

ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ БИНАРНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ С ПОСТОЯННЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Атрощенко В. А., Усатилов С. В., Дьяченко Р. А., Тишковский Д. В.

*ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет, Краснодар
Россия (350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2А) emessage@rambler.ru*

В качестве критериев эффективности в задаче синтеза оптимальных логических структур распределённых баз данных (РБД) и локальных баз метаданных (ЛБМД) рассмотрены минимумы: общего времени последовательной обработки множества запросов; транзакций; общего суммарного времени запросов и транзакций. Соответствующие постановки задач оптимизации являются нелинейными задачами целочисленного программирования и включают целевые функции из композиций: линейных форм с бинарными функциями от взвешенных скалярных произведений искомых аргументов; квадратичных форм в сумме с линейными. Предложена целевая функция сбалансированной оптимизации по времени выполнения как запросов, так и транзакций. Для случая постоянных временных характеристик РБД получены эффективные точные и приближённые аналитические решения сформулированных задач, обеспечивающие получение рекомендаций структурного построения информационной системы и необходимых для неё баз данных.

Ключевые слова: распределённая база данных, целочисленное бинарное программирование, оптимизация.

OPTIMAL SOLUTIONS OF NONLINEAR PROBLEMS IN BINARY PROGRAMMING DISTRIBUTED DATABASE WITH A TIME CONSTANT CHARACTERISTICS

Atroschenko V. A., Usatkov S. V., Djachenko R. A., Tishkovskiy D. V.

Kuban State Technological University, Krasnodar, (350072, Krasnodar, Moskovskaya street, 2A) emessage@rambler.ru

As the performance criteria in the design of optimal logical structures of the distributed database (RDB) and local databases of metadata (LBMD) considered lows: the total time to process through a set of queries, transactions, total cumulative time queries and transactions. Appropriate setting of optimization are nonlinear integer programming problems and include the objective functions of the tracks: linear forms with binary functions from weighted scalar products of the required arguments, in the sum of quadratic forms with linear. Proposed objective function is balanced by the run-time optimization of both inquiries and transactions. In the case of permanent timing of DDB get effective exact and approximate analytical solutions defined objectives that will ensure the recommendations of the structural construction of an information system and are necessary for its databases.

Key words: distributed database, binary integer programming, optimization.

Введение

Обеспечение предприятий информационными ресурсами обычно сводится к задаче синтеза оптимальных логических структур распределённых баз данных (РБД). Синтез оптимальной логической структуры РБД рассматривается как процесс поиска оптимального варианта отображения канонической структуры РБД в логическую, обеспечивающего оптимальное значение заданного критерия функционирования корпоративных информационных систем и удовлетворяющего основным системным, сетевым и структурным ограничениями [3, 4]. При отображении канонической структуры в логическую группы данных объединяются в типы логических записей с одновременным распределением их и локальных баз метаданных (ЛБМД) репозитария по узлам ВС. Сложность решения задач син-

теза определяется их большой трудоемкостью, связанной с необходимостью учета большого числа параметров и характеристик хранимой в РБД и ЛБМД репозитария информации, запросов и транзакций [3, 4].

Логическая структура РБД и структура размещения БМД репозитария должны обеспечивать сохранение семантических свойств информационных элементов и связей между ними, зафиксированных в канонической структуре РБД с учетом ограничений, накладываемых параметрами СУРБД и локальных СУБД, аппаратных средств передачи данных, топологией ВС и требованиями различных режимов функционирования корпоративных информационных систем.

В качестве одного из основных критериев эффективности используются минимумы: общего времени последовательной обработки множества запросов; транзакций; общего суммарного времени запросов и транзакций. Задачи синтеза оптимальных логических структур РБД и БМД являются нелинейными задачами целочисленного программирования, относящиеся к классу NP-сложных. Разработаны и известны точные и приближённые алгоритмы их численного решения [3,4].

Соответствующие постановки задач оптимизации являются нелинейными задачами целочисленного программирования и включают целевые функции из композиций: линейных форм с бинарными функциями от взвешенных скалярных произведений искомых аргументов; квадратичных форм в сумме с линейными. В работе предложена целевая функция сбалансированной оптимизации по времени выполнения как запросов, так и транзакций. Анализ комбинаторных особенностей сформулированных задач в одном из практически важных частных случаев, проведённый в данной работе, позволил получить их эффективные точные и приближённые аналитические решения, в явном виде как способ прямого заполнения матриц искомых аргументов.

