

УДК 621.391.1

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ МОДЕЛИ ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

А. Д. Сотников,

канд. техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются способы формального описания процессов информационного взаимодействия в сложных инфокоммуникационных системах и их классификация. Определены основные понятия и термины. Предлагается комплекс разноуровневых моделей для прикладных инфокоммуникационных систем телемедицинского назначения.

Введение

Развитие современной телекоммуникационной отрасли характеризуется несколькими ключевыми тенденциями, среди которых:

- Глубокое проникновение информационных и телекоммуникационных технологий внутрь прикладных областей и их превращение в ключевой функциональный элемент отраслевых систем. Информационная и телекоммуникационная экспансия в административно-управленческую и торгово-распределительную отрасли получила «фирменные» названия — «электронное правительство», «электронная коммерция», «телеработа». В социально ориентированных отраслях здравоохранения и образования развиваются междисциплинарные направления «телемедицины» и «телеобучения».

- Соединение в одно целое информационной (содержательно-смысловой) и телекоммуникационной составляющих порождает новую сущность — инфокоммуникационную систему (ИКС), обеспечивающую предоставление инфокоммуникационной услуги (ИКУ). Такое объединение изменяет способы анализа, проектирования и построения ИКС, организации и предоставления ИКУ. Телемедицина (ТМ) и телеобучение выступают наиболее типичными реализациями концепции «инфокоммуникационной услуги».

Телемедицина представляет междисциплинарный синтез здравоохранения, телекоммуникаций и информационных технологий (ИТ), которые традиционно реализуют специфические методы анализа и проектирования автономных систем и служб, создания и предоставления услуг на основе собственных организационно-функциональных принципов и технологий. Телемедицинские системы (ТМС) представляют объединение нескольких разнородных взаимозависимых систем,

что позволяет отнести их к классу сложных систем (СС) [1]. Эффективные методы распределения общесистемных требований к СС на отдельные подсистемы, оптимизация межсистемных взаимодействий остаются неразработанными. Эти проблемы выходят на первый план при проектировании социально ориентированных ИКС (здравоохранения, образования, государственного управления), характеризующихся жесткими ограничениями стоимостных характеристик.

Основная *тенденция* развития ТМ состоит в стабильном увеличении количества ТМС и сетей, наращивании объемов и расширении спектра услуг. Постоянный количественный прирост сопровождается высоким процентом учреждений здравоохранения, прекративших использование ТМС (10–15 % в США и до 25–30 % в РФ) [2, 3], что говорит о неудовлетворенности потребителей ТМС и об определенном несовпадении целей и результатов деятельности создателей ТМС с ожиданиями ТМ-сообщества. Наблюдается четкое структурно-функциональное деление на поставщиков и потребителей ТМ-услуг в составе ТМС. Целеполагание участников заметно различается, но не находит адекватного отражения в моделях ТМС и отрицательно сказывается на их функционировании.

Главная *проблема* состоит в отсутствии методов описания и анализа прикладной области, пригодных для ИТ и телекоммуникационной индустрии, что не позволяет корректно формулировать требования при проектировании ТМС. Целью работы является исследование принципов информационного взаимодействия в ИКС; классификация ИКС по ряду признаков; создание моделей сложных ИКС, ориентированных на количественные оценки параметров прикладной области здравоохранения.

Теоретические основы инфокоммуникаций

Для инфокоммуникаций ключевыми категориями и понятиями, вокруг которых концентрируются смысловые единицы, являются категории «информация», «информационное взаимодействие», «информационный процесс», «информационный объект».

Информация как фундаментальная общенаучная категория не имеет строгого, устраивающего всех специалистов, определения. Информацией называют и «... содержание сигнала, сообщения», и «... бесконечный законо-процесс триединства энергии, движения и массы с различными плотностями кодовых структур бесконечно-беспредельной Вселенной» [4]. Отсутствие единства в определении говорит о недостаточной разработанности категории и дает основания для новых определений и трактовок.

Информационное взаимодействие. Категория взаимодействия отражает действия различных объектов друг на друга, их взаимную обусловленность, изменение состояния.

Информационный процесс как реализацию определенного информационного взаимодействия ряд авторов определяет как «... неэнергетическое взаимодействие объектов, при котором осуществляется передача (генерация и освоение) идеальных категорий (смыслов, значений, образов, эмоций)» или «... взаимодействие объектов, приводящее к изменению знаний хотя бы одного из них» [4].

