical ecosystem*. Program Systems: Theory and Applications, 2024, **15**:2(61), pp. 475–492. (*In Russ.*).
https://psta.psir.as.ru/read/psta2024_2_475-492.pdf

References

- [1] A. Abernethy, L. Adams, M. Barrett, C. Bechtel, P. Brennan, A. Butte, J. Faulkner, E. Fontaine, S. Friedhoff, J. Halamka, M. Howell, K. Johnson, P. Long, D. McGraw, R. Miller, P. Lee, J. Perlin, D. Rucker, L. Sandy, L. Savage, L. Stump, P. Tang, E. Topol, R. Tuckson, K. Valdes. “The promise of digital health: then, now, and the future”, *NAM Perspect.*, 2022, id. 202206e. 
- [2] N. Viswanadham. “Ecosystem model for healthcare platform”, *Sādhanā*, **46** (2021), id. 188, 13 pp. 
- [3] Chibuike M. C. , S. S. Grobbelaar, A. Botha. “Overcoming challenges for improved patient-centric care: a scoping review of platform ecosystems in healthcare”, *IEEE Access*, **12** (2024), pp. 14298–14313. 
- [4] D. V. Belyshev, Ya. I. Guliev, A. E. Mixeev. “Digital healthcare ecosystem”, *Vrach i informacionnye tekhnologii*, 2018, no. 5, pp. 4–17 (in Russian). 
- [5] A. E. Mixeev. “HIS as a business platform of the digital ecosystem of medical care”, *Menedzher zdravoovranneniya*, 2022, no. S1, pp. 5–22 (in Russian). 
- [6] V. L. Malyx, A. N. Kalinin. “Migration from Oracle to PostgreSQL”, *Program Systems: Theory and Applications*, **13**:4(55) (2022), pp. 77–91 (in Russian). 

- [7] V. Fadeev. “Five myths of corporate automation”, *Otkrytye sistemy. SUBD*, 2023, no. 02, pp. 41–43 (in Russian). 
- [8] A. Dobrovolskij. “Application integration: interaction methods, topology, tools”, *Otkrytye sistemy. SUBD*, 2006, no. 09, pp. 30–34 (in Russian). 
- [9] A. Abugabah, N. Nizamuddin, A. A. Alzubi. “Decentralized telemedicine framework for a smart healthcare ecosystem”, *IEEE Access*, **8** (2020), pp. 166575–166588. 
- [10] I. F. Kazakov, Ya. I. Guliev, A. A. Bel’chenkov, S. V. Rudeckij. “Development of patient-centered services in medical organizations”, *Menedzher zdravoovranneniya*, 2022, no. S1, pp. 63–68 (in Russian). 
- [11] Ya. I. Guliev, D. V. Belyshev, E. V. Kochurov. “Medical information system Interin Promis Alpha — new horizons”, *Vrach i informacionnye tekhnologii*, 2016, no. 6, pp. 6–15 (in Russian). 
- [12] A. Prozorov, R. Shnyrev, D. Volkov. “Architecture of digital platforms of the future”, *Otkrytye sistemy. SUBD*, 2021, no. 02, pp. 24–28 (in Russian). 