Постановка задач оптимизации

Задача синтеза по критерию минимума общего времени последовательного выполнения множества транзакций формулируется следующим образом [3]:

$$\min_{\{x_{it}, y_{tr}, Y_{jr}\}} \sum_{k=1}^{K_0} \sum_{s=1}^{S_0} \xi_{ks}^k \varphi_{ks}^k \left\{ \sum_{r1=1}^{R_0} v_{kr1} \left[\sum_{r3=1}^{R_0} (1 - z_{sr3}^M \delta_{sr1}^k) (t^n + t_{r1r3}^{pen}) + \sum_{r2=1}^{R_0} z_{sr2} (t^{pas} + t_{r1r2}^{cep} + t_{r1r2}^{nep}) \right] + \sum_{r2=1}^{R_0} \sum_{t=1}^{t_0} z_{sr2}^t (t_{r2}^n + t_{r2} + 2t_s^\phi) \right\}, \quad (1)$$

где переменная z_{sr2} определяет множество узлов-серверов ЛБД, к которым обращается s-транзакция:

$$z_{sr2} = 1, \text{ если } \sum_{t=1}^{t_0} \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{si}^k x_{it} \geq 1; \quad z_{sr2} = 0, \text{ если } \sum_{t=1}^{t_0} \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{si}^k x_{it} = 0;$$

переменная $z^{t_{sr2}}$ определяет...:

$$z^{t_{sr2}} = 1, \text{ если } \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{si}^k x_{it} \geq 1; \quad z^{t_{sr2}} = 0, \text{ если } \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{si}^k x_{it} = 0;$$

переменная $z^{M_{sr3}}$ определяет...:

$$z^{M_{sr3}} = 1, \text{ если } \sum_{j=1}^J Y_{jr3} w_{sj}^M \geq 1; \quad z^{M_{sr3}} = 0, \text{ если } \sum_{j=1}^J Y_{jr3} w_{sj}^M = 0.$$

Аргументами целевой функции (1) являются координаты бинарного вектора, но для удобства трактовки они сгруппированы в 3 бинарных матрицы x_{it} , y_{tr2} и Y_{jr3} , суть которых следующая: x_{it} – включена ли группа данных в логическую запись, y_{tr2} – размещена ли логическая запись на сервере узла ВС, Y_{jr3} – располагается ли ЛБМД репозитория на сервере узла ВС. Заметим, что целевая функция (1) является композицией линейной формы с бинарными функциями от взвешенных скалярных произведений искомым аргументов.

Для задачи синтеза оптимальной логической структуры РБД на ряде предприятий некоторые технические характеристики, например, временные t можно считать константами [1,2], и вид целевой функции (1) упрощается следующим образом:

$$F(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3}) = F_A(Y_{jr3}) + F_B(x_{it}, y_{tr}) + F_C(x_{it}, y_{tr}), \quad (2)$$

$$F_A(Y_{jr3}) = A \cdot \sum_k \left[\sum_s \left[\xi_{ks}^k \varphi_{ks}^k \cdot \sum_{r1} \left[v_{kr1} \cdot \sum_{r3} \left[1 - \delta_{sr1}^k \cdot f \left[\sum_{j=1}^J Y_{jr3} w_{sj}^M \right] \right] \right] \right] \right];$$

$$F_B(x_{it}, y_{tr}) = B \cdot \sum_k \left[\sum_s \left[\xi_{ks}^k \varphi_{ks}^k \cdot \sum_{r1} \left[v_{kr1} \cdot \sum_{r2} \left[f \left[\sum_{t=1}^{t_0} \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{si}^k x_{it} \right] \right] \right] \right] \right];$$

$$F_C(x_{it}, y_{tr}) = C \cdot \sum_k \left[\sum_s \left[\xi_{ks}^k \varphi_{ks}^k \cdot \sum_{r2} \left[\sum_t f \left[\sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{si}^k x_{it} \right] \right] \right] \right];$$

где $f(x)$ – бинарная функция ступенчатая функция от взвешенного скалярного произведения соответствующих строк и столбцов матриц аргументов;

$A = t_{r1r2}^{\text{пер}} + t_{r1r3}^{\text{пер}}$; $B = t^{\text{раз}} + t_{r1r2}^{\text{сеп}} + t_{r1r3}^{\text{реп}}$; $C = t^n + t_{r2} + t_s^\Phi$ – постоянные временные характеристики РБД.