Основные понятия и определения

Информационная система имеет дело с информационными объектами — представлениями $\langle\langle A \rangle\rangle$, $\langle\langle B \rangle\rangle$, ... сущностей $\{A, B, \dots\}$ [5].

Информация передана, когда изменился сигнал, переносящий образ (представление) из многообразия тезауруса системы-источника A в многообразии тезауруса системы-получателя B :

$$\langle A \rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\text{Сигнал}} \langle\langle A \rangle\rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\xi_B}$$

Информация воспринята, когда возник новый образ источника в многообразии тезауруса получателя:

$$\langle A \rangle^{\xi_A} \xrightarrow{Q_1} \langle C \rangle^{\xi_C} \xrightarrow{Q_2} \langle\langle A \rangle\rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\xi_C} \langle\langle A \rangle\rangle^{\xi_C} \xrightarrow{\xi_B}$$

Информационное воздействие — воздействие «источника» A на состояние «получателя» B , выражающееся в изменении представления $\langle B \rangle$, различного в многообразии элементов тезауруса «источника» $\langle B \rangle^{\xi_A}$. Так как тезаурусы «источника» ξ_A и «получателя» ξ_B различны, то исходный образ в собственном тезаурусе $\langle B \rangle^{\xi_B}$ и образ $\langle B \rangle^{\xi_A}$ в тезаурусе «источника», выступающего наблюдателем, также различаются. Это один из источников ошибок, или, точнее, погрешности представления объекта в тезаурусе «наблюдателя».

Информационный обмен — передача и прием сигналов, приводящих к взаимному изменению образов $\langle A \rangle^{\xi_B}$ и $\langle B \rangle^{\xi_A}$ участников обмена. Это может быть связано с изменением (расширением) тезаурусов ξ_A и ξ_B участников.

Информационное взаимодействие — взаимное изменение образов собственных систем $\langle A \rangle^{\xi_A}$ и $\langle B \rangle^{\xi_B}$, приводящее к изменению образов $\langle A \rangle^{\xi_B}$ и $\langle B \rangle^{\xi_A}$ у других участников.

Информационная система (ИС) — это система, содержащая информацию и обеспечивающая ею пользователя. *Необходимое условие:* неотъемлемыми компонентами ИС являются пользователь и потенциальная информация. *Достаточное условие:* пользователь и потенциальная информация образуют ИС. ИС составляют элементы, которые являются информационными представлениями $\langle A \rangle$ реальных (материальных и нематериальных) сущностей A и имеют «информационную значимость».

Информационная значимость — это свойство представления¹ сущности, которое присутствует, если известен способ описания, содержащий множество базовых «смыслов», имманентно принадлежащих сущности. Формализованное множество «смыслов» является тезаурусом ξ_A . Экземпляр сущности обладает множеством различных состояний, которые воспринимаются наблюдателем как множество образов объекта, каждый из которых имеет свой «смысл». Множество состояний определяет *потенциальную информацию* объекта. При возникновении у наблюдателя образа объекта (в результате восприятия и распознавания) происходит *актуализация потенциальной информации* на основе информационного представления объекта. Потенциальное наличие информации в системе A определяется множеством различных состояний системы и многообразием тезауруса системы ξ_A .

Восприятие переданной информации — возникновение у получателя R нового образа системы A в многообразии тезауруса получателя $\langle\langle A \rangle\rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\xi_R}$.

Пользователь U — субъект, объект или процесс, способный воспринимать представления $\langle S \rangle^{\xi_S}$ и обладающий собственным тезаурусом пользователя ξ_U .

Потенциальная информация — множество различных состояний сущности S во множестве представлений $\langle S \rangle^{\xi_S}$ на основе тезауруса ξ_S , обладающих информационной значимостью.

Актуальная информация — это представление (образ) $\langle\langle S \rangle\rangle^{\xi_S} \xrightarrow{\xi_U}$ в тезаурусе ξ_U пользователя U .

Информационная система S : $\{S, \xi_S, \langle S \rangle^{\xi_S}, U, \xi_U, \langle\langle S \rangle\rangle^{\xi_S} \xrightarrow{\xi_U}\}$ — совокупность, включающая сущности системы, *пользователей*, тезаурус системы

¹ «Информационную значимость» не следует путать с «ценностью» и «полезностью» — эти свойства связаны с потребителем и возможностью удовлетворения его информационных потребностей.

и тезаурусы пользователей, множество информационных представлений системы (потенциальная информация) и множество образов системы (представления в тезаурусах пользователей).

