

# Об одной формальной модели интероперабельности в федеративных информационных системах

А.П. Столбов

**Аннотация.** Рассмотрена модель транзитивной интероперабельности в федеративных информационных системах (ИС), на основе которой могут быть определены формальные критерии и требования к стандартам и процедурам взаимодействия, используемые при проектировании и эксплуатации ИС.

**Ключевые слова:** федеративные информационные системы, интероперабельность.

Одной из наиболее актуальных проблем при создании и обеспечении функционирования территориально-распределенных федеративных информационных систем (ИС) [1], образованных из локально автономных ИС входящих в них субъектов, является реализация в них интероперабельности. Типичным примером федеративной ИС является единая информационная система (ЕИС) здравоохранения и обязательного медицинского страхования (ОМС) [2-4], к принципиальным особенностям которой относятся:

– административная независимость субъектов системы здравоохранения и ОМС – учреждений и организаций различной ведомственной принадлежности и форм собственности: медицинских учреждений, фондов ОМС, страховых компаний, информационно-аналитических центров и др., – и отсутствие единого "вертикального" управления субъектами системы;

– существенное различие целей, задач, функций и критериев оценки деятельности субъектов системы, в силу чего развитие решаемых прикладных задач и развитие их ИС и баз данных объективно происходит и будет происходить различным образом;

– многообразие технологических схем, режимов ведения и доступа к базам данных их

ИС, различных как по содержанию и объему, так и по функциональному назначению;

– независимость реализации и модернизации их ИС и их гетерогенность, в том числе, по технической реализации, и обусловленные этим проблемы информационной совместимости.

Принципы построения, жизненные циклы создания, развития и функционирования федеративных и вертикальных, корпоративных ИС существенно различаются. Процесс проектирования и создания федеративных ИС, по сути, заключается в разработке "платформонезависимых" стандартов и функциональных профилей, обеспечивающих взаимодействие, интероперабельность локальных ИС субъектов, как существующих, так и вновь разрабатываемых, и их объединение (связывание, стыковку) в единую информационную систему.

Представляется целесообразным рассмотреть основные условия и модели интероперабельности ИС в федеративных системах, используя методы математической семантики, основы которой были разработаны Д. Скоттом, К. Стрейчи и Я.В. де Баккером [5-7].

Пусть  $J^S$  – множество субъектов системы. Будем говорить, что между субъектами  $i$  и  $j$  из  $J^S$  имеет место отношение  $i \omega_{\chi} j$  интеропера-

бельности  $\omega_X$ , если они могут обмениваться данными  $X$  при условии их идентичной содержательной интерпретации (заметим, что обмен данными между субъектами может рассматриваться также и как обмен соответствующими сервисами).

Это определение, по сути, выражает требование, чтобы источники и потребители данных  $X$  при решении некоторой задачи были непосредственно или через субъектов-посредников из  $\mathcal{J}^S$ , связаны по данным  $X$ . Иными словами, субъекты могут быть интероперабельны непосредственно или транзитивно.

**Определение.** Субъекты  $i$  и  $j$  **транзитивно интероперабельны**, если

- (a)  $\forall i, j, k \in \mathcal{J}^S: i \omega_X k \ \& \ k \omega_X j \Rightarrow i \omega_X j$ ;
- (b)  $\neg(i \beta j) \ \& \ (\exists k \in \mathcal{J}^S: (i \omega_X k \ \& \ k \omega_X j)) \Rightarrow i \omega_X j$ ;

где  $\beta$  – бинарное отношение непосредственной связности ("смежности") субъектов – возможности непосредственного обмена данными между ними; выражение (a) соответствует свойству транзитивности отношения  $\omega_X$ , (b) – условию транзитивного замыкания по  $\omega_X$  на множестве  $\mathcal{J}^S$ .

Для определения необходимых и достаточных условий обмена данными между субъектами рассмотрим базовую коммуникационную модель транзитивной интероперабельности  $M^Y$ , которую представим в виде графа:

$$i_0 \rightarrow i_1 \rightarrow i_2$$

Здесь дуги показывают направление передачи данных, а вершинами являются следующие субъекты:  $i_0$  – источник данных  $X$ ;  $i_2$  – потребитель данных;  $i_1$  – посредник, передающий данные  $X$ , непосредственно взаимодействующий с  $i_0$  и  $i_2$ , то есть  $i_0 \beta i_1$  и  $i_1 \beta i_2$ .