Полная постановка задачи оптимизации приведена в [3]. В соответствии с принятыми ограничениями в структуре построения ИС, практически важных частных случаев существенными являются только три [1,2]:

В матрице x_{it} в каждой строке только одна 1, остальные 0, что определяет структуру используемых БД.

В матрице x_{it} в каждом столбце не более чем Ft единиц, что определяет ограничение по структуре БД.

В матрице y_{tr2} в каждой строке не менее одной 1 и не более $k_{копт}$ штук 1, остальные 0, что определяет необходимое количество копий $K_t^{коп}$ на используемых вычислительных узлах y_{tr2} .

Тогда решение поставленной задачи будет заключаться в поиске таких матриц x_{it} , y_{tr2} и Y_{jr3} , при которых целевая функция (2) достигает минимума при указанных ограничениях. Это нелинейная задача целочисленного (бинарного, логического, булевого) программирования, относящаяся к классу NP-сложных.

Задача синтеза по критерию минимума общего времени последовательного выполнения множества запросов имеет следующую целевую функцию [2]:

$$\min_{\{x_{it}, y_{tr2}, Y_{jr3}\}} \sum_{k=1}^{K_0} \sum_{p=1}^{P_0} \xi_{кр}^3 \Phi_{кр}^3 \left\{ \sum_{r1=1}^{R_0} v_{kr1} \left[\sum_{r3=1}^{R_0} (1 - z_{pr3}^M \delta_{pr1}^3) (t^n + t_{r1r3}^{pen}) + \sum_{r2=1}^{R_0} z_{pr2} (t^{раз} + t_{r1r2}^{cep} + t_{r1r2}^{nep} (1 + \sum_{t=1}^{t_0} z_{pr2}^t)) + t^{сб} \right] + \sum_{r2=1}^{R_0} \sum_{t=1}^{t_0} z_{pr2}^t (t_{r2}^n + t_{r2}) \right\}, \quad (3)$$

где переменная z_{pr2} определяет:

$$z_{pr2} = 1, \text{ если } \sum_{t=1}^{t_0} \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{pi}^3 x_{it} \geq 1; \quad z_{pr2} = 0, \text{ если } \sum_{t=1}^{t_0} \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{pi}^3 x_{it} = 0;$$

переменная z_{pr2}^t определяет:

$$z_{pr2}^t = 1, \text{ если } \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{pi}^3 x_{it} \geq 1; \quad z_{pr2}^t = 0, \text{ если } \sum_{i=1}^I y_{tr2} w_{pi}^3 x_{it} = 0;$$

переменная z_{pr3}^M определяет...:

$$z_{pr3}^M = 1, \text{ если } \sum_{j=1}^J Y_{jr3} w_{pj}^M \geq 1; \quad z_{pr3}^M = 0, \text{ если } \sum_{j=1}^J Y_{jr3} w_{pj}^M = 0,$$

при указанных выше ограничениях. Заметим, что целевая функция (3) является композицией квадратичной и линейной форм с бинарными функциями от взвешенных скалярных произведений искомых аргументов.

Аналогично (2), вид целевой функции упрощается:

$$F(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3}) = F_D(Y_{jr3}) + F_E(x_{it}, y_{tr}) + F_G(x_{it}, y_{tr}), \quad (4)$$

$$F_D(Y_{jr3}) = D \cdot \sum_k \left[\sum_p \left[\xi_{kp}^3 \varphi_{kp}^3 \cdot \left[\sum_{r1} \left[v_{kr1} \cdot \left[\sum_{r3} \left[1 - \delta_{pr1}^3 \cdot f \left[\sum_{j=1}^J Y_{jr3} W_{pj}^M \right] \right] \right] \right] \right] \right] \right];$$

$$F_E(x_{it}, y_{tr}) = \sum_k \left[\sum_p \left[\xi_{kp}^3 \varphi_{kp}^3 \cdot \left[\sum_{r1} \left[v_{kr1} \cdot \left[E + \sum_{r2} \left[f \left[\sum_{t=1}^{t_0} \sum_{i=1}^I y_{tr2} W_{pi}^3 x_{it} \right] \right] \right] \right] \right] \right] \cdot \left[H + P \cdot \left[1 + \right. \right.$$

$$\left. \sum_t f \left[\sum_{i=1}^I y_{tr2} W_{pi}^3 x_{it} \right] \right] \right];$$

$$F_G(x_{it}, y_{tr}) = G \cdot \sum_k \left[\sum_p \left[\xi_{kp}^3 \varphi_{kp}^3 \cdot \left[\sum_{r2} \left[\sum_t f \left[\sum_{i=1}^I y_{tr2} W_{pi}^3 x_{it} \right] \right] \right] \right] \right];$$

где $D = t_{r1r2}^{nep} + t_{r1r3}^{nep}$; $H = t_s^\Phi + t_{r1r2}^{cep}$; $P = t_{r1r2}^{nep}$; $E = t_s^\Phi$; $G = t^n + t_{r2} + t_s^\Phi$ – постоянные временные характеристики РБД.