Коммуникационная система $C: \{C, \xi_C, \langle C \rangle^{\xi_C}, Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}\}$ — совокупность последовательных преобразований

$$\xrightarrow{Q_{12}^{\xi_A \xi_C}}, \xrightarrow{Q_{23}^{\xi_C \xi_B}},$$

обеспечивающих представление множества образов источника $\langle A \rangle$ в множество образов потребителя $\langle B \rangle$ через множество состояний (образов) $\langle C \rangle^{\xi_C}$ сигнала C при требуемой точности.

Телекоммуникационная система (ТС) $T: \{C, \xi_C, \langle C \rangle^{\xi_C}, Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}\}$ — совокупность последовательных преобразований $Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}$ сигналов и их представлений вне зависимости от пространственного размещения «источника» A и «потребителя» B ($A \in D, B \in D, D \neq A \cap B$).

Инфокоммуникационная система $F: \{S, \xi_S, \langle S \rangle^{\xi_S}, U, \xi_U, \langle \langle S \rangle^{\xi_S} \rangle^{\xi_U}, C, \xi_C, \langle C \rangle^{\xi_C}, Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}\}$ — совокупность, включающая сущности информационной системы S и телекоммуникационной системы T .

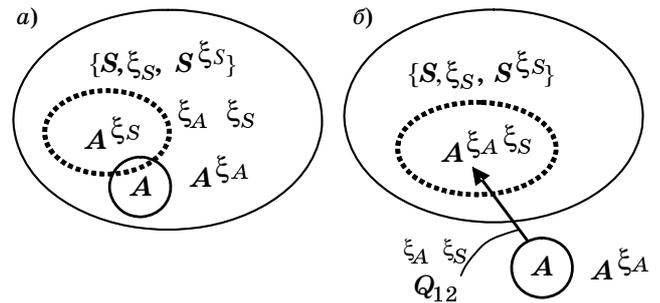
Классификация ИКС

В рамках данных определений возможно классифицировать ИКС по ряду признаков, характеризующих различные стороны взаимоотношения системы с пользователем и информацией, которые важны с точки зрения анализа и последующего проектирования ИКС [6, 7]. В данном контексте пространственная удаленность участников не имеет значения, и понятия ИКС и ИС совпадают.

Размещение информации. Информационные объекты (представления сущностей) — всегда составляющая часть ИКС. Сами сущности (носители потенциальной информации) не всегда являются составляющими ИКС. Наличие или отсутствие сущностей в составе ИКС — первый классификационный признак, в зависимости от которого по-разному реализуется владение сущностями и/или информационными объектами, т. е. потенциальной информацией, и ее адекватное представление, что имеет важные последствия.

1. Сущности, обладающие потенциальной информацией, находятся «внутри» ИС, и их информационные представления располагаются там же. Включение объекта в систему (рис. 1, а) предполагает совпадение подмножества тезауруса объекта с множеством тезауруса системы $\xi_A \in \xi_S$ и, как следствие, — совпадение представлений $\langle A \rangle^{\xi_A} \equiv \langle A \rangle^{\xi_S}$.

2. Сущности находятся «вне системы» (рис. 1, б). В этом случае тезаурусы системы и объекта связаны соотношением $\xi_S \in \xi_A$, возможно только подобие образов $\langle A \rangle^{\xi_A} \approx \langle A \rangle^{\xi_S}$, определяемое близостью тезаурусов ξ_S, ξ_A , т. е. информация представляется системой с искажениями.



■ Рис. 1. Информация «в системе» (а) и «вне системы» (б): A — объект; S — информационная система

Отношение пользователя к ИС. Это второй признак, по которому классифицируются ИКС. Пользователь может быть «в системе» или «вне системы». Термины «в» и «вне» отражают возможности взаимодействия тезаурусов системы и пользователя, а не пространственные или топологические свойства.

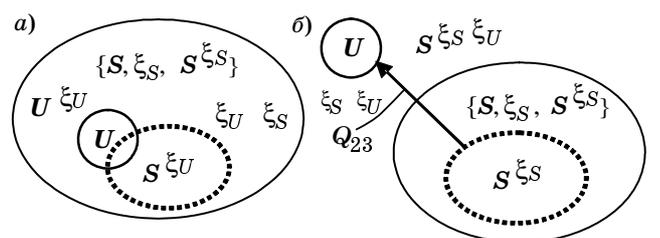
1. Пользователь «в системе» (рис. 2, а) когда:

а) тезаурусы системы и пользователя полностью совпадают: $\xi_S \equiv \xi_U$. Это вырожденный случай, когда пользователь отождествляется с системой и не может рассматриваться как «получатель» информации, поскольку обладает всей полнотой образов, возникающих из многообразия тезауруса системы, а ИС не может служить источником информации, т. е. нарушается определение и утрачивается утилитарность ИС;

б) тезаурус пользователя может быть произвольно изменен (расширен) за счет элементов тезауруса системы по инициативе пользователя и до определенной степени «согласован» с тезаурусом системы: $\xi_S \approx \xi_U$;

в) тезаурус системы может быть произвольно изменен пользователем.

