

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЛЯЦИОННОГО МУЛЬТИПЛЕКСОРА В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА НА ПРИМЕРЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДОРОВЬЯ ДЕТЕЙ

© С. В. Фролов^{1✉}, М. А. Лядов², Т. А. Фролова¹

¹ Кафедра «Биомедицинская техника», sergej.frolov@gmail.com;

ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация;

² отдел разработки, ООО «Окей-Телеком», Москва, Российская Федерация

Ключевые слова: базы знаний; информационные системы; мониторинг здоровья; мультиплексор; реляционная алгебра; экспертные системы.

Аннотация: Рассмотрены общие вопросы мониторинга здоровья детей, проведен анализ данных, используемых при оценке показателей здоровья в региональной системе мониторинга, который позволил выявить основные типы показателей и их зависимости друг от друга. Представлен ряд известных информационных систем и проектов: АКДО (Россия), KiGGS (Германия), IDI (Новая Зеландия) и другие, которые используются для данного мониторинга. Показана разработанная авторами и внедренная в Тамбовском регионе автоматизированная информационная система «Здоровье детей». Предложен способ оценки показателей здоровья с использованием принципов мультиплексирования и аппарата реляционной алгебры. В качестве примера показана схема оценки показателей антропометрии и артериального давления с использованием разработанного метода на основе реляционного мультиплексора. Разработаны модели и алгоритмы, реализующие предложенный способ, которые могут быть использованы при создании на различных системах управления базами данных и программных платформах. Приведена программная реализация редактора базы знаний, которая позволяет уменьшить временные и материальные затраты на модернизацию распределенной информационной системы мониторинга при изменении методик оценки и расширении контингента обследуемых.

Введение

Здоровье населения, в особенности подрастающего поколения, является важнейшим вопросом современной науки. Один из способов оценки здоровья детей – массовый мониторинг его состояния, который проводится относительно различных функциональных систем организма и факторов, воздействующих на эти системы.

К настоящему моменту разработано множество информационных систем мониторинга здоровья детей (*далее* мониторинг), различающихся по форме, нозологическим группам и возрастным интервалам. Анализ изученных систем показывает, что большинство из систем мониторинга, проводящих интегральную оценку состояния здоровья, предназначены либо для автоматизации деятельности специалистов лечебно-профилактических учреждений [1], либо для углубленных исследований отдельно взятых выборок обследуемых с целью получения обобщенной статистики [2]. Подобные системы, как правило, не используются для проведения массового обследования в образовательных учреждениях. В то же время существуют системы мониторинга, которые в большинстве случаев предна-

значены для получения обобщенной статистики, позволяющей судить о состоянии развития общества, имея социальную направленность, а не медицинскую [3].

Для школ Тамбовской области авторами разработана и прошла период активного использования автоматизированная информационная система (АИС) мониторинга здоровья школьников [4]. Система обеспечивает оценку показателей физического развития, артериального давления (АД), анкетирования, физической подготовленности, групп здоровья, острой и общей заболеваемости. Все перечисленные показатели вносятся медицинским работником образовательного учреждения в течение учебного года для каждого ребенка в клиент-серверное программное обеспечение АИС «Здоровье детей». Далее данные консолидируются на муниципальном и региональном уровнях, где проводится статистическая OLAP-обработка информации для дальнейшего принятия управленческих решений органами здравоохранения и образования.

В качестве математического аппарата базы знаний системы мониторинга используется аппарат реляционной алгебры, который позволил преобразовать существующие возрастно-половые нормы в пространство отношений, атрибутов и доменов. Для оценки каждого показателя разработаны расчетные функции [5], реализованные в виде хранимых SQL-процедур. Подобный подход хорошо зарекомендовал себя при оценке множества показателей здоровья десятков тысяч детей. Однако со временем появилась необходимость расширения базы знаний, а именно увеличение количества показателей, изменение возрастно-половых норм, возрастное расширение контингента обследуемых (детские сады, вузы) и т.д. Это ведет к росту пространства отношений, атрибутов и доменов и количества расчетных функций для каждого показателя, что означает переработку программного обеспечения и базы данных. Подобные задачи в распределенной информационной системе мониторинга на уровне региона несут за собой дополнительные временные и материальные затраты (привлечение программистов, миграция данных, обновление программного обеспечения на сотнях рабочих мест и т.п.).

В качестве решения данной проблемы предлагается использование нового универсального элемента базы знаний системы мониторинга, который обеспечит оценку различных показателей здоровья по существующим возрастно-половым нормам при постоянстве пространства отношений, атрибутов и доменов. Наиболее оптимальным оказалось совмещение принципов мультиплексирования, которые в настоящее время с успехом применяется в анализе и обработке информации [6, 7], и аппарата реляционной алгебры, являющегося неотъемлемой частью множества экспертных систем [8].

Анализ данных в системе мониторинга здоровья детей

Основные показатели здоровья детей в системе мониторинга можно охарактеризовать конкретными вариативными, например, гармоничностью физического развития (гармоничное, дисгармоничное, резко дисгармоничное), или числовыми показателями, например массой тела (кг). При этом существуют заранее известные (входные) и неизвестные (выходные) показатели. Зависимость между выходными показателями и набором входных может быть разного вида. Например, выходной числовой показатель может зависеть от набора входных чисто математически: индекс массы тела соответствует отношению массы тела к квадрату длины тела. Подобные зависимости наиболее часто используются при оценке показателей здоровья у взрослого населения.

Другой вид зависимости – референтный. В этом случае, например, оценка выполнения прыжка в длину у ребенка осуществляется по референтному интер-

валу значений с учетом возраста и пола. В простом случае определение выходных показателей при подобной зависимости может быть легко реализовано обычными алгоритмами с выборами и циклами. Разработка подобных приложений не требует особых затрат и времени. Однако если таких показателей становится достаточно много, между ними существует множество связей и количество возможных вариантов превышает тысячу. Поэтому требуется инструмент, предоставляющий специалисту-эксперту возможность определения подобных зависимостей и заполнения возможных комбинаций.

В настоящее время для оценки основных показателей здоровья детей наиболее широкое распространение получили референтные и центильные таблицы. Например, для оценки показателей антропометрии могут использоваться референтные таблицы (табл. 1), а для показателей артериального давления – центильные (табл. 2). При этом референтная таблица показателей антропометрии содержит порядка тысячи строк, а центильная таблица оценки артериального давления содержит 52 строки.

Набор вариантов длины тела содержит пять значений: низкий, ниже среднего, средний, выше среднего и высокий. Для массы тела три значения: дефицит, норма, избыток. Показатели вариантов массы тела помимо самой массы зависят от длины тела ребенка (см. табл. 1). Существуют также центильные таблицы для оценки физического развития, с помощью которых определяются гармоничность развития и соматотип ребенка.

Таблица 1

Фрагмент таблицы определения референтных интервалов массы тела у детей 6 – 18 лет

Возраст, лет	Варианты роста	Мальчики		Девочки	
		Рост, см	Норма веса, кг	Рост, см	Норма веса, кг
6	Ниже среднего	107	15,7...21,7	108	15,9 ... 21,9
		108	16,1... 22,1	109	16,3 ... 22,3
		109	16,5... 22,5	110	16,7 ... 22,7
		110	16,8... 22,8	112	17,1 ... 23,1
		111	17,3... 23,2	112	17,5 ... 23,5
	Средний	112	17,6 ... 23,6	113	17,9 ... 23,9
		113	18,0 ... 24,0	114	18,3 ... 24,3
	
		121	21,0 ... 27,0	121	21,1 ... 27,1
		122	21,4 ... 27,4	122	21,5 ... 27,5
...	
...
18	Высокий	189	68,2 ... 92,2	176	58,1 ... 79,4
		190	69,0 ... 93,0	177	58,7 ... 80,0
	