Если необходима оптимизация сразу и по транзакциям, и по запросам, то для задачи синтеза оптимальной логической структуры РБД возможно применение суммы целевых функций (2) и (4):

$$F(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3}) = F_{зап}(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3}) + F_{транз}(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3}). \quad (5)$$

Выражение (5) обладает тем недостатком, что слагаемые могут оказаться разного масштаба; соответственно оптимизированным будет либо только время запросов, либо только время транзакций. Для предупреждения этого можно нормировать каждое слагаемое (5):

$$F(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3}) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{F_{зап}(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3})}{F_{min_z}} + \frac{F_{транз}(x_{it}, y_{tr}, Y_{jr3})}{F_{min_tr}} \right), \quad (6)$$

где F_{min_z} – абсолютный минимум (4), F_{min_tr} – абсолютный минимум (2), достигаемые при значениях $x_{it} \equiv 0$, $y_{tr} \equiv 0$ и $Y_{jr3} \equiv 1$.

Алгоритм аналитического решения.

Общий точный (и приближённый) численный алгоритм решения (методом ветвей и границ) изложен в [3, 4]. Для задач (2) и (4) – а также (5) или (6) – синтеза оптимальной логической структуры РБД, с учётом рассматриваемых ограничений в данном случае, решение

может быть получено в явном аналитическом виде как способ прямого заполнения матриц искомых аргументов x_{it} , u_{tr2} и Y_{jr3} . Это решение определяется следующими выводами.

1) Целевая функция (2) линейна по переменным z_{Msr3} , z_{sr2} и z_{tsr2} , а целевая функция (4) – и соответственно (5) или (6) – квадратична по переменным z_{Mpr3} , z_{pr2} и z_{tpr2} , которые в свою очередь нелинейно определяются независимыми аргументами x_{it} , u_{tr2} и Y_{jr3} . Ясно, что все z_{Msr3} и z_{Mpr3} , полностью определяемые только Y_{jr3} , для синтеза без ограничений должны быть равны 1, т.к. только они вычитаются, а все остальные добавляются. Это возможно только при матрице Y_{jr3} , все элементы которой 1, что определяет размещение ЛБМд на всех узлах.

2) Для идеальной системы без ограничений все z_{sr2} и z_{tsr2} , а также все z_{pr2} и z_{tpr2} , должны быть равны 0. Но это невозможно из-за ограничений, поэтому нулевых должно быть как можно больше. Причём тех, чьи весовые коэффициенты в целевой функции (2) или (4) максимальны.

Таким образом, необходимо обнулить как можно больше z_{sr2} и z_{tsr2} , z_{pr2} и z_{tpr2} , это возможно только двумя способами с помощью независимых аргументов x_{it} и u_{tr2} . Первый – с помощью пар произведений $x_{it} \cdot u_{tr2}$, т.е. как можно меньше должно быть тех индексов t , при которых есть 1 как в x_{it} , так и в u_{tr2} . Ясно, что при заданном F_t таких столбцов с 1 в x_{it} минимум $(I = F_t) + 1$ штук, где I – количество групп данных. Второй – с помощью обнуления скалярного произведения столбцов матриц w_{ksi} или w_{zpi} на строки матрицы x_{it} (т.е. выбором ортогональной строки x_{it}), причём тех s или p , которые соответствуют s -му или p -му весовому коэффициенту целевой функции (2) или (4), наибольшему среди остальных. Заметим, что веса попарных произведений в (4) переменных $z_{pr2} \cdot z_{tpr2}$ более значимы, чем веса линейных по z_{pr2} и z_{tpr2} слагаемых.

3) Если в столбце x_{it} есть хоть одна 1, то в соответствующей строке u_{tr2} должна быть только одна 1, причём обязательно в одном и том же столбце r_2 .

Для переменных $z_{pr2} \cdot z_{tpr2}$, z_{pr2} и z_{tpr2} , z_{sr2} и z_{tsr2} необходимо учитывать все их весовые коэффициенты. Далее существенно предположение, что расстановка по убыванию весов $z_{pr2} \cdot z_{tpr2}$ и z_{tpr2} одинакова, т.е. можно учитывать только веса, например, z_{tpr2} , сопоставимые с весами z_{tsr2} .