В тех случаях, когда пользователь «в системе», отсутствует операция взаимного преобразования элементов тезаурусов $Q^{\xi_S \xi_U}$, а есть отображение одного подмножества на другое $F: S \rightarrow U$, т. е. возможно адекватное восприятие образа. Степень адекватности определяется степенью совпадения тезаурусов, т. е. степенью общности множеств ξ_S, ξ_U .



■ Рис. 2. Пользователь U «в системе» (а) и «вне системы» (б)

2. Пользователь «вне системы» (рис. 2, б) когда: а) тезаурус пользователя ξ_U и системы ξ_S автономны ($\xi_S \leftarrow \times \rightarrow \xi_U$) и не могут быть согласованы до произвольной степени по инициативе пользователя, а только «по воле системы» в результате предоставления пользователю информации.

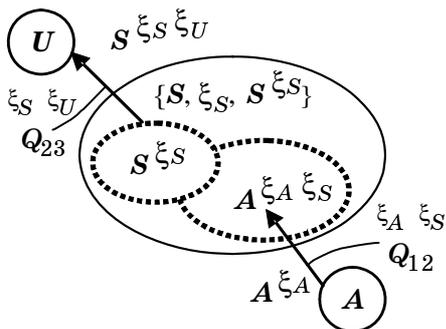
Когда пользователь «вне системы», становится значима операция преобразования тезаурусов ($Q^{\xi_U \xi_S} = \xi_U \cup \xi_S$), где $S' \in S$ или реже $Q^{\xi_S \xi_U}$, что соответствует изменению состава (расширению) тезауруса, обеспечивает расширение пространства образов и большую точность восприятия образа объекта $\langle A \rangle^{\xi_A}$ в тезаурусе пользователя $\langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_U}$. Для классификации ИС принципиально соотношение тезаурусов пользователя, объектов и системы (ξ_U, ξ_A, ξ_S), потому что образ создается в многообразии тезауруса, т. е. образ произведен от тезауруса: $A \Rightarrow \xi_A \Rightarrow \langle A \rangle^{\xi_A}$. Наиболее сложный случай, когда пользователь и сущности находятся «вне системы» (рис. 3). Именно здесь возникает двусторонний обмен, который в формальной нотации описывается следующим образом. Пусть сущность, ИС и пользователь с тезаурусами и представлениями соответственно: $\{A, \xi_A, \langle A \rangle^{\xi_A}\}, \{S, \xi_S, \langle S \rangle^{\xi_S}\}, \{U, \xi_U, \langle U \rangle^{\xi_U}\}$, тогда возникновение образа сущности в тезаурусе пользователя соответствует одностороннему обмену между сущностью, ИС и пользователем, определяемому записью

$$\langle A \rangle^{\xi_A} \xrightarrow{Q^{\xi_S \xi_A}} \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_S} \xrightarrow{Q^{\xi_S \xi_U}} \langle \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_S} \rangle^{\xi_U} \xrightarrow{Q^{\xi_S \xi_U}} \langle \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_S} \rangle^{\xi_U}$$

где выражение в скобках описывает «восстановление» образа $\langle A \rangle^{\xi_A}$ в образе $\langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_U}$, созданном в многообразии пользовательского тезауруса.

На основании первых двух признаков классифицируются наиболее важные характеристики структурной и функциональной организации ИКС, выражаемые в ее типе:

тип А — один пользователь, информация «внутри», пользователь — «вне системы»;



■ Рис. 3. Пользователь и данные «вне системы»

тип А1 — много пользователей, информация «внутри», пользователи — «вне ИКС»;

тип В — один или ограниченное число пользователей, информация и пользователь «внутри ИКС»;

тип В1 — много пользователей, информация и пользователи «внутри системы»;

тип С — два пользователя, информация у пользователей, пользователи «вне ИКС»;

тип D — пользователь «внутри», информация «вне системы»;

тип Е — два (много) пользователей и информация «внутри ИКС»;

тип F — комбинация систем типов А — С. В зависимости от совокупности типов составляющих систем выделяются несколько стандартных подтипов (F1 — F4).