		193	71,6 ... 95,6	180	60,5 ... 81,8
		194	72,5 ... 96,5	181	61,6 ... 82,4

Таблица 2

**Фрагмент таблицы процентильного распределения
САД и ДАД у детей и подростков 6 – 18 лет, мм рт. ст.**

Тип АД	Возраст, лет	Пол	Процентильное распределение						
			5	10	25	50	75	90	95
САД	6	М	82	85	90	96	100	108	114
		Д	80	84	88	96	101	110	115

	18	М	107	110	119	123	129	140	145
		Д	92	94	102	109	115	125	129
	ДАД	6	М	44	49	53	57	62	65
Д			46	50	55	57	60	66	70
...	
18		М	61	64	69	72	76	83	88
		Д	58	59	62	67	71	77	79

Набор вариантов АД состоит из пяти значений: артериальная гипотензия, пониженное АД, нормальное, повышенное, артериальная гипертензия. При этом вариант АД выбирается с учетом, какой из показателей систолического АД (САД) и диастолического АД (ДАД) выше. Например, если у ребенка САД соответствует артериальной гипертензии, а ДАД нормальному АД, то за итоговую оценку АД принимается артериальная гипертензия. При этом показатели артериального давления также зависят от варианта массы тела ребенка. Поэтому при измерении артериального давления у детей 6 – 11 лет с использованием взрослой манжеты может дополнительно вноситься поправка его значения в соответствии с табл. 3.

Проведенный анализ показывает, что при оценке основных показателей здоровья вариативные и числовые показатели используются как на входе, так и на выходе, их количество может достаточно сильно варьироваться при оценке разных показателей здоровья. Зависимость данных показателей можно реализовать

Таблица 3

**Величины поправок к показателям САД,
полученным при использовании стандартной манжеты, мм рт. ст.**

Возраст, лет	Оценка физического развития		
	Норма	Дефицит массы тела	Избыток массы тела
6	+ 10	+ 15	+ 5
7			
8			
9			
10			0
11	+ 5	+ 10	

при помощи бинарной логики, при этом необходимо учитывать соответствие каждому значению или вхождению в интервал, например, пол мужской – да (0), нет (1); масса тела от 68,2 до 92,2 – да (0), нет (1). Для оценки каждого показателя необходимо создание таблицы истинности. Подобный подход имеет множество реализаций, например, в системе мониторинга мозгового кровообращения взрослого человека [9]. Также можно усовершенствовать подобный подход использованием нечеткой логики [10]. Но недостатком подобного подхода является использование значительных по объему таблиц истинности, число ячеек в которых может превышать десятки тысяч при использовании даже нескольких показателей, а также достаточно большое количество столбцов у таких таблиц, которое будет пропорционально сумме возможных вариантов всех показателей. Все это увеличивает временные затраты на заполнение и вероятность ошибки вследствие человеческого фактора.

Решением проблемы является создание в базе знаний системы мониторинга нового структурного элемента – реляционного мультиплексора (RMUX), который является аналогом стандартного мультиплексора, используемого в электронике. Вместо таблицы истинности в RMUX используется таблица соответствия, в которой эксперт указывает значения выходных показателей в соответствии со значениями входных вариативных и числовых показателей. Математическим аппаратом работы RMUX служит аппарат реляционной алгебры. Использование подобного подхода позволяет в значительной мере упростить работу эксперта и повысить гибкость программного обеспечения.

Пример преобразования таблицы определения референтных интервалов массы тела в RMUX показан на рис. 1. При этом основным требованием к базе

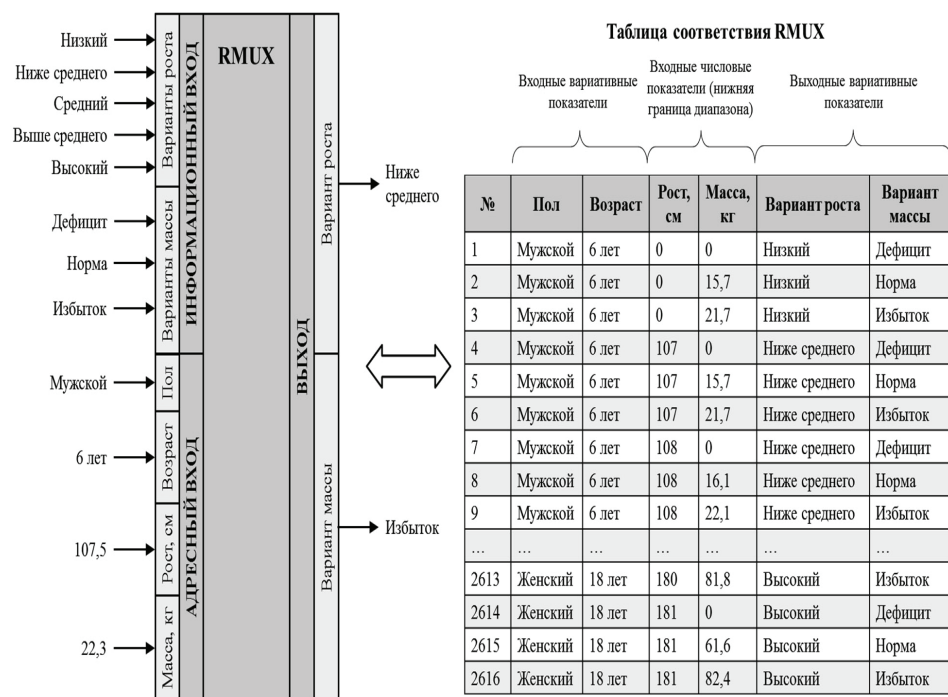


Рис. 1. Принцип работы вычислительного элемента RMUX в системе мониторинга здоровья детей

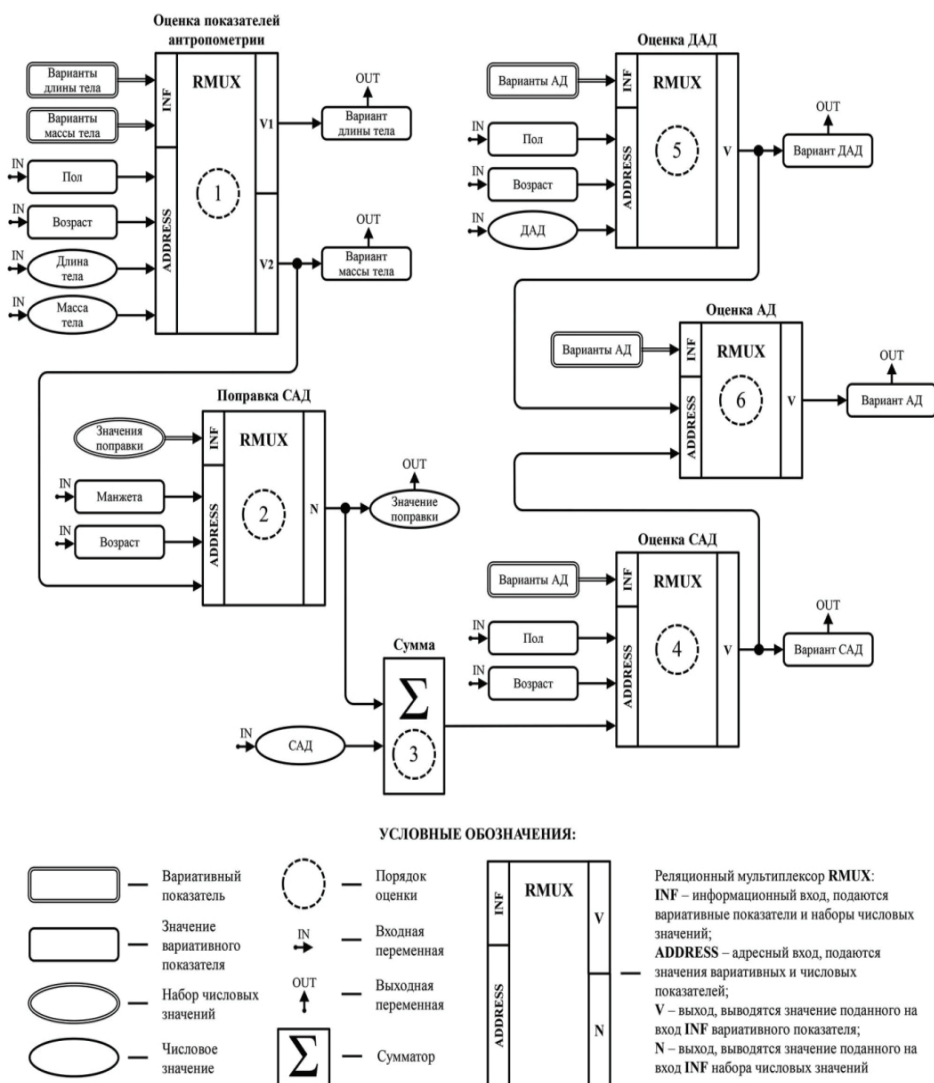


Рис. 2. Блок оценки показателей антропометрии и АД

знаний системы мониторинга является использование неограниченного количества элементов **RMUX** и показателей при неизменности пространства отношений, атрибутов и доменов. Таким образом, физическая модель базы данных должна сохраняться неизменной, меняться должно только ее наполнение.