Таким образом, в данном случае пошаговый алгоритм вычисления оптимального, или по крайней мере приближённо оптимального, решения в явном аналитическом виде как способ прямого заполнения матриц искомых аргументов x_{it} , u_{tr2} и Y_{jr3} для целевых функций (2), (4) и (5) или (6) имеет следующий вид.

Шаг 1. а) Для транзакций вычисляются весовые коэффициенты перед переменными z_{tsr2} и z_{sr2} в целевой функции (2):

$$C_s = C \cdot \sum_k (\xi_{ks}^k \varphi_{ks,k}^k) \text{ и } B_s = B \cdot \sum_k [\xi_{ks}^k \varphi_{ks}^k \cdot [\sum_{r1} (v_{kr1})]] \quad (7)$$

в) Для запросов – весовые коэффициенты целевой функции (4) перед переменными $zpr2 \cdot ztpr2$, $ztsr2$ и $zpr2$:

$$C_p = G \cdot \sum_k (\xi_{kp}^3 \varphi_{kp}^3) \text{ и } B_{Cp} = P \cdot \sum_{k=0}^{K0-1} (\sum_{t=0}^{t0-1} v_{kr1} \cdot \xi_{kp}^3 \varphi_{kp}^3) \quad (8)$$

Шаг 2. Для (2) ранжируются C_s и B_s – с сохранением номера – по убыванию. Если предположение об одинаковости порядков номеров в них не выполнено, то далее можно использовать только C_s , но решение будет приближённо оптимальным из-за высокой степени влияния C_s на значение целевой функции. Для (4), где используется квадратичные зависимости по z_i , ранжируются B_{Cp} , C_p и B_p – с сохранением номера по убыванию. Следует проверить, что предположение об одинаковости порядков номеров в них выполнено – тогда далее можно использовать только B_{Cp} . Для (5), где используется оптимизация по транзакциям и запросам, ранжируются вместе B_{Cp} и C_s с сохранением номера p и s – по убыванию. Для (6), где используется нормирование целевых функций, ранжируются вместе $B_{Cp} / 2Fmin_z$ и $C_s / 2Fmin_tr$ – с сохранением номера p и s – по убыванию.

Шаг 3. а) Для транзакций из (2) выбирается номер 1-го, т.е. максимального, элемента C_s ; (после использования из C_s он удаляется). В матрице wks_i выбирается s -тая строка. C_s определяет номер строки, куда переносится единица в заполняемый столбец матрицы решений hit , пока их менее чем Ft , что обеспечивает соблюдение второго ограничения.

в) Для запросов из выражения (4) выбирается номер 1-го, т.е. максимального, элемента B_{Cp} ; (из B_{Cp} он удаляется после использования).

В матрице wzr_i выбирается p -тая строка. B_{Cp} определяет номер строки, куда переносится 1 в заполняемый столбец матрицы решений hit , пока их менее чем Ft .

с) Для суммарной целевой функции (5) выбирается 1-й, т.е. максимальный, номер B_{Cp} или C_s . Для (6) это номер $B_{Cp} / 2Fmin_z$ или $C_s / 2Fmin_tr$ (из B_{Cp} или C_s после использования он удаляется). В матрице wzr_i или wks_i выбирается p -тая или s -я строка. B_{Cp} или C_s определяет номер p -ой или s -ой строки соответственно, куда заносится единица в заполняемый столбец матрицы решений решения hit , пока их менее чем Ft .

При дублировании 1 или наличии 1 в этой строке уже ранее заполненных столбцов перенос игнорируется. При превышении Ft перенос производится в следующий незаполненный пустой столбец hit (при наличии 1 в этой строке уже ранее заполненных столбцов перенос игнорируется).

Шаг 4. Матрица решения hit заполнена. Матрица решения $utr2$ заполняется только одной 1 в каждой из строк, остальные 0. При нулевых столбцах в hit , в соответствующей стро-

ке может быть только $k_{\text{коп}t}$ единиц; что соответствует ограничению $\sum_{r=1}^{r_0} y_{tr} \leq k_{\text{коп}t}$, где $k_{\text{коп}t}$ – максимально допустимое количество копий t -й логической записи.