Временное взаимодействие. По этому признаку ИКС разделяются на четыре категории:

— непрерывные — взаимодействие пользователя и ИКС носит постоянный, «непрерывный» во времени характер, рамки которого не определены заранее;

— сеансовые — взаимодействие пользователя и ИКС носит эпизодический характер с ограниченной, как правило, известной или уверенно прогнозируемой длительностью;

— транзакционные — взаимодействие пользователя и ИКС носит кратковременный, повторяющийся характер в не планируемые заранее моменты времени;

— комбинированные — в большей или меньшей степени одновременно присутствуют несколько типов взаимодействия.

Участие пользователя. По характеру участия пользователя в функционировании ИКС выделены следующие категории:

— распределительные — пользователь преимущественно получает данные, не участвуя в формировании содержательного потока данных, и не влияет на алгоритмы функционирования системы, т. е. не участвует в управлении ИКС;

— диалоговые — пользователь участвует в формировании содержательных информационных потоков, но не влияет активным образом на алгоритмы функционирования ИКС;

— интерактивные — пользователь активно влияет на функционирование ИКС и участвует в формировании информационных потоков;

— комбинированные — встречаются в разных комбинациях две и более вышеназванные системы.

Количество пользователей. Классификация по признаку количества пользователей выделяет ИКС с одним пользователем, ограниченным числом пользователей (ИКС коллективного пользования) и ИКС массового обслуживания.

Прикладные ИКС

Особое место занимает класс ИКС, в которых отсутствует возможность влиять на сущности, являющиеся генераторами представлений, и отно-

сящиеся не к информационной отрасли, а к иным областям практической деятельности — здравоохранению, образованию, военному делу, управлению и т. п. Выделим этот класс ИКС и обозначим его как «прикладные ИКС». Он характеризуется следующими свойствами:

- 1) сущности (реальные объекты) принципиально находятся «вне системы»;
- 2) тезаурусы системы и сущности связаны соотношением $\xi_S \in \xi_A$;
- 3) отсутствует возможность изменения тезауруса сущности со стороны ИС, т. е. недопустимость операции $|Q^{\xi_S \xi_A}|$;
- 4) информация представляется ИКС с искажениями, так как возможно только подобие информационных представлений $\langle A \rangle^{\xi_A} \approx \langle A \rangle^{\xi_S}$, определяемое близостью пар тезаурусов $\xi_S \xi_A$ и $\xi_S \xi_U$.

Внешним признаком класса «прикладных ИКС» является строгое требование размещения информации и пользователя «вне системы» (тип С) или не строгое (типы А, А1, С, D, F), когда информация находится у пользователя. Прикладные ИКС, обладая в большинстве случаев низкой степенью формализации, представляют наибольшие трудности при системном проектировании и нуждаются в разработке механизмов их описания.

Прикладные ИКС в здравоохранении

Телемедицинские системы представляют типичный пример ИКС со слабо структурированными данными, неявными алгоритмами и с разнообразным характером взаимодействия участников. Проектирование ТМ-ИКС при отсутствии методологических подходов опирается на технологические новации и эмпирические знания, не гарантирующие эффективного результата. Разработка ТМ-ИКС идет «от технологии» и ее возможностей, что позволяет манипулировать характеристиками и параметрами телекоммуникационных систем и технологий с фактической целью навязать заказчику варианты реализации ТМ-ИКС, выгодные поставщику. Ситуация усугубляется тем, что потребители (медицинские специалисты), как правило, не могут сформулировать технические требования к ТМС. В среднесрочной перспективе это ведет к неудовлетворенности потребителя и дискредитации систем и технологий, заложенных в ее основу.

Модели инфокоммуникационных систем

В здравоохранении, при множестве решаемых задач, сильной внутрипрофессиональной дифференциации, калейдоскопическом разнообразии школ, методик и технологий, чрезвычайно трудно, если возможно, использовать единую модель. Предлагается совокупность моделей, последовательно приближающих к количественному описанию ТМ-ИКС. Эти модели последовательно:

— описывают ИКС в целом, определяя ее границы;