В качестве примера использования элемента **RMUX** рассмотрим схему оценки показателей антропометрии и АД, которая представляет собой вычислительный блок (рис. 2).

Модели и алгоритмы работы **RMUX**

Атрибуты, домены и отношения, определяющие работу **RMUX**, показаны в табл. 4, 5. В качестве системы обозначений далее используется теория реляционных баз данных [11]. В общем виде структурная схема **RMUX** представлена на рис. 3.

Таблица 4

Атрибуты и домены RMUX

Атрибут, A	Домен, $\text{dom}(A)$
C – код строки таблицы соответствия	Множество целых чисел
M_C – код реляционного мультиплексора	
M – реляционный мультиплексор	Строка
V_C – код вариативного показателя	Множество целых чисел
V – вариативный показатель	Строка
V_{CV} – код значения вариативного показателя	Множество целых чисел
V_V – значение вариативного показателя	Строка
V_S – порядковый номер вариативного показателя	Множество целых чисел
V_R – направление вариативного показателя	1 (входной), 2 (выходной)
N_C – код числового показателя	Множество целых чисел
N – числовой показатель	Строка
N_{AT} – тип оценки числового показателя	1 (лимит снизу), 2 (лимит сверху)
N_S – порядковый номер числового показателя	Множество целых чисел
N_V – значение числового показателя	Множество вещественных чисел
N_R – направление числового показателя	1 (входной), 2 (выходной)

Таблица 5

Схемы отношений для работы RMUX

Отношение, I	Схема, $R(I)$
I_{RM} – реляционные мультиплексоры	$[\overline{M_C} \ M]$
I_{CT} – таблицы соответствия	$[\overline{C} \ M_C]$
I_{VI} – вариативные показатели	$[\overline{V_C} \ V]$
I_{VVI} – значения вариативных показателей	$[\overline{V_{CV}} \ V_C \ V_V]$
I_{RVI} – референтные вариативные показатели	$[C \ V_{CV}]$
I_{SVI} – последовательность вариативных показателей	$[M_C \ V_C \ V_S \ V_R]$
I_{NI} – числовые показатели	$[\overline{N_C} \ N]$
I_{RNI} – референтные числовые показатели	$[C \ N_C \ N_V]$
I_{SNI} – последовательность числовых показателей	$[M_C \ N_C \ N_S \ N_{AT} \ N_R]$

На информационный вход подаются отношения I_V и I_N , которые связывают значения вариативных и числовых показателей с кодами таблицы соответствия.

Отношения I_V и I_N формируются как соединения отношений (1) – (2), указанных в табл. 5:

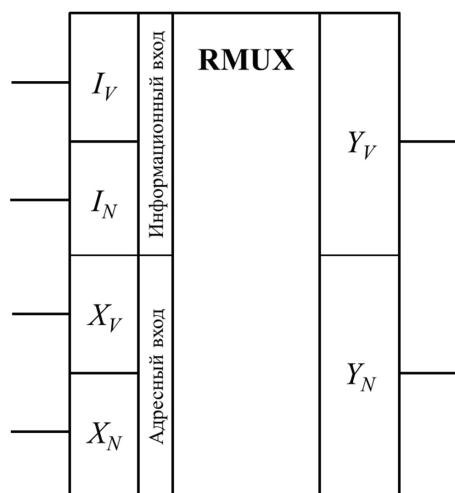


Рис. 3. Структурная схема RMUX

$$I_V = f_{CTV}(Z, m) = \sigma_{M_C=m}(I_{RM} \parallel I_{CT} \parallel I_{VI} \parallel I_{VVI} \parallel I_{RVI} \parallel I_{SVI}); \quad (1)$$

$$I_N = f_{CTN}(Z, m) = \sigma_{M_C=m}(I_{RM} \parallel I_{CT} \parallel I_{NI} \parallel I_{RNI} \parallel I_{SNI}), \quad (2)$$

где $Z = \{I_{RM}, I_{CT}, I_{VI}, I_{VVI}, I_{RVI}, I_{SVI}, I_{NI}, I_{RNI}, I_{SNI}\}$ – множество, определяющее реляционную модель; $\sigma_P(I)$ – операция выборки аппарата реляционной алгебры – возвращающее отношение, содержащее кортежи отношения I , удовлетворяющие условию предиката P ; $I_1 \parallel I_2$ – операция соединения отношений I_1 и I_2 из аппарата реляционной алгебры; m – код RMUX.

На адресный вход подаются отношения X_V и X_N с соответствующими схемами $[V_C \ V \ V_{CV} \ V_V]$ и $[N_C \ N \ N_{RV}]$ (N_{RV} содержит реальное значение числового показателя, $\text{dom}(N_{RV}) = \text{dom}(N_V)$, которые соответствуют реальным значениям вариативных и числовых показателей объекта оценки (например, задаются пользователем).

Схемы выходных отношений Y_V и Y_N соответственно $[V_C \ V \ V_{CV} \ V_V]$ и $[N_C \ N \ N_V]$. Кортежи выходных отношений определяются по формулам (3)–(4):

$$Y_V = F_V(I_V, I_N, X_V, X_N) = \pi_{V_C, V, V_{CV}, V_V} [f_R(I_V, 2) \parallel f_{RMUX}(f_R(I_V, 1), f_R(I_N, 1), X_V, X_N, f_{QV}(I_V, 1), f_{QN}(I_N, 1))]; \quad (3)$$

$$Y_N = F_N(I_V, I_N, X_V, X_N) = \pi_{N_C, N, N_V} [f_R(I_N, 2) \parallel f_{RMUX}(f_R(I_V, 1), f_R(I_N, 1), X_V, X_N, f_{QV}(I_V, 1), f_{QN}(I_N, 1))]; \quad (4)$$

где $\pi_W(I)$ – операция проекции аппарата реляционной алгебры, возвращающее отношение, содержащее атрибуты отношения I , указанные во множестве W ; $f_R(I, r)$ – функция (5), возвращающая кортежи отношения I со значением атрибута R , указывающего направление показателя: 1 (входной), 2 (выходной);

$f_{QV}(I_V, r)$ – функция (6), возвращающая количество вариативных показателей в отношении I_V со значением атрибута R ; $f_{QN}(I_N, r)$, возвращающая количество числовых показателей в отношении I_N со значением атрибута R ; $f_{RMUX}(I_V, I_N, X_V, X_N, k_V, k_N)$ – функция (8), возвращающая отношение I со схемой $[C]$ с единственным кортежем, кодом строки таблицы соответствия, который удовлетворяет реальным значениям показателей объекта оценки, содержащимся в отношениях X_V и X_N ;

$$f_R(I, r) = \sigma_{R=r}(I); \quad (5)$$

$$f_{QV}(I_V, r) = \text{count}[\text{distinct}(\pi_V(f_R(I_V, r)))]; \quad (6)$$

$$f_{QN}(I_N, r) = \text{count}[\text{distinct}(\pi_N(f_R(I_N, r)))], \quad (7)$$