Для описания условий интероперабельности между  $i_0$  и  $i_2$  в модели  $M^Y$  определим следующие бинарные отношения связности по данным  $X$  между субъектами:

${}^S\omega_X$  – отношение семантической идентичности (совместимости) данных, которая обеспечивается единой для субъектов системой понятий и терминов (онтологической системой), соответствующих передаваемым данным  $X$ ; формальное определение бинарного отношения  ${}^S\omega_X$  между субъектами  $i$  и  $j$  представим в виде следующего выражения:

$$i {}^S\omega_X j \Leftrightarrow i[X]_S = j[X]_S,$$

здесь и далее  $i[X]_S$  – содержательная интерпретация данных  $X$  субъектом  $i$ ;

${}^{ID}\omega_X$  – отношение идентификационной совместимости, при котором обеспечивается возможность установления взаимно однозначного соответствия между одними и теми же объектами (конкретными экземплярами), представляемыми данными  $X$  в ИС субъектов  $i$  и  $j$ ;

${}^F\omega_X$  – отношение синтаксической совместимости данных  $X$ , реализуемое на основе идентичности форматов и систем кодирования при передаче данных от одного субъекта другому;

${}^T\omega_X$  – отношение технической совместимости и связности субъектов – возможности передачи данных  $X$  от одного субъекта другому по каналам связи или на перемещаемых в пространстве физических носителях; в общем случае это отношение может быть сопоставлено с пятью нижними уровнями эталонной модели OSI/ISO;

${}^L\omega_X$  – отношение институциональной связности, соответствующее наличию правовых оснований и организационных процедур передачи и получения данных  $X$  субъектами; состав передаваемых данных строго регламентируется нормативными документами, что обычно обусловлено требованиями конфиденциальности информации.

Отношение семантической идентичности  ${}^S\omega_X$  транзитивно и симметрично и реализуется на основе единой для всех субъектов семантической модели данных  $X$ . Отношения  ${}^F\omega_X$  и  ${}^T\omega_X$  в общем случае не обязательно должны быть транзитивны и симметричны; достаточно, чтобы выполнялось условие попарной совместимости между смежными, непосредственно взаимодействующими, субъектами. Отношение идентификационной совместимости  ${}^{ID}\omega_X$  также в общем случае не обязательно должно быть транзитивным, достаточно обеспечить попарную совместимость между смежными субъектами, при этом  ${}^{ID}\omega_X$  симметрично. Институциональная связность  ${}^L\omega_X$  между  $i_0$  и  $i_2$  должна быть транзитивной, то есть должно быть обеспечено транзитивное замыкание между  $i_0$  и  $i_2$  по отношению  ${}^L\omega_X$  путем принятия нормативных документов, регламентирующих информационный обмен между субъектами в необходимом объеме; симметричность  ${}^L\omega$  в общем случае не обязательна.

Иными словами, будем рассматривать пять условий связности субъектов по данным – их интероперабельности – и представлять их как

$$\omega_X = \langle {}^S\omega_X, {}^{ID}\omega_X, {}^F\omega_X, {}^T\omega_X, {}^L\omega_X \rangle.$$

Далее для краткости записи будем опускать нижние индексы "X" в обозначениях отношений  $\omega_X$ . Тогда условия осуществимости передачи данных X между  $i_0$  и  $i_2$  и их интероперабельности для модели  $M^Y$  можно сформулировать в виде следующей теоремы:

*Утверждение 1.* Необходимыми и достаточными условиями транзитивной интероперабельности по данным X между  $i_0$  и  $i_2$ , такими что  $\neg(i_0 \beta i_2)$ ,  $i_0 \beta i_1$  и  $i_1 \beta i_2$ , являются:

- (a)  $i_0 \omega i_2 \Leftrightarrow (i_0 \omega i_1 \& i_1 \omega i_2)$ ;
- (b)  $i_0 \omega i_1 \Leftrightarrow (i_0 {}^S\omega_{01} i_1 \& i_0 {}^{ID}\omega_{01} i_1 \& i_0 {}^F\omega_{01} i_1 \& i_0 {}^T\omega_{01} i_1 \& i_0 {}^L\omega_{01} i_1)$ ;
- (c)  $i_1 \omega i_2 \Leftrightarrow (i_1 {}^S\omega_{12} i_2 \& i_1 {}^{ID}\omega_{12} i_2 \& i_1 {}^F\omega_{12} i_2 \& i_1 {}^T\omega_{12} i_2 \& i_1 {}^L\omega_{12} i_2)$ ;
- (d)  $((i_0 {}^S\omega_{01} i_1 \& i_1 {}^S\omega_{12} i_2) \Leftrightarrow i_0 {}^S\omega_{02} i_2) \Rightarrow i_0[X]_S = i_1[X]_S = i_2[X]_S$ ;
- (e)  $[i_0 {}^L\omega_{01} i_1]_X \supseteq [i_1 {}^L\omega_{12} i_2]_X \supseteq X$ ,