Шаг 5. Матрица решения Y_{jr3} заполняется только 1. Здесь не рассматривается ограничение (во многих практически важных случаях несущественное), требующее не более $k_{\text{коп}j}$ штук копий j -й ЛБМД в каждой из строк матрицы Y_{jr3} :

$$\sum_{r=1}^{r_0} Y_{jr} \leq k_j^{\text{коп}}, \quad (9)$$

где $k_j^{\text{коп}}$ – максимальное количество допустимых копий j -й ЛБМД.

Алгоритм заполнения с учётом ограничения (9) требует учёта других весовых коэффициентов переменных при $z_{\text{Msr}3}$ и $z_{\text{Mpr}3}$.

Таким образом, матрицы независимых аргументов x_{it} , y_{tr2} и Y_{jr3} заполнены – решение найдено.

Заключение

Результаты, полученные на этапе синтеза оптимальной логической структуры РБД, являются исходными для проектирования физической структуры ЛБМД, а также логических структур локальных и сетевых БД, эффективных сетевых протоколов, обеспечивающих предотвращение взаимоблокировок и появления тупиковых ситуаций при функционировании корпоративных информационных систем.

Результаты решения задач синтеза позволяют определить: состав, структуру, характеристики типов логических записей отношения между ними; размещение типов записей в ВС и использование их процедурами обработки данных; структуру размещения ЛБМД по узлам ВС.

Рассмотрены основные критерии эффективности – минимумы: общего времени последовательной обработки множества запросов; транзакций; общего суммарного времени запросов и транзакций. Предложена целевая функция сбалансированной оптимизации по времени выполнения как запросов, так и транзакций. Анализ комбинаторных особенностей сформулированных задач в одном из практически важных частных случаев, проведённый в данной работе, позволил получить их эффективные точные и приближённые аналитические решения, в явном виде как способ прямого заполнения матриц искомым аргументов.

Список обозначений

$W^3 = \|w_{pi}^3\|$ – матрица использования групп данных при выполнении запросов;

$\Lambda^3 = \|\xi_{kp}^3\|$ – матрица частот использования запросов пользователями;

$W^K = \|w_{si}^K\|$ – матрица использования групп данных при выполнении транзакций;

$\Lambda^K = \|\xi_{ks}^K\|$ – матрица частот использования транзакций пользователями;

$V_u = \|v_{kr}\|$ – матрица прикрепления пользователей к узлам ВС;

$\Phi^3 = \|\varphi_{kp}^3\|$ – матрица использования запросов пользователями РБД;

$\Phi^K = \|\varphi_{ks}^K\|$ – матрица использования транзакций пользователями РБД;

$\Delta^3 = \|\delta_{pr}^3\|$ – матрица прикрепления запросов к узлам-клиентам;

$\Delta^K = \|\delta_{sr}^K\|$ – матрица прикрепления транзакций к узлам-клиентам;

$W_3^M = \|w_{pj}^M\|$ – матрица использования ЛБМД запросами пользователей;

$W_m^M = \|w_{sj}^M\|$ – матрица использования ЛБМД транзакциями пользователей.

Список литературы

1. Атрощенко В. А., Тишковский Д. В. К вопросу выбора алгоритмов решения задачи синтеза оптимальных структур распределенных баз данных на предприятиях хлебопекарной промышленности // Труды международной научной конференции. Технические и технологические системы. Краснодар: Изд-во КГАУ, 2008.
2. Атрощенко В. А., Тишковский Д. В. К вопросу выбора методов синтеза оптимальных структур распределенных баз данных на предприятиях хлебопекарной промышленности // Труды международной научной конференции. Технические и технологические системы, Краснодар: Изд-во КГАУ, 2008.
3. Кульба В. В., Ковалевский С. С., Косяченко С. А., Сиротюк В. О. Теоретические основы проектирования оптимальных структур распределённых баз данных. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М.: СИНТЕГ, 1999. 660 с.
4. Кульба В. В., Сиротюк В. О. Оптимизация проектирования объектно-ориентированных баз данных в автоматизированных информационно-управляющих системах (АИУС) // Автоматика и телемеханика. 2005. № 10.
5. Дьяченко Р. А., Шароватов А. С., Лоба И. С., Решетняк М. Г. Разработка алгоритма поиска оптимальной модели // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. 2012. № 3(77). С. 378–387.

Рецензенты:

Шевцов Юрий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры информатики и вычислительной техники, ФГБОУ Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар.

Сингаевский Николай Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке, филиал «Электроазпроект» ДОО «Электрогаз» ОАО «Газпром», г. Краснодар.