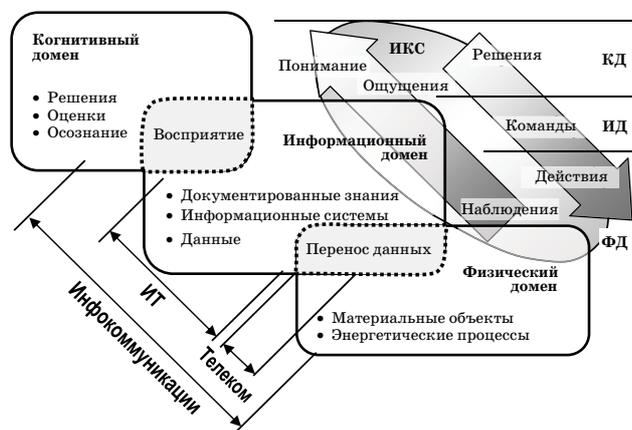
— структурируют предметную область, выделяя группы медицинских задач и применений, обладающих близкими, маловариативными наборами характеристик;

— обеспечивают описание характеристик прикладной ИКС в терминах, пригодных для проектирования или количественной оценки телекоммуникационных систем (услуг) и оптимизации решений.

Доменная модель инфокоммуникаций

Наиболее общей и абстрактной является доменная модель (ДМ) (рис. 4), позволяющая выявить компоненты ИКС, обозначить межкомпонентные интерфейсы и рассмотреть процессы информационного взаимодействия. ДМ выделяет три домена, где концентрируются три относительно самостоятельных, хотя и тесно связанных, вида деятельности. В *физическом домене ФД* протекают преимущественно энергетические процессы и взаимодействуют материальные объекты. Анализ ситуаций и интеллектуальная деятельность, продуктом которой являются оценки и принятие решений, — это продукт ментальной и психической активности, протекающей в *когнитивном домене КД*. *Информационный домен ИД* — это область, в которой циркулируют данные, используемые в КД и представляющие объекты, явления и процессы ФД.

Согласно ДМ, область телекоммуникаций располагается на границе ФД и ИД. Восприятие физической реальности, представленной сущностями ИД, связано с информационным взаимодействием и протекает на границе ИД и КД. Таким образом, инфокоммуникации охватывают все три домена, хотя сегодняшнее состояние характеризуется неглубоким проникновением в КД в силу неразработанности категорий сознания и других сущностей и отношений КД, связанных с генерацией и потреблением содержательно-смыслового ядра информации.



■ Рис. 4. Доменная модель инфокоммуникаций

В общем виде элементарное взаимодействие двух информационных систем в ИД состоит в односторонней передаче/приеме представления объекта ФД, описываемых выражением

$$\langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C^m}} \xrightarrow{Q_{22}^{\xi_{C^m} C^k}} \langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C^k}}.$$

Информационное взаимодействие осуществляется посредством обмена «сообщениями», которые являются подмножествами множества информационных представлений $\langle A_1 \rangle^{\xi_{A_n}}$ объекта A_n , передаваемых между ИС C_m и C_K . Тогда взаимодействие нескольких ИС внутри ИД описывается как

$$\begin{aligned} & \left\langle \left\langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \right\rangle_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi_{C^m}} \xleftarrow{Q_{22}^{\xi_{C^k} \xi_{C^m}}} \\ & \xrightarrow{Q_{22}^{\xi_{C^m} \xi_{C^k}}} \left\langle \left\langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \right\rangle_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi_{C^k}} \Big|_{k=1, \dots, K} \Big|_{m=1, \dots, M}. \end{aligned} \quad (1)$$

Информационный процесс есть совокупность элементарных информационных взаимодействий, происходящих в ИД. Выражение (1) представляет ДМ — описание информационного взаимодействия, затрагивающего сущности трех доменов.

Пусть $\{A_1, \dots, A_6\} \in A$ — множество объектов ФД, $\{C_i^j\} \in C$ — множество объектов ИД, где $i = \{1, \dots, 9\}$, $j = \{1, \dots, 5\}$, при этом подмножества представлений $\{C_m^i\}$ относятся к m автономным ИС, действующим в ИД. Тогда для объектов A_n и потребителей B_k в общем виде

$$\begin{aligned} & \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \xrightarrow{Q_{12}^{\xi_{A_n} \xi_{C^m}}} \\ & \rightarrow \langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C_n^m}} \xrightarrow{Q_{23}^{\xi_{C_n^m} \xi_{B_k}}} \langle \langle C_n^m \rangle^{\xi_{C_n^m}} \rangle^{\xi_{B_k}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Выражение (2) представляет модель информационного взаимодействия двух субъектов КД, выраженную в терминах представлений систем ИД и объектов ФД. Представление объекта A_1 в тезаурусе потребителя B_1 служит основой для принятия решения $\langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}}$ субъекта (B_1) КД:

$$\left\langle \left\langle \langle A_1 \rangle^{\xi_{A_1}} \right\rangle_{C_1^1} \right\rangle^{B_1} \xRightarrow{\Theta_{B_1}} \langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}},$$

где $\xRightarrow{\Theta_{B_1}}$ — оператор формирования решения.