где $\text{count}(I)$ – функция аппарата реляционной алгебры, возвращающая количество кортежей в отношении I ; $\text{distinct}(I)$ – функция аппарата реляционной алгебры, возвращающая отношение, исключающее дубликаты кортежей в отношении I ;

$$f_{RMUX}(I_V, I_N, X_V, X_N, k_V, k_N) = \begin{cases} \emptyset, & k_V = 0 \wedge k_N = 0; \\ f_N(I_N, X_N, k_N), & k_V = 0 \wedge k_N > 0; \\ f_V(I_V, X_V, k_V), & k_V > 0 \wedge k_N = 0; \\ f_N(I_N \parallel f_V(I_V \parallel X_V, k_V), X_N, k_N), & k_V > 0 \wedge k_N > 0, \end{cases} \quad (8)$$

где k_V, k_N – количество входных вариативных и числовых показателей соответственно; $f_V(I_V, X_V, k)$ – рекурсивная функция (9), возвращающая отношение I со схемой $[C]$, содержащее коды строк таблицы соответствия, которые удовлетворяют реальным значениям показателей объекта оценки, содержащимся в отношении X_V ; $f_N(I_N, X_N, k)$ – рекурсивная функция (10), возвращающая отношение I со схемой $[C]$, содержащее коды строк таблицы соответствия, которые удовлетворяют реальным значениям показателей объекта оценки, содержащимся в отношении X_N ;

$$f_V(I_V, X_V, k) = \begin{cases} \text{distinct}(\pi_C[\sigma_{V_S=k}(I_V \parallel X_V)]), & k = 1; \\ \text{distinct}(\pi_C[\sigma_{V_S=k}(I_V \parallel X_V \parallel f_V(I_V, X_V, k-1))]), & k > 1; \end{cases} \quad (9)$$

$$f_N(I_N, X_N, k) = \begin{cases} \text{distinct}(\pi_C[\sigma_{N_S=k \wedge N_V=f_A(I_N, X_N, k)}(I_N)]), & k = 1; \\ \text{distinct}(\pi_C[\sigma_{N_S=k \wedge N_V=f_A(I_N, X_N, k)}(I_N \parallel f_N(I_N, X_N, k-1))]), & k > 1, \end{cases} \quad (10)$$

где k – порядковый номер показателя; $f_A(I_N, X_N, k)$ – функция (11), возвращающая ближайшее снизу или сверху значение атрибута N_V к реальному значению числового показателя с порядковым номером k ;

$$f_A(I_N, X_N, k) = \begin{cases} \max[\pi_{N_V}(\sigma_{N_V \leq f_{RNV}(I_N, X_N, k) \wedge N_S=k}(I_N))], & f_{AT}(I_N, k) = 1; \\ \min[\pi_{N_V}(\sigma_{N_V \geq f_{RNV}(I_N, X_N, k) \wedge N_S=k}(I_N))], & f_{AT}(I_N, k) = 2, \end{cases} \quad (11)$$

где $f_{AT}(I_N, k)$ – функция (12), возвращающая тип оценки числового показателя N_{AT} с порядковым номером k ; $f_{RNV}(I_N, X_N, k)$ – функция (13), возвращающая реальное значение числового показателя с порядковым номером k из отношения X_N :

$$f_{AT}(I_N, k) = \text{distinct}(\pi_{N_{AT}}(\sigma_{N_S=k}(I_N))); \quad (12)$$

$$f_{RNV}(I_N, X_N, k) = \pi_{N_{RV}}[\sigma_{N_S=k}(\text{distinct}(\pi_{N_C, N_S}(I_N)) \parallel X_N)]. \quad (13)$$

Для редактирования таблицы соответствия RMUX необходимы специальные алгоритмы, которые позволяют произвести прямое и обратное преобразование реляционной модели Z в двумерный массив A . Предварительно необходимо определить несколько функций для доступа к данным конкретного RMUX по его коду m , направлению r и порядковому номеру s конкретного показателя (14) – (20).

Функция выборки строк таблицы соответствия

$$f_{CT}(Z, m) = \pi_C(\sigma_{M_C=m}(I_{CT})). \quad (14)$$

Функции определения количества вариативных и числовых показателей:

$$f_{CVI}(Z, m, r) = \text{count}(\sigma_{M_C=m \wedge V_R=r}(I_{SVI})); \quad (15)$$

$$f_{CNI}(Z, m, r) = \text{count}(\sigma_{M_C=m \wedge N_R=r}(I_{SNI})). \quad (16)$$

Функции выборки вариативных и числовых показателей:

$$f_{VI}(Z, m, r, s) = \pi_{V_C, V}(\sigma_{M_C=m \wedge V_R=r \wedge V_S=s}(I_{VI} \parallel I_{SVI})); \quad (17)$$

$$f_{NI}(Z, m, r, s) = \pi_{N_C, N}(I_{NI} \parallel I_{SNI}). \quad (18)$$

Функции выборки референтных значений вариативных и числовых показателей:

$$f_{RVI}(Z, m, r, s) = \pi_{V_C, V_V}(\sigma_{M_C=m \wedge V_R=r \wedge V_S=s}(I_{VVI} \parallel I_{RVI} \parallel I_{CT} \parallel I_{VI} \parallel I_{SVI})); \quad (19)$$

$$f_{RNI}(Z, m, r, s) = \pi_{N_C, N_V}(\sigma_{M_C=m \wedge N_R=r \wedge N_S=s}(I_{RNI} \parallel I_{CT} \parallel I_{NI} \parallel I_{SNI})). \quad (20)$$

Алгоритм преобразования реляционной модели Z в двумерный массив A показан на рис. 4.

Для обратного преобразования массива A после редактирования экспертом необходимо определить функции для изменения данных в реляционной модели Z (21) – (25).

Функции добавления новой строки таблицы соответствия

$$f_{ICT}(Z, m) = \text{ADD}(I_{CT}; C = \text{increment}(I_{CT}, C), M_C = m), \quad (21)$$

где $\text{ADD}(I; B_1 = b_1, \dots, B_n = b_n)$ – операция аппарата реляционной алгебры, осуществляющая добавление в отношение I кортежа, атрибутам B_1, \dots, B_n которого присваиваются соответственно значения b_1, \dots, b_n ; $\text{increment}(I, a)$ – функция аппарата реляционной алгебры, возвращающая значение ключевого атрибута a отношения I , увеличенное на единицу.