где: нижние индексы при "ω" используются для того, чтобы подчеркнуть возможные различия в реализации "одноименных" бинарных отношений в разных парах субъектов; X – состав данных, получаемых потребителем  $i_2$ ; полиморфные операторы  $[i_0 {}^L\omega_{01} i_1]_X$  и  $[i_1 {}^L\omega_{12} i_2]_X$  специфицируют институционально установленный состав передаваемых (получаемых) данных, предусмотренный в отношении  ${}^L\omega$ .

*Доказательство.* Условие (a) следует из роли, которую в модели  $M^Y$  выполняет  $i_1$ , а именно – роль посредника (шлюза) при передаче данных X между  $i_0$  и  $i_2$  и соответствует транзитивному замыканию по бинарному отношению связности  $\omega$ , определенному на множестве субъектов  $\{i_0, i_1, i_2\}$  (определение 1). Условия (b) и (c) следуют из определения отношения связности как  $\omega = \langle {}^S\omega, {}^{ID}\omega, {}^F\omega, {}^T\omega, {}^L\omega \rangle$ , то есть верны по определению. Отношения  ${}^{ID}\omega$ ,  ${}^F\omega$  и  ${}^T\omega$  здесь выражают требование попарной совместимости между непосредственно взаимодействующими (смежными) субъектами. Транзитивность  ${}^S\omega_{01} = {}^S\omega_{12} = {}^S\omega_{02} = {}^S\omega$  отношения  ${}^S\omega$  (условие d) следует из требования взаимной согласован-

ности и симметричности интерпретации сообщений (данных) между субъектами (идентичность понятий). Условие (e) следует из определения отношения  ${}^L\omega$  и требования передачи сведений в установленном (разрешенном, допустимом) объеме. Таким образом, выражения (d) и (e) соответствуют необходимым, а выражения (a), (b) и (c) – достаточным условиям интероперабельности между  $i_0$  и  $i_2$ . Что и требовалось доказать.

Обобщим полученные результаты для случая транзитивной интероперабельности по  $\omega$  на множестве субъектов  $J^S$ .

*Утверждение 2.* Необходимым и достаточным условием транзитивной интероперабельности  $i_0$  и  $i_K$  из  $J^S$  является существование между ними упорядоченного подмножества  $I' \subseteq J^S$  попарно  $\omega$ -связных субъектов, то есть

$$i_0 \omega i_K \Leftrightarrow \exists I' \subseteq J^S: (i_0, i_K \in I' \& \forall i_{k-1}, i_k \in I', i_{k-1} \beta i_k, k \in [1, K]: \\ (i_{k-1} {}^S\omega_{k-1,k} i_k \& i_{k-1} {}^{ID}\omega_{k-1,k} i_k \& i_{k-1} {}^F\omega_{k-1,k} i_k \& i_{k-1} {}^T\omega_{k-1,k} i_k \& i_{k-1} {}^L\omega_{k-1,k} i_k \& (i_k[X]_S = i_{k-1}[X]_S = i_0[X]_S = i_K[X]_S));$$

где условия попарной  ${}^L\omega$ -связности по данным X должны быть такими, что

$$i_{k-1} {}^L\omega_{k-1,k} i_k \Rightarrow ([i_{k-1} {}^L\omega_{k-1,k} i_k]_X \supseteq [i_k {}^L\omega_{k,k+1} i_{k+1}]_X \supseteq X \vee [i_{k-1} {}^L\omega_{k-1,k} i_k]_X \supseteq X);$$

здесь индексы при "ω" используются так же, как в утверждении (1).

*Доказательство.* Утверждение является обобщением утверждения (1) путем применения математической индукции и следует из определения интероперабельности  $i_0$  и  $i_K$  как транзитивного замыкания между ними по бинарному отношению связности  $\omega$  по данным (определение). Необходимость единой семантической модели данных (выражение  $i_k[X]_S = \dots = i_K[X]_S$ ) следует из транзитивности отношения  ${}^S\omega$  (условие (d) в утверждении 1). Условия попарной институциональной связности получаются по индукции из условия (e) утверждения (1). Утверждение доказано.

Для определения области интероперабельности субъектов в федеративной ИС – множества потенциально взаимодействующих субъектов – по представленным выше критериям может ис-

пользоваться известным алгоритмом вычисления транзитивного замыкания Уоршалла [8].