Вся последовательность формирования образа объекта A_1 в ИД, восприятия его субъектом B_1 в КД, принятия решения и передаче его через ИД субъекту B_4 в КД описывается выражением

$$\begin{aligned} & \left\langle \left\langle \langle A_1 \rangle^{\xi_{A_1}} \right\rangle_{C_1^1} \right\rangle^{B_1} \xRightarrow{\Theta_{B_1}} \langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}} \xrightarrow{Q_{32}^{\xi_{B_1} \xi_{C_7^4}}} \\ & \rightarrow \langle \langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}} \rangle^{\xi_{C_7^4}} \xrightarrow{Q_{23}^{\xi_{C_7^4} \xi_{B_4}}} \langle \langle C_7^4 \rangle^{\xi_{C_7^4}} \rangle^{B_4}, \end{aligned}$$

представляющим модель информационного взаимодействия субъектов КД в терминах представлений ИД, объектов ФД и решений субъектов КД.

Модели ИКС в здравоохранении

Характерной чертой медицины является низкий уровень формализации² используемых данных, процедур их получения и анализа по сравнению с техническими и бизнес-приложениями.

Трехмерная модель. Для обоснованного построения ТМС выделены характеристики, описывающие различные стороны применения ИКС, а именно:

- *круг решаемых медицинских задач* — профилактика и предупреждение, диагностика и лечение, мониторинг и сопровождение хронических больных, экстренная помощь и медицина катастроф, медицинское образование, администрирование и управление и др.;

- *медицинские специализации и области применения*, как сложившаяся внутрипрофессиональная классификация, отражают методологические подходы, связанные с информационными моделями объекта деятельности (пациента);

- *временные характеристики системы* (время отклика ТМС на запрос) определяют характер ее взаимодействия с пользователем и задают требуемые параметры ТС.

Названные характеристики положены в основу трехмерной модели ТМ-ИКС (рис. 5), которая классифицирует область применения и позволяет избежать неоправданного расширения на смежные, похожие внешне, но отличающиеся характеристиками использования ИКС. Результатом анализа трехмерной модели является дифференциация областей применения ИКС и отнесение ТМ-ИКС к определенному классу ИКС с выявлением главенствующего типа взаимодействия между участниками.

Двухкомпонентная модель, детализируя параметры каждой из названных характеристик, обеспечивает переход к количественным оценкам.

Комбинация прикладной медицинской «задачи» и «специализации» образует область с мало-

² Стандартизация в здравоохранении заметно улучшает ситуацию, но не меняет характера проблемы. Медицинские стандарты и классификаторы (DICOM, МКБ-10, HL-7 и т. п.), формализуя структурные характеристики данных (представлений сущности), не затрагивают источник всех данных — пациента.

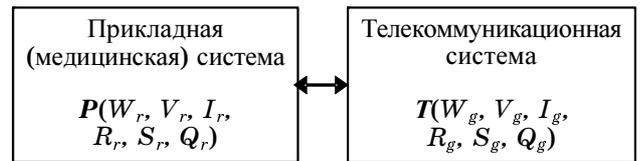


■ Рис. 5. Трехмерная модель ТМ-ИКС

вариативными значениями параметров (рис. 6), называемую «областью применения». «Применение» P описывается набором целочисленных параметров $P(W_r, V_r, I_r, R_r, S_r, Q_r)$, характеризующих «требования», где W_r — объем данных в сеансе; V_r — требуемая скорость передачи; I_r — вид требуемой службы; R_r — требуемое время отклика ИКС на запрос; S_r — симметрия/асимметрия службы; Q_r — необходимость QoS (рис. 7).

Аналогично ТС описывается набором параметров, характеризующих ее свойства обеспечивать требуемые характеристики, и параметров, учитывающих внутренние свойства системы $T(W_g, V_g, I_g, R_g, S_g, Q_g)$, или более широким, включающим стоимостные характеристики (разовые и эксплуатационные затраты для прикладной системы (ПС) и ТС): $Z_{rr}, Z_{er}, Z_{rg}, Z_{eg}$.

Последовательная детализация и количественная оценка приводят к двум ограниченным множествам наборов $P_i \in P$ и $T_j \in T, i \in [1, \dots, N], j \in [1, \dots, K], N \leq K$ параметров (требуемых ПС и гарантируемых ТС), достаточно точно описыва-



■ Рис. 7. Двухкомпонентная модель ИКС

ющих «прикладную» и «телекоммуникационную» компоненты конкретной ТМ-ИКС.