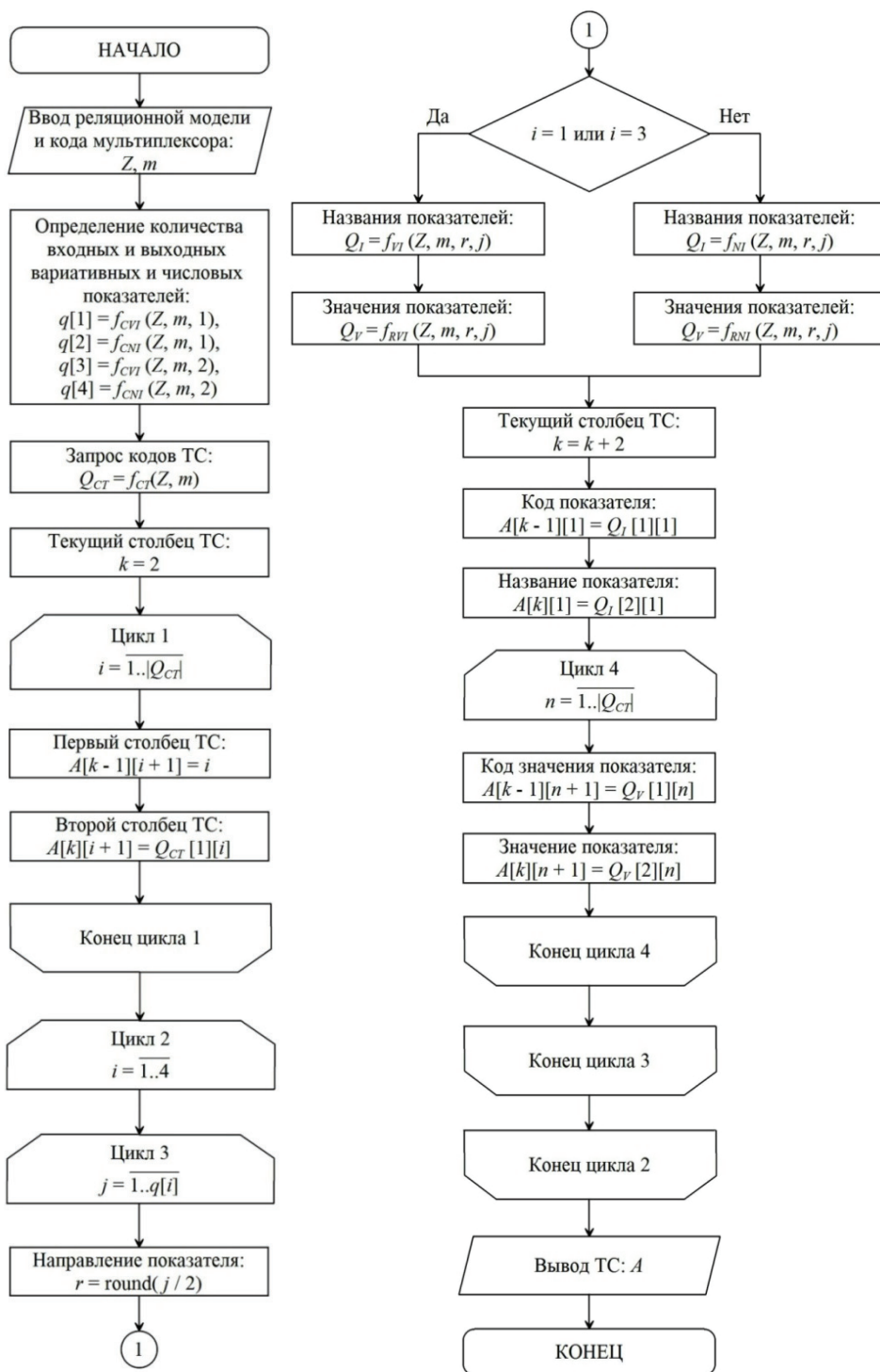


Рис. 4. Алгоритм преобразования реляционной модели в двумерный массив A
 (ТС – таблица соответствия, $|Q|$ – количество строк двумерного массива Q ,
 $\text{round}()$ – функция округления)

Функции добавления референтных значений вариативных и числовых показателей:

$$f_{IRVI}(Z, c, v) = \text{ADD}(I_{RVI}; C = c, V_{CV} = v); \quad (22)$$

$$f_{IRNI}(Z, c, n_C, n) = \text{ADD}(I_{RNI}; C = c, N_C = n_C, N_V = n). \quad (23)$$

Функции изменения референтных значений вариативных и числовых показателей:

$$f_{URVI}(Z, c, v_C, v) = \text{CH}(I_{RVI}; C = c, V_{CV} \in \pi_{V_{CV}}(\sigma_{V_C=v_C}(I_{RVI})); V_{CV} = v); \quad (24)$$

$$f_{URNI}(Z, c, n_C, n) = \text{CH}(I_{RNI}; C = c, N_C = n_C; N_V = n), \quad (25)$$

где $\text{CH}(I; B_1 = b_1, \dots, B_n = b_n; C_1 = c_1, \dots, C_m = c_m)$ – операция аппарата реляционной алгебры, осуществляющая изменение в отношении I кортежей, атрибутам C_1, \dots, C_m которых присваиваются соответственно значения c_1, \dots, c_m при соответствии значений атрибутов B_1, \dots, B_n значениям b_1, \dots, b_n .

Алгоритм обратного преобразования массива A в реляционную модель Z показан на рис. 5.

Программная реализация

Разработанное специализированное математическое и алгоритмическое обеспечение может быть реализовано на различных системах управления базами данных (СУБД) и языках программирования.

Подобно алгоритмам (см. рис. 4, 5) необходимо максимально отделить реляционную составляющую от клиентского программного обеспечения. Для этого предполагается использование хранимых процедур, которые существуют в большинстве современных СУБД. Каждая процедура соответствует одной из формул (1) – (25). Этот набор хранимых процедур представляет собой API системы.

В качестве примера использовалась СУБД MySQL версии 5.0. Выбор СУБД обусловлен ее распространенностью, а также реализацией системы мониторинга в виде прикладного и веб-приложения. Фрагмент физической модели базы данных, соответствующий реляционной модели (см. табл. 4, 5) показан на рис. 6.

Одним из недостатков MySQL при разработке оказалось то, что хранимые процедуры и функции могут возвращать только скалярные значения, а не набор данных, в отличие от таких СУБД, как Microsoft SQL Server и Oracle Database. Решением стало создание временных таблиц, которые создаются при расчете значений по формулам (1) – (13).

В качестве IDE использовалась среда Embarcadero C++ Builder 10 Seattle. Элемент базы знаний RMUX определен как отдельный класс, содержащий объект класса TStringGrid, используемый в качестве массива A . Алгоритмы (см. рис. 4, 5), реализованы соответственно методами Refresh и Save.

Редактор базы знаний в системе мониторинга здоровья детей состоит из 4 иерархически связанных инструментов (менеджеров):

- показателей;
- вычислительных элементов;
- вычислительных блоков;
- экспертных шаблонов.

В менеджер показателей эксперт заносит информацию по всем используемым вариативным и числовым показателям. Менеджер вычислительных элементов (рис. 7) служит для создания RMUX, арифметических операций, функций и логических операций. При создании RMUX указываются адресные и информа-