Приведем еще одно утверждение, связанное с реализацией интероперабельности между субъектами в информационной системе.

*Утверждение 3.* Необходимым условием синтаксической совместимости при обмене данными между субъектами является семантическая идентичность данных  $X$ ; обратное не верно:

$$\forall i, j \in \mathcal{J}^S: i^F \omega j \Rightarrow i^S \omega j.$$

Доказательство следует из определения отношения  ${}^S\omega$  и его транзитивности (определение), поскольку синтаксическая совместимость  ${}^F\omega$  предполагает также обязательную семантическую идентичность  ${}^S\omega$  кодируемых данных  $X$ . С другой стороны, семантически идентичные информационные объекты могут представляться синтаксически различными кодами (способами).

Условия, заданные в утверждении (2), определяют один из критериев выбора источников для получения необходимых исходных данных, а именно – условия интероперабельности источника  $i_0$  и субъекта-потребителя  $i_k$  данных.

Анализ представленной выше модели транзитивной интероперабельности позволяет сделать следующие выводы, принципиальные для организации и планирования процессов создания и функционирования федеративных информационных систем:

1. Допустимость попарной  ${}^F\omega$ - и  ${}^T\omega$ -совместимости между транзитивно взаимодействующими субъектами для обеспечения их интероперабельности позволяет осуществлять поэтапную унификацию форматов (синтаксиса) и технических интерфейсов между локальными ИС федеративной системы.

2. Транзитивность отношений  ${}^S\omega$  и  ${}^L\omega$  обеспечивает возможность осуществления поэтапного изменения и(или) унификации состава данных в потоках, начиная с верхних уровней иерархии системы сбора и обработки данных вниз, что, в свою очередь, позволяет также поэтапно "от общего к частному" осуществлять унификацию и переход на единые семантические модели данных, на основе которых обеспечивается  ${}^S\omega$ -связность.

3. Это в свою очередь, позволяет:

- эффективно использовать информационные ресурсы, накопленные в "унаследованных" базах данных в старых, не унифицированных форматах;

- включать в состав единой федеративной системы локальные ИС субъектов, не имеющих достаточных ресурсов для быстрого перехода на единые стандарты представления данных – за счет маппирования (конверсии) файлов (сообщений) в центрах обработки данных тех субъектов, которые обеспечены необходимыми ресурсами (например, в ЕИС здравоохранения около 50 тысяч субъектов и в такой системе нельзя перейти на единые стандарты одномоментно, "все вдруг");

- обеспечить относительную стабильность стандартов обмена данными между смежными уровнями иерархии, на основе которых реализуется интероперабельность субъектов федеративной системы, в условиях их неравномерной миграции на единые стандарты представления, кодирования и передачи информации.

Описанный выше подход имеет достаточно общий характер и может применяться в различных предметных областях. Примером практической реализации представленной модели транзитивной интероперабельности является единая система сбора и обработки данных, необходимых для взаиморасчетов между территориальными фондами ОМС за медицинскую помощь, оказанную гражданам за пределами территории страхования [2].

## Литература

1. March J.G., Simon H.A. Organizations. – New York: Willey and Sons, 1985.
2. Столбов А.П., Тронин Ю.Н. Информатизация системы обязательного медицинского страхования: Учебно-справочное пособие. – М.: "Издательство ЭЛИТ", 2003. – 558 с.
3. Венедиктов Д.Д., Гасников В.К., Кузнецов П.П., Радзиевский Г.П., Столбов А.П. Современная концепция построения единой информационной системы здравоохранения // Врач и информационные технологии, 2008, № 2, сс. 17-23.
4. Столбов А.П., Кузнецов П.П., Какорина Е.П. Информационное обеспечение организации высокотехнологичной медицинской помощи населению / Под общ. ред. д-ра мед. наук, акад. РАМН В.И. Стародубова. – М.: МЦФЭР, 2007. – 224 с.

5. Брой М. Информатика. Основополагающее введение: В 4-х ч. Ч. 1 / Пер. с нем. – М.: Диалог-МИФИ, 1996. – 299 с.
6. Деметрович Я., Кнут Е., Радо П. Автоматизированные методы спецификации /Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 115с.
7. Лавров С.С. Программирование. Математические основы, средства, теория. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 320 с.:ил.
8. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.

**Столбов Андрей Павлович.** Заместитель директора Медицинского информационно-аналитического центра РАМН (г. Москва), профессор кафедры организации здравоохранения Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А.С. Попова в 1974 году. Доктор технических наук. Автор более 130 научных работ. Область научных интересов: медицинская информатика, стандартизация в области ИТ. E-mail: ap100lbov@mail.ru.