Двухкомпонентная модель (см. рис. 7) позволяет, сопоставляя P_i и T_j , определить параметры, совпадающие или наиболее близкие требуемым. Формулируя различные критерии близости, можно решать следующие задачи проектирования ИКС:

— прямая задача — поиск варианта, который при допустимых разовых затратах Z_{rg} и удовлетворении набора технологических требований ($W_r, V_r, I_r, R_r, S_r, Q_r$) обеспечивает $\min(Z_{eg})$ — минимальную стоимость эксплуатации;

— обратная задача — поиск такого значения Z_{eg} , при котором удовлетворяются все требования ($W_r, V_r, I_r, R_r, S_r, Q_r$) при $\min(Z_{rg})$ или заданном значении $Z < Z_{rg}$;

— задача оценки границ вариации тарифообразующих параметров (Z_{rg} и Z_{eg}) модели, при которых услуга остается выгодной оператору телекоммуникаций. Общая постановка задачи: «Найти такие реализации ИКС (совокупности ПС $_i$ и ТС $_j$), которые удовлетворяют заданному критерию».

Основные задачи, связанные с организацией и предоставлением ИКУ, следующие.

1. На этапе проектирования ТМС — определение набора реализаций подсистем, который обеспечит заданный уровень функциональности $F(V_i) \geq \text{const}$ при минимуме затрат $\min(F(C_i))$.

2. Определение набора реализаций подсистем, обеспечивающих максимум функциональности $\max(F(V_i))$ при фиксированном уровне инвестиций ($F(C_i) \leq \text{const}$).



■ Рис. 6. Применения ТМ-ИКС

3. Определение для выбранной реализации ИКС значений стоимостных параметров $F(C_i)$, при которых удовлетворяются все требования качества ($F(V_i) \geq \text{const}$).

4. На этапе эксплуатации ИКС — определение оптимальной стратегии обновления/поддержания/расширения системы, т. е. оценка возможного диапазона изменения параметров V_i при заданных ограничениях C_i .

Двухкомпонентная модель позволяет перейти к количественным оценкам и сформулировать технические требования к ИКС. Итоговыми измерителями для оценки медицинских применений выступают объемные значения медицинских данных и время отклика системы на запрос услуги определенного вида, а также свойства интерактивности услуги.

Заключение

Основной недостаток традиционных подходов состоит в исключении пользователя и его прикладных процессов из состава ИКС, что затрудняет исследование процессов генерации и утилизации информации в ИС. Формальный анализ информационного взаимодействия компонентов ИКС, их базовых свойств и характеристик позволяет выделить различные типы ИКС. Предложенные принципы классификации основаны на признаках, характеризующих взаимоотношения ИКС с пользователем и информацией. Определен класс прикладных ИКС, характерных для здравоохранения и образования.

Границы ИКС, их свойства и ряд характеристик адекватно описываются комплексом из трех разноуровневых моделей, включающих ДМ инфо-

коммуникаций, трехмерную и двухуровневую модели ТМ-ИКС.

Рассмотренный подход позволяет перейти от субъективных оценок к формулировке задач количественного анализа и синтеза слабо формализованных прикладных ИКС телемедицины.

Литература

1. Luman R. R. Integrating Cost and Performance Models to Determine Requirements Allocation for Complex Systems // Technical Digest / Johns Hopkins University APL. 2000. Vol. 21. N 3. P. 408–425.
2. Основные показатели работы лечебно-профилактических учреждений федерального подчинения: статистические материалы: <http://www.mednet.com/stat/stat00/index.htm>
3. Сотников А. Д. Структурно-функциональная организация услуг телемедицины в прикладных инфокоммуникационных системах. СПб.: Судостроение, 2007. 200 с.
4. Полонников Р. И. Основные концепции общей теории информации. СПб.: Наука, 2006. 203 с.
5. Сотников А. Д. Принципы анализа прикладной области в инфокоммуникационных системах здравоохранения // Тр. учеб. заведений связи. 2004. № 171. С. 174–183.
6. Сотников А. Д. Классификация и модели прикладных инфокоммуникационных систем // Тр. учеб. заведений связи. 2003. № 169. С. 149–162.
7. Сотников А. Д. Оптимизация инфокоммуникационных систем в здравоохранении // Тр. учеб. заведений связи. 2003. № 169. С. 163–174.