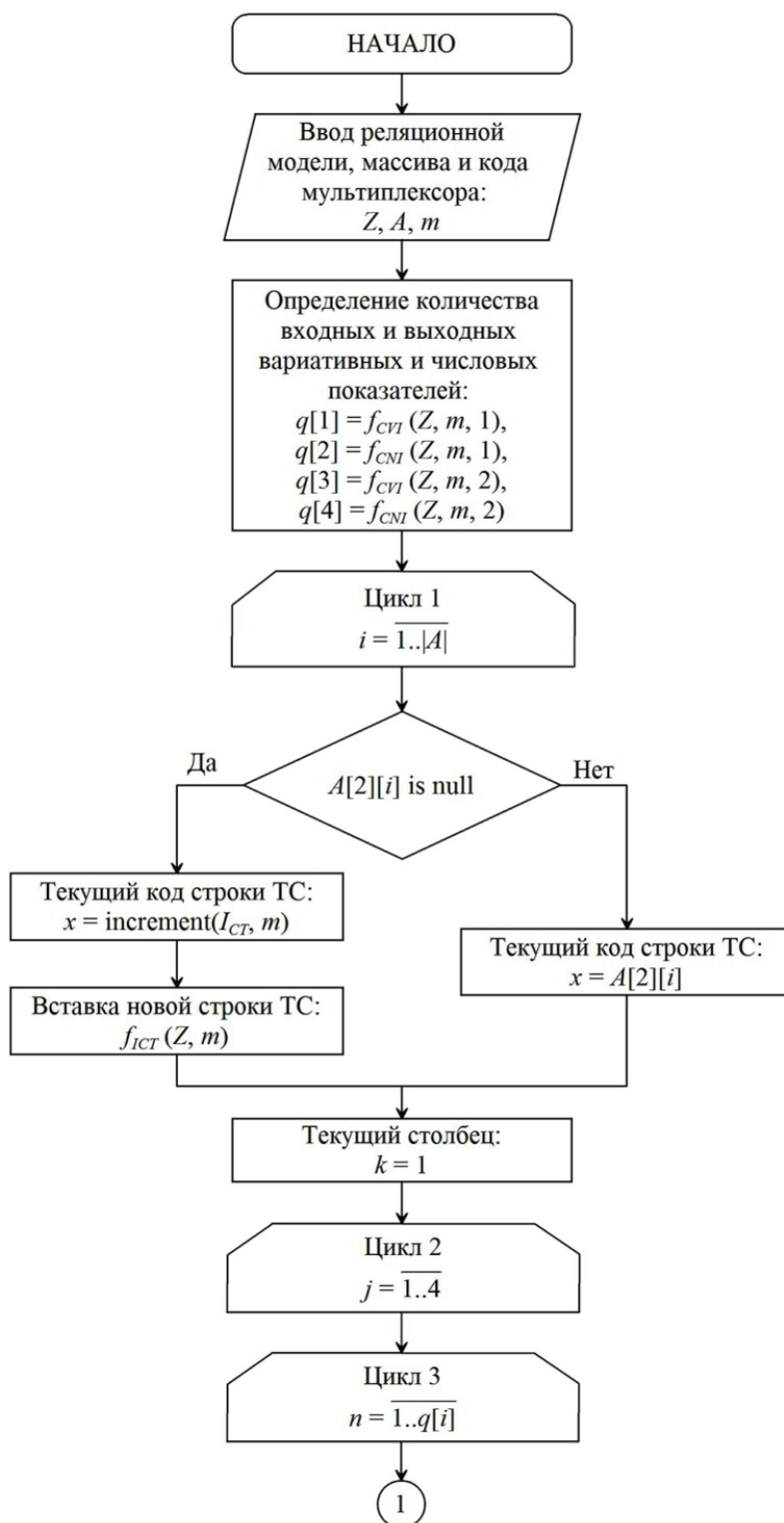


Рис. 5. Алгоритм преобразования двумерного массива A в реляционную модель (ТС – таблица соответствия, $|Q|$ – количество строк двумерного массива Q) (начало)

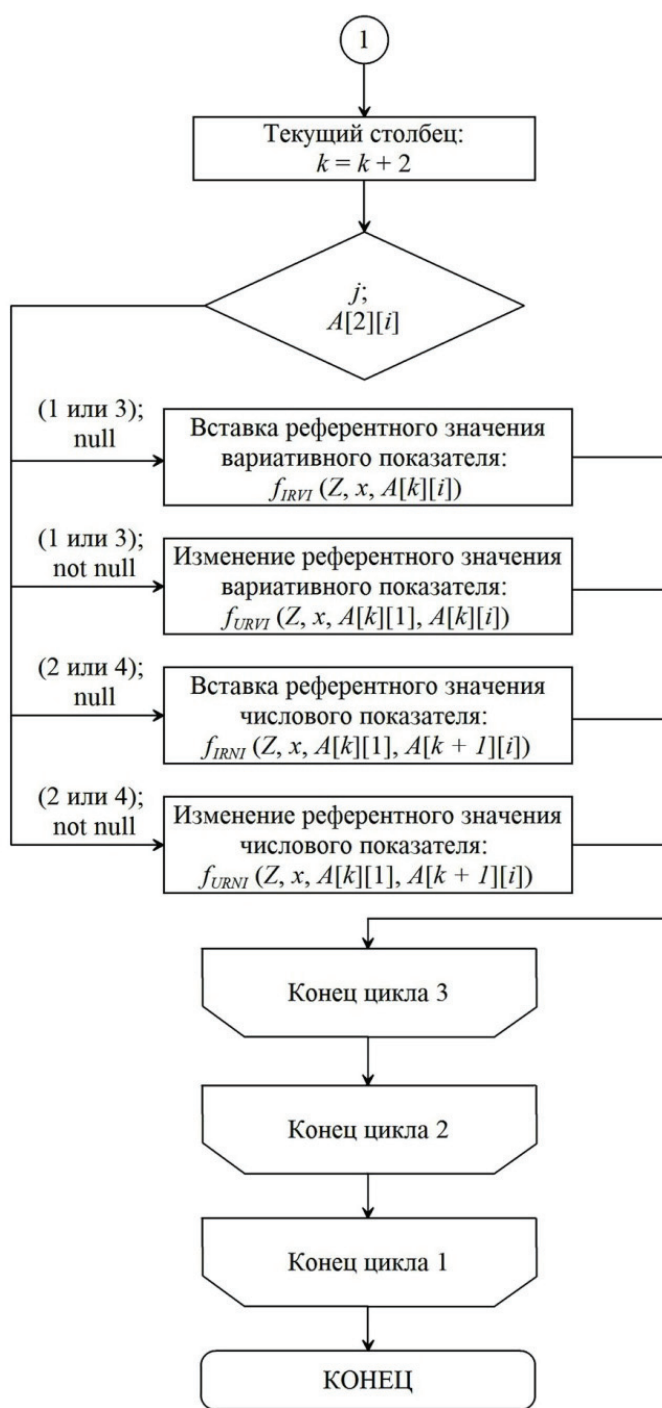


Рис. 5. Окончание

ционные вариативные и числовые показатели, после чего заполняется таблица соответствия RMUX (рис. 8). Редактор таблицы соответствия имеет функционал для автоматической генерации всех комбинаций вариативных показателей, дублирования строк для дальнейшего заполнения значений числовых показателей.

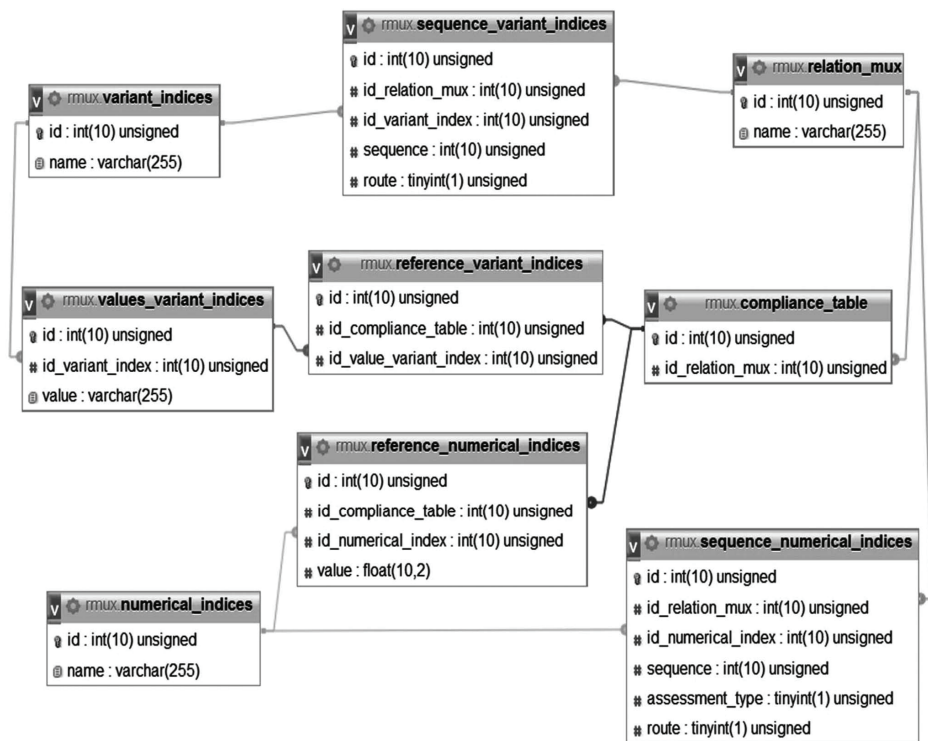


Рис. 6. Фрагмент физической модели базы данных

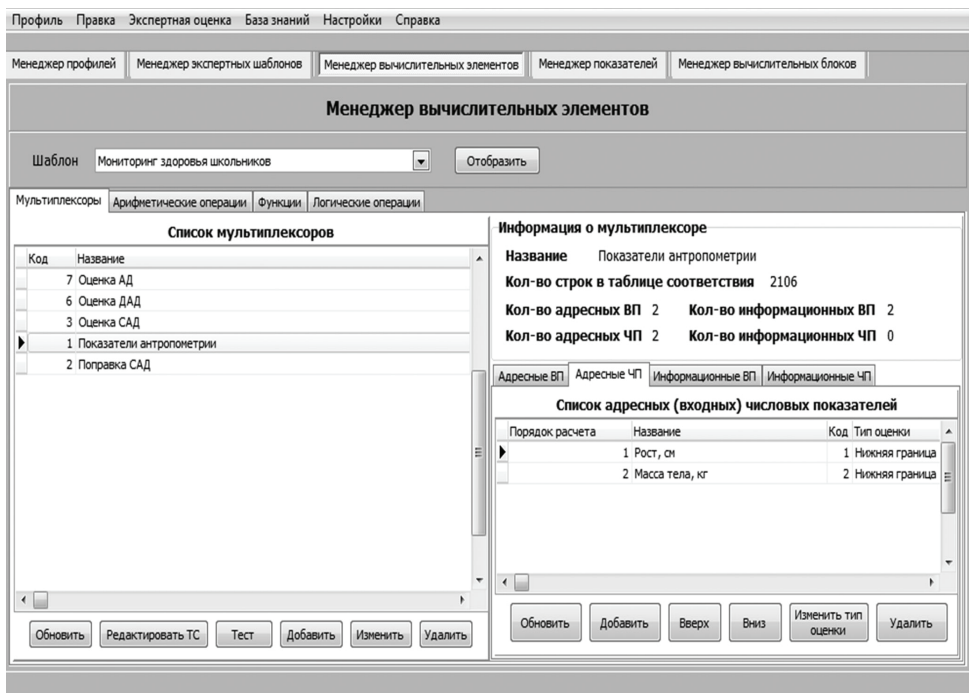


Рис. 7. Редактирование списка мультиплексоров
 (ТС – таблица соответствия; ВП – вариативный показатель; ЧП – числовой показатель)

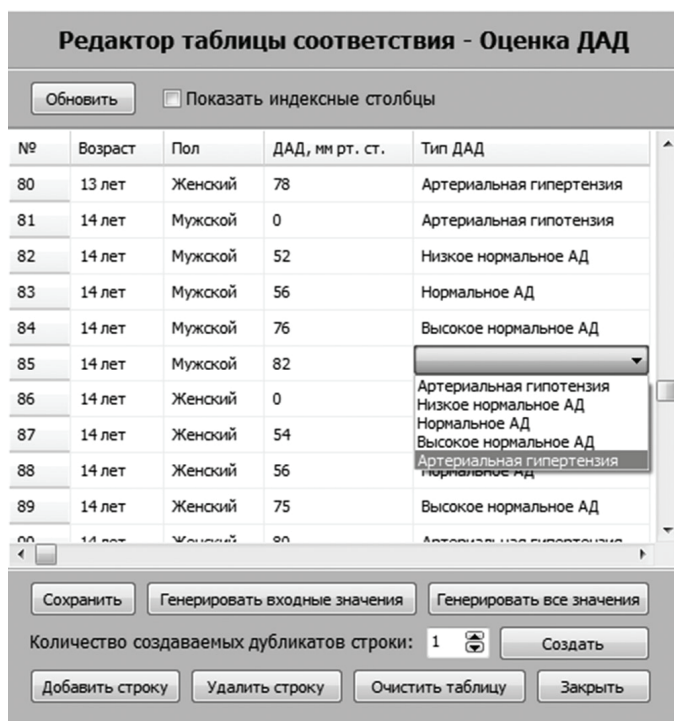


Рис. 8. Редактирование таблицы соответствия



Рис. 9. Оценка выходных значений

Менеджер вычислительных блоков служит для объединения созданных вычислительных элементов в единую схему с указанием последовательности вычисления. Результат работы вычислительного блока оценки показателей антропометрии и АД показан на рис. 9. Менеджер экспертных шаблонов служит для логического разделения показателей, вычислительных элементов и блоков, например, для оценки показателей здоровья по разным методикам.

Заключение

Рассмотрен подход к формированию базы знаний системы мониторинга здоровья детей с использованием нового структурного элемента, использующего принципы мультиплексирования и аппарата реляционной алгебры. Конкретная

реализация разработанных моделей и алгоритмов на СУБД MySQL повысила эффективность заполнения базы знаний в системе мониторинга, поскольку уменьшились временные и материальные затраты на переработку программного обеспечения.

Подобный подход в распределенной системе мониторинга на уровне региона позволяет проводить обновление только наполнения базы данных на рабочих местах, без изменения ее структуры. Таким образом, при изменении методик оценки показателей здоровья и расширении контингента обследуемых уменьшаются затраты на написание SQL-скриптов, переработку клиентского программного обеспечения и миграцию данных.

В дальнейшем разработанные модели и алгоритмы могут быть использованы в различных областях, например, в оценке качества товаров и услуг, социологических исследованиях и анализе эффективности работы персонала.

Список литературы

1. Галактионова, М. Ю. Анализ заболеваемости подростков с использованием автоматизированного комплекса диспансерных осмотров / М. Ю. Галактионова, Н. В. Лисихина // Российский педиатрический журнал. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 249 – 250.

2. The Role of Sociodemographic, Psychosocial, and Behavioral Factors in the Use of Preventive Healthcare Services in Children and Adolescents: Results of the KiGGS Wave 2 Study / P. Bammert, W. Schüttig, I. Iashchenko [et al.] // BMC Pediatrics. – 2024. – Vol. 24, No. 1. – Art. 146. – P. 1 – 12. doi: 10.1186/s12887-024-04650-0

3. Impact of a voluntary industry code for advertising food to children and young people: an analysis of New Zealand television data / S. Shen, S. Mackay, A. Lee, C. N. Mhurchu, A. Sherif, H. Eyles // Public Health Nutrition. – 2022. – Vol. 25, No. 5. – P. 1384 – 1394. doi: 10.1017/S1368980021004705

4. Frolov, S. V. Automated Information System for Monitoring Health of Schoolchildren / S. V. Frolov, M. A. Lyadov, S. A. Loskutov // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49, No. 1. – P. 1 – 6. doi: 10.1007/s10527-015-9484-z

5. Фролов, С. В. Экспертная система оценки физического развития ребенка на основе аппарата реляционной алгебры / С. В. Фролов, М. А. Лядов, О. А. Остапенко // Биотехносфера. – 2013. – № 6(30). – С. 28 – 39.

6. Multiplexing and Demultiplexing Logic Functions for Computing Signal Processing Tasks in Synthetic Biology / L. Pasotti, M. Quattrocchi, D. Galli, M. G. Angelis, P. Magni // Biotechnology Journal. – 2011. – Vol. 6, No. 7. – P. 784 – 795. doi: 10.1002/biot.201100080

7. Liu, S. Boosting Twin Joins in Probabilistic XML / S. Liu, G. Wang // Database and Expert Systems Applications. 22nd Intern. Conf., DEXA 2011, Toulouse, France, August 29 – September 2, 2011, Proceedings, Part II. – 2011. – P. 51 – 58. doi: 10.1007/978-3-642-23091-2_5

8. Mining Frequent Disjunctive Selection Queries / I. Hilali-Jaghdam, T.-Y. Jen, D. Laurent, S. B. B. Yahia // Database and Expert Systems Applications. 22nd Intern. Conf., DEXA 2011, Toulouse, France, August 29 – September 2, 2011, Proceedings, Part II. – 2011. – P. 90 – 96. doi: 10.1007/978-3-642-23091-2_8

9. Блочный-иерархический подход для построения базы знаний информационной системы мониторинга состояния головного мозга человека / С. В. Фролов, А. В. Горбунов, М. А. Лядов, С. Г. Фареев // Информационные технологии. – 2011. – № 12. – С. 54 – 58.

10. Bessmertny, I. A. On Constructing Intellectual Systems in Ternary Logic / I. A. Bessmertny // Programming and Computer Software. – 2014. – Vol. 40, No. 1. – P. 43 – 46.

11. Maier, D. The Theory of Relational Databases / D. Maier. – Rockville, Md.: Computer Science Press, 1983. – 637 p.

Using a Relational Multiplexer in Object Parameter Estimation Problems: a Case Study of Children's Health Monitoring Indicators

© S. V. Frolov¹✉, M. A. Lyadov², T. A. Frolova¹

¹ Department of Biomedical Engineering, sergej.frolov@gmail.com; TSTU, Tambov, Russian Federation;

² Development Department, Okey-Telecom LLC, Moscow, Russian Federation

Keywords: knowledge bases; information systems; health monitoring; multiplexer; relational algebra; expert systems.

Abstract: The article considers general issues of children's health monitoring, analyzes data used to assess health indicators in a regional monitoring system, which made it possible to identify the main types of indicators and their interdependencies. A number of well-known information systems and projects are presented: AKDO (Russia), KiGGS (Germany), IDI (New Zealand), and others, which are used for this monitoring. The article presents the automated information system "Children's Health" schoolchildren's health information system developed by the authors and implemented in the Tambov region. A method for assessing health indicators using the principles of multiplexing and the apparatus of relational algebra is proposed. As an example, a scheme for assessing anthropometry and blood pressure indicators is shown using the developed method based on a relational multiplexer. Models and algorithms implementing the proposed method have been developed, which can be used when creating on various database management systems and software platforms. The software implementation of a knowledge base editor is presented, which allows for a reduction in the time and material costs of upgrading a distributed information monitoring system when changing assessment methods and expanding the contingent of subjects.

References

1. Galaktionova M.Yu., Lisikhina N.V. [Analysis of adolescent morbidity using an automated complex of clinical examinations], *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal* [Russian Pediatric Journal], 2021, vol. 24, no. 4, pp. 249-250. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Bammert P., Schüttig W., Iashchenko I. [et al.] The Role of Sociodemographic, Psychosocial, and Behavioral Factors in the Use of Preventive Healthcare Services in Children and Adolescents: Results of the KiGGS Wave 2 Study, *BMC Pediatrics*, 2024, vol. 24, no. 1, art. 146, pp. 1-12. doi: 10.1186/s12887-024-04650-0
3. Shen S., Mackay S., Lee A., Mhurchu C.N., Sherif A., Eyles H. Impact of a voluntary industry code for advertising food to children and young people: an analysis of New Zealand television data, *Public Health Nutrition*, 2022, vol. 25, no. 5, pp. 1384-1394. doi: 10.1017/S1368980021004705
4. Frolov S.V., Lyadov M.A., Loskutov S.A. Automated Information System for Monitoring Health of Schoolchildren, *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, no. 1, pp. 1-6. doi: 10.1007/s10527-015-9484-z

5. Frolov S.V., Lyadov M.A., Ostapenko O.A. [Expert system for assessing the physical development of a child based on the apparatus of relational algebra], *Biotekhnosfera* [Biotechnosphere], 2013, no. 6(30), pp. 28-39. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Pasotti L., Quattrocchi M., Galli D., Angelis M.G., Magni P. Multiplexing and Demultiplexing Logic Functions for Computing Signal Processing Tasks in Synthetic Biology, *Biotechnology Journal*, 2011, vol. 6, no. 7, pp. 784-795. doi: 10.1002/biot.201100080
7. Liu S., Wang G. Boosting Twin Joins in Probabilistic XML, *Database and Expert Systems Applications. 22nd Intern. Conf., DEXA 2011*, Toulouse, France, August 29 – September 2, 2011, Proceedings, Part II, 2011, pp. 51-58. doi: 10.1007/978-3-642-23091-2_5
8. Hilali-Jaghdam I., Jen T.-Y., Laurent D., Yahia S.B.B. Mining Frequent Disjunctive Selection Queries, *Database and Expert Systems Applications. 22nd Intern. Conf., DEXA 2011*, Toulouse, France, August 29 – September 2, 2011, Proceedings, Part II, 2011, pp. 90-96. doi: 10.1007/978-3-642-23091-2_8
9. Frolov S.V., Gorbunov A.V., Lyadov M.A., Farea S.G. [Block-hierarchical approach for building a knowledge base for an information system for monitoring the state of the human brain], *Informatsionnyye tekhnologii* [Information Technology], 2011, no. 12, pp. 54-58. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Bessmertny I.A. On Constructing Intellectual Systems in Ternary Logic, *Programming and Computer Software*, 2014, vol. 40, no. 1, pp. 43-46.
11. Maier, D. *The Theory of Relational Databases*, Rockville, Md.: Computer Science Press, 1983, 637 p.
-

Einsatz eines relationalen Multiplexers bei Problemen der Objektparameterbeurteilung: ein Beispiel zur Überwachung von Gesundheitsindikatoren bei Kindern

Zusammenfassung: Der Artikel befasst sich mit allgemeinen Fragen der Kindergesundheitsüberwachung und analysiert Daten zur Bewertung von Gesundheitsindikatoren in einem regionalen Überwachungssystem. Dadurch konnten die wichtigsten Indikatortypen und ihre Wechselwirkungen identifiziert werden. Es sind einige bekannte Informationssysteme und Projekte vorgestellt: AKDO (Russland), KiGGS (Deutschland), IDI (Neuseeland) und weitere, die für diese Art der Überwachung eingesetzt werden. Der Artikel präsentiert das von den Autoren entwickelte und in der Region Tambow implementierte automatisierte Informationssystem AIS „Kindergesundheit“ für Schulkinder. Es ist eine Methode zur Bewertung von Gesundheitsindikatoren unter Anwendung der Prinzipien des Multiplexing und der relationalen Algebra vorgeschlagen. Als Beispiel ist ein Schema zur Bewertung anthropometrischer und Blutdruckindikatoren mithilfe der entwickelten Methode auf Basis eines relationalen Multiplexers gezeigt. Es sind Modelle und Algorithmen zur Implementierung der vorgeschlagenen Methode entwickelt, die bei der Erstellung auf verschiedenen Datenbankmanagementsystemen und Softwareplattformen verwendet werden können. Der Artikel stellt eine Software-Implementierung eines Wissensdatenbank-Editors vor, der eine Reduzierung des Zeit- und Materialaufwands für die Aktualisierung des verteilten Informationsüberwachungssystems ermöglicht, wenn die Bewertungsmethoden geändert und die Anzahl der befragten Personen erweitert wird.

Utilisation d'un multiplexeur relationnel pour évaluer les paramètres d'un objet à l'aide d'indicateurs de la santé des enfants

Résumé: Sont examinées les questions générales de surveillance de la santé des enfants. Sont analysées les données utilisées pour évaluer les indicateurs de la santé dans le cadre régional de la surveillance, ce qui a permis d'identifier les principaux types d'indicateurs et leurs dépendances. Sont présentés les systèmes et les projets d'information connus: AKDO (Russie), KiGGS (Allemagne), IDI (nouvelle-Zélande) et d'autres qui sont utilisés pour cette surveillance. Le système d'information sur la santé des écoliers de système d'information automatisé «santé des enfants», mis au point par les auteurs et mis en œuvre dans la région de Tambov. Est proposé un moyen d'évaluer les indicateurs de la santé en utilisant les principes du multi-plexage et de l'algèbre relationnelle. À titre d'exemple, est présenté un schéma d'évaluation de l'anthropométrie et de la pression artérielle utilisant une méthode développée basée sur un multiplexeur relationnel. Sont mis au point des modèles et des algorithmes pour mettre en œuvre la méthode proposée, qui peut être utilisée lors de la création sur différents systèmes de gestion de bases de données et plates-formes logicielles. Le logiciel de l'éditeur de la base de connaissances permet de réduire le temps et les coûts matériels nécessaires à la mise au niveau du système d'information distribué de surveillance tout en modifiant les méthodes d'évaluation et en élargissant le nombre de personnes interrogées.

Авторы: *Фролов Сергей Владимирович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация; *Лядов Максим Алексеевич* – кандидат технических наук, руководитель отдела разработки, ООО «Окей-Телеком», Москва, Российская Федерация; *Фролова Татьяна Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация.