

УДК 004.62

А.Б. Кунгурцев, канд. техн. наук, проф.,  
Ю.Н. Возовиков, спеціаліст,  
Одес.нац. політехн. ун-т

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛИЗОВАННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ДЛЯ РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ

*О.Б. Кунгурцев, Ю.М. Возовиков.* **Технологія створення матеріалізованих представлень для реляційних баз даних.** Пропонується технологія створення періодично підключаємих матеріалізованих представлень (МП). Даний механізм дозволяє збільшити ефективність використання МП за рахунок розширення кількості запитів, для яких використання МП було не ефективним, та скорочення витрат на підтримку МП протягом часу, коли деякі з них будуть неефективними.

*Ключові слова:* інформаційні системи, матеріалізовані представлення, запит.

*А.Б. Кунгурцев, Ю.Н. Возовиков.* **Технология создания материализованных представлений для реляционных баз данных.** Предлагается технология создания периодически подключаемых материализованных представлений (МП). Данный механизм позволяет увеличить эффективность использования МП, за счет расширения количества запросов, для которых использование МП было не эффективным, и сокращения издержек на поддержание МП в течение времени, когда некоторые из них будут неэффективными.

*Ключевые слова:* информационные системы, материализованные представления, запрос

*A.B. Kungurtsev, Yu.N. Vozovikov.* **Technology for creating materialized views to relational database.** The technology of creating occasionally connected materialized views (MV) is proposed. This mechanism allows you to increase the efficiency of the MV application, by expanding the number of queries for which the use of MVs was not effective, and by reducing the costs of maintaining the MV during the time when some of them will be ineffective.

*Keywords:* information systems, materialized views, query

В связи с быстрым ростом количества информации в автоматизированных системах (АС) проблема повышения их производительности остается актуальной в течение длительного времени. Одним из путей решения этой проблемы в системах, где используются реляционные базы данных (РБД), является применение материализованных представлений (МП) [1, 2].

В большинстве существующих АС наблюдается определенная периодичность выполнения различных задач. Периодичность задач отражается в периодичности появления различных типов запросов. Постоянное включение МП, как это предлагалось [3, 4], с одной стороны, снижает эффективность работающих МП, а с другой, не позволяет их использовать для запросов, которые неэффективны при постоянном включении, но могут оказаться весьма эффективны в определенных моменты времени.

Для исследования реальной ИС анализируется ее журнал транзакций, сохраняющий сведения о запросах к БД, за некоторое время наблюдения  $t_0$ .

Будем считать, что все запросы, наблюдаемые за время  $t_0$ , представляют собой множество

$$Z = \{z_i\}, \quad i = 1, r_0. \quad (1)$$

Представим запрос типа SELECT в виде четверки данных

$$q_i = \langle tx_i, t_i, d_i, S_i \rangle, \quad (2)$$

где  $tx_i$  — текст запроса;

$t_i$  — длительность выполнения запроса;

$S_i$  — источник запроса;

$d_i$  — дата и время выполнения запроса.

За время  $t_0$  множество всех запросов  $q_i$

$$Q = \{q_i\}, i = \overline{1, n_0}.$$

Для создания МП недостаточно рассматривать только запросы типа SELECT. Эффективность применения МП в значительной степени зависит от частоты обновления данных базовых таблиц. Поэтому необходимо дать описание и других типов запросов. Запросы, предназначенные для изменения данных, можно представить в виде тройки значений

$$u_j = \langle T_y, tx_j, d_j \rangle, \quad (3)$$

где  $T_y \in \{TD, TI, TU\}$  — запрос типа DELETE, INSERT, UPDATE, соответственно.

Определим множество всех запросов, обновляющих данные, как

$$U = \{u_j\}, j = \overline{1, m}.$$

Исходные данные о моментах появления запросов  $q_i$  не могут быть непосредственно использованы для анализа эффективности материализованного представления  $Mp_i$ . Для определения периодичности появления каждого запроса  $q_i$  предлагается ввести понятие функции плотности его распределения во времени  $P_i = f(t)$ . С учетом дискретных исходных данных

$$P_i = \frac{k_j}{\Delta t}, j = \overline{1, \frac{t_0}{\Delta t}}, \quad (4)$$

где  $k_j$  — количество повторений запроса в течение единицы времени  $\Delta t$ .

Выбор значения  $\Delta t$  определяется на основе следующего. Нижняя граница должна быть существенно больше среднего времени выполнения запроса в ИС. Верхняя граница не должна быть меньше минимального периода выполнения некоторой деятельности в ИС, например, времени приема клиентов. Исходя из сказанного, для большинства ИС величина  $\Delta t$  может находиться в пределах 0,3...0,5 ч.

Для анализа применимости МП необязательно рассматривать все запросы, обновляющие данные. Следует выделить только те из них, которые изменяют данные, используемые в МП. Для определения взаимосвязи запроса  $q_i$  и  $u_j$  через данные уточним понятие текста запроса (2), как

$$tx_i = \langle tx_0, T_q \rangle,$$

где  $tx_0$  — исходный текст запроса;

$T_q = \{T_i\}, i = \overline{1, N_{T_q}}$  — множество таблиц БД, участвующих в запросе  $q_i$ .

Каждая таблица  $T_i = \langle Nm_i, F_i \rangle$  представлена именем  $Nm_i$  и множеством полей выборки или обновления, используемых в запросе,  $F_i = \{F_{i_j}\}, j = \overline{1, N_{F_i}}$ .

Введем обозначение для отношения принадлежности некоторого данного поля  $p_i$  таблице  $T_i$ :  $p_i \in T_i$ . Тогда, если в запросе обновления данных  $u_j$  происходит операция над полем  $p_i \in T_i$ , и существует такое же поле  $p_i \in T_i$  в запросе, для которого реализуется  $Mp_i$ , то запрос  $u_j$  должен попасть в множество запросов  $U$ , обновляющих  $Mp_i$ . Определено условие, которому должен отвечать каждый элемент  $q_{u_j}$  множества  $U$ ,

$$q_{u_j} \in U \wedge \forall (F_{u_j} = F_{q_i} \mid F_{u_j} \in T_{u_j} \wedge F_{q_i} \in T_{q_i} \wedge T_{q_u} = T_{q_i}). \quad (5)$$

Для оценки эффективности применения МП для запросов  $q_i$  при постоянном включении в течение периода наблюдения  $t_0$  рассчитывается отношение времени выполнения этих запросов без внедрения МП ко времени выполнения этих же запросов при использовании МП в течение периода  $t_0$

$$Ec_i = \frac{S0_i}{Smp_i + Snew_i + Ssel}, \quad (6)$$

где  $S0_i = \sum_{j=1}^{n_i} t_i$  — суммарное время выполнения всех запросов  $q_i$  за период  $t_0$  без использования МП;

$Smp_i = n_i t_{mp_i}$  — суммарное время выполнения всех запросов  $q_i$  при использовании  $Mp_i$ ;

$n_i$  — количество запросов  $q_i$  за период  $t_0$ ;

$t_{mp_i}$  — время выполнения запроса  $q_i$ ;

$Snew_i = ku_i t_{u_i}$  — время обновлений  $Mp_i$  за время  $t_0$ ;

$ku_i$  — мощность множества  $U_i = \{u_j\} \overline{j=1, ku_i}$ , где каждый элемент удовлетворяет условию (5);

$t_{u_i}$  — время выполнения обновления  $Mp_i$ ;

$Ssel = nn_{mp} t_s$  — время, расходуемое на выборку запросов, имеющих МП, из общего потока запросов  $Z$ ;

$n$  — количество всех запросов, поступивших в БД за период  $t_0$ ;

$n_{mp}$  — количество используемых МП;

$t_s$  — время, расходуемое на выборку запроса  $q_i$ , имеющего  $Mp_i$ , из общего потока запросов  $Z$ .

Предлагаем ввести понятие эффективности управляемого использования МП. При этом будем называть периодом управления интервал времени, в течение которого  $Mp_i$  включается на время  $v1_i$  — период включения, а затем выключается на время  $v0_i$  — период выключения.

$$Ev_i = \frac{S0_i}{Smpv_i + Snewv_i + Sselv + Sbd}, \quad (7)$$

где  $Smpv_i = nv_i t_{mp_i}$  — суммарное время выполнения всех запросов  $q_i$ , попадающих в периоды включения  $v1_i$ ;

$nv_i$  — мощность множества  $Qv_i = \{q_{i_v} \mid q_{i_v} \in Q_i \wedge d_{i_v} \in \tau v1_i\} \overline{v=1, nv_i}$ ;

$Snewv_i = kuv_i t_{u_i}$  — время обновлений  $Mp_i$  в течение периодов  $v1_i$ ;

$kuv_i$  — мощность множества  $Uv_i = \{u_{i_v} \mid u_{i_v} \in U_i \wedge d_{i_v} \in \tau v1_i\} \overline{v=1, kuv_i}$ ;

$Sselv = nnv_{mp} t_s$  — время, расходуемое на выборку запросов, имеющих МП, из общего потока запросов  $Z$ ;

$nv_{mp} < n_{mp}$  — количество используемых МП с учетом введения режима включения/выключения;

$Sbd = (n_i - nv_i) t_i$  — время, потраченное на выполнение запросов  $q_i$ , которые не попали в периоды  $v1_i$ .

Предлагается ввести понятие максимальной эффективности  $Ev_{i_{max}}$  применения  $Mp_i$ . В этом случае отсутствует постоянный период управления. Период включения  $Mp_i$  определяется плотностью  $P_i > 0$ . Для каждого периода включения  $v1_i$  рассчитывается эффективность  $Ev_i$ .

Если  $Ev_i < 1$ , соответствующий период исключается из рассмотрения. Усредненное значение оставшихся эффективностей будем считать максимальной эффективностью применения  $Mp_i$

$$Ev_{i_{\max}} = \sum_{i=1}^m \frac{Ev_i}{m}. \quad (8)$$

Данная формула не может быть непосредственно использована для определения периода включения/выключения  $Mp_i$ , поскольку получена для условий, которые практически невозможно реализовать. Однако она является элементом зависимости эффективности применения МП от способа управления ими, которую предлагается сформулировать в следующих правилах:

— если для некоторого запроса  $q_i$   $Ec_i > 1$  и  $Ev_{i_{\max}} > Ec_i$ , то следует искать периоды включения/выключения  $Mp_i$ ;

— если для некоторого запроса  $q_i$   $Ec_i > 1$  и  $Ec_i \approx Ev_{i_{\max}}$  то не следует искать периоды включения/выключения  $Mp_i$ , а включить  $Mp_i$  на весь период работы АС;

— если для некоторого запроса  $q_i$   $Ec_i < 1$  и  $Ev_{i_{\max}} > Ec_i$ , то следует искать периоды включения/выключения  $Mp_i$ ;

— если для некоторого запроса  $q_i$   $Ec_i < 1$  и  $Ev_{i_{\max}} < Ec_i$ , то не следует применять  $Mp_i$ ;

—  $Q_i = \{q_i\}, i = 1, n_i$  — все запросы  $q_i$ , наблюдаемые в течение периода  $t_0$ , для которых возможно создание МП.

Известны исследования в области прикладной статистики, которые позволяют определить периодичность появления некоторого события [6]. На их основе предлагается метод определения основного периода колебаний плотности распределения запроса  $q_i$ :

— определение среднеарифметического значения элементов функции плотности распределения запроса

$$\bar{P}_i = \sum_{j=1}^m \frac{pl_{ij}}{m},$$

где  $pl_{ij}$  — плотность распределения запроса  $q_i$  за период  $t_0$ ;

$m$  — количество интервалов в периоде наблюдения;

— вычисление значения функции вариации

$$\text{var}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (pl_{ij} - \bar{P}_i)^2;$$

— вычисление значения функции автоковариации

$$C_{ih} = \frac{\sum_{j=1}^{m-h} (pl_{ij} - \bar{P}_i)(pl_{i(j+h)} - \bar{P}_i)}{m},$$

где  $h$  — шаг, определяющий сдвиг начала периода  $t_0$  по оси времени; нижняя граница значения  $h$  определяется установленным значением  $\Delta t$ ; приращение значения  $h$  определяется спецификой использования МП в конкретной АС и обычно составляет 1 ч;

— вычисление на шаге  $h$  коэффициента автокорреляции.

$$r_{ih} = \frac{C_{ih}}{\text{var}_i}; \quad (9)$$

— в соответствии с рекомендациями [6] высокий уровень автокорреляции достигается при значении  $r_{ih} \geq 0,75$ , поэтому такие значения коэффициента запоминаются;

— выполняется увеличение  $h$  и повторение шагов 3...5 для каждого нового  $h$ ;

— выбирается наибольшее из всех сохраненных значений  $r_{ih_{\max}}$ , которое является основным периодом колебаний плотности распределения  $pl_{ij}$  запросов  $q_i$ .

Расчет коэффициента автокорреляции  $r_{ih}$  обеспечивает наименее трудоемкий способ отыскания периодической составляющей в плотности  $pl_{ij}$  распределения запроса. Однако он не позволяет найти соотношение между периодами  $\nu 1_i / \nu 0_i$  включения/выключения  $Mr_i$ , а также не учитывает обновление данных в МП и периодичность появления запросов, обновляющих данные. Поэтому полученные значения  $h$  рекомендуется использовать только в качестве исходных данных для определения периодов включения/выключения МП.

Для уточнения периода колебаний плотности распределения во времени запросов  $q_i$  и определения соотношения периодов  $\nu 1_i / \nu 0_i$  включения/выключения  $Mr_i$  предлагается формула расчета относительной вариации  $var_i$  плотности распределения запросов

$$V0_i(tp) = \frac{w_{ij}}{P0_i}, \quad (10)$$

где  $tp = \nu 0_i + \nu 1_i$  — предполагаемый период изменения плотности, полученный, например, при расчете коэффициента автокорреляции;

$$w_{ij}(tp) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (pl_i - p0_i)^2}{m}};$$

$m = \frac{t_0}{tp}$ , из  $t_0$  предварительно исключены все периоды времени, в течение которых ИС находится в нерабочем состоянии;

$pl_i$  — плотность распределения  $q_i$  в течение  $\nu 1_i$ ;

$p0_i$  — плотность распределения  $q_i$  в течение  $\nu 0_i$ ;

$\overline{P0_i} = \sum_{j=1}^m \frac{pl_{ij}}{k}$  — средняя плотность распределения  $q_i$  за период наблюдения  $t_0$ .

Расчет  $V0_i(tp)$  предусматривает выполнение следующих шагов:

— рассчитывается значение  $\overline{P0_i} = \sum_{j=1}^m \frac{pl_{ij}}{k}$ ;

— для  $tp$  определяется ряд значений  $\nu 0_i$  и  $\nu 1_i$  ( $\nu 1_i / \nu 0_i = 0, 1 \dots 0, 9$ );

— для  $tp$ ,  $\nu 0_i$  и  $\nu 1_i$  определяется сдвиг начала  $tp$  относительно начала периода  $t_0$  в диапазоне  $0 \dots 0, 9 tp$ .

— из множества значений  $w_{ij}(tp)$  выбирается максимальное  $w_{ij_{\max}}(tp)$ ;

— рассчитывается вариация  $V0_i$ , используя  $w_{ij_{\max}}(tp)$ .

Значение  $tp$ , при которых функция  $V0_i(tp)$  достигает максимумов, можно рекомендовать в качестве периодов управления  $Mr_i$ .

Механизм расчета периода  $tp$  и его составляющих  $\nu 0_i$  и  $\nu 1_i$  не может дать окончательного результата для управления МП, поскольку не учитывает обновления данных в таблицах МП.

Для получения результатов, пригодных для практического применения, необходимо воспользоваться полученной зависимостью (7), которая учитывает факторы обновления и обслуживания МП. Принимая во внимание, что учет обновлений МП может существенно повлиять

на определенные ранее значения  $tp$ ,  $v0_i$  и  $v1_i$ , разработан алгоритм, уточняющий значения этих параметров. В основу алгоритма поиска параметров включения/выключения МП положен градиентный метод оптимизации [6]. В качестве целевой функции выбирается  $Ev_i(7)$ , для которой определяется максимальное значение. Базисная точка определяется значениями  $v1_i = tp_{\max}$  (значение  $tp$ , при котором  $V0_i(tp)$  достигает максимума),  $v0_i = v1_i$  и  $g = g_{\max}$  (сдвиг начала  $tp$  относительно начала периода  $t_0$ , при котором  $V0_i(tp)$  достигает максимума  $V0_{\max_i}(tp)$ ). В качестве наиболее значимого фактора выбирается  $v1_i$ . Шаг крутого восхождения определяется как  $v0_i/10$ , а минимальное значение шага — 0,5 ч.

Значение  $Ev_i$ , полученное по окончании работы алгоритма, позволяет определить целесообразность однопериодного управления  $Mp_i$  путем сравнения полученного значения с  $Ev_{i\max}$ , либо с  $Ec_i$ . При этом возможно следующее:

- если  $Ev_i < 1$ , то отсутствует один четко выраженный период включения/выключения МП. Решение следует искать в поиске множества периодов включения/выключения;
- если  $Ev_i \approx Ev_{i\max}$ , то найденный период принимается в качестве окончательного решения;
- если  $Ev_i > 1$ , но  $Ev_i \ll Ev_{i\max}$ , то найденный период принимается в качестве частичного решения, и следует перейти к поиску других периодов включения/выключения.

Предложена зависимость, связывающая эффективность применения МП со способом управления МП. Разработаны методика предварительного определения периода управления МП, основанная на расчете коэффициентов автокорреляции, а также методика предварительного определения периодов включения/выключения МП, основанная на расчете относительной вариации. Разработан метод однопериодного управления МП и алгоритмы, вычисляющие параметры для его применения.

Предложенная информационная технология создания и управления МП позволяет существенно расширить множество запросов, для которых целесообразно использование МП, а также сократить нагрузку на систему, связанную с обслуживанием механизма МП.

## Литература

1. Компания Advanced Information Systems. Oracle 8. Энциклопедия пользователя: пер. с англ./ Компания Advanced Information Systems. — К.: ДиаСофт, 1998. — 864 с.
2. Виейра, Р. Программирование баз данных Microsoft SQL Server 2005. Базовый курс.: пер. с англ. / Р. Виейра. — М.: Диалектика, 2007. — 832 с.
3. Кунгурцев, А.Б. Анализ возможности применения МП в ИС / А.Б. Кунгурцев, Куок Винь Нгуен Чан // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2004. — Вып. 2(20). — С. 102 — 106.
4. Кунгурцев, А.Б. Сравнение запросов в реляционных базах данных для построения материализованных представлений / А.Б. Кунгурцев, Куок Винь Нгуен Чан, А.А. Блажко // Пр. УНДІРТ. — Одеса, 2004. — Вып. 3(39). — С. 35 — 38.
5. Кунгурцев, А.Б. Управление материализованными представлениями в информационных системах / А.Б. Кунгурцев, Ю.Н. Возовиков / Восточ.-Европ. журн. передовых технологий. — Харьков, 2010. — Вып. 1/4(43). — С. 18 — 21.
6. Бродский, Б.Е. Структурные сдвиги и единичные корни: в нестационарных моделях временных рядов [Электронный ресурс] / Б.Е. Бродский. — М.: Data.cemi.rssi.ru, 2008. — С. 20. <http://data.cemi.rssi.ru/GRAF/center/methodology/econometrics/download/tsakh2008.pdf> — 2008.

## References

1. Kompaniya Advanced Information Systems. Oracle 8. Entsiklopediya pol'zovatelya: per. s angl [Oracle 8. User's Encyclopedia]. / Kompaniya Advanced Information Systems — Kyiv, 1998. — 864 pp.
2. Vieyra, R. Programirovanie baz dannyykh Microsoft SQL Server 2005. Bazovyy kurs.: per. s angl. [Database Programming Microsoft SQL Server 2005. Basic Course: trans. from Eng.] / R. Vieyra — Moscow, 2007. — 832 pp.

3. Kungurtsev, A.B. Analiz vozmozhnosti primeneniya MP v IS [Exploring the use of MV in IS] / A.B. Kungurtsev, Kuok Vin Nguyen Chan // Tr. Odes. politekhn. un-ta [Proc. of the Odessa Polytech.Univ.] — Odessa: 2004. — Issue 2(20). — pp. 102 — 106.
4. Kungurtsev, A.B. Sravnenie zaprosov v relyatsionnykh bazakh dannykh dlya postroeniya materializovannykh predstavleniy [Comparison of queries in relational databases to build materialized views] / A.B. Kungurtsev, Kuok Vin Nguyen Chan, A.A. Blazhko // Pr. UNDIRT. Odesa, 2004. — Issue 3(39). — pp. 35 — 38.
5. Kungurtsev, A.B. Upravlenie materializovannymi predstavleniyami v informatsionnykh sistemakh [Materialized views management in information systems] / A.B. Kungurtsev, Yu.N. Vozovikov / Vostochn. — Evrop. zhurn. peredovykh tekhnologiy [Europ. J. of Advanced Technologies]. Kharkov, 2010. — Issue 1/4(43). — pp. 18 — 21.
6. Brodskiy, B. E. Strukturnyye sdvigi i edinichnyye korni: v nestatsionarnykh modelyakh vremennykh ryadov [Structural changes and unit roots in non — stationary time series models], [Elektronicheskoye istochnik] B.Ye. Brodskiy — M.: Data.cemi.rssi.ru, 2008. — p. 20. <http://data.cemi.rssi.ru/GRAF/center/methodology/econometrics/download/tsakh2008.pdf> — 2008.

Рецензент канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Одес. нац. политехн. ун-та Павленко В.Д.

Поступила в редакцию 30 октября 2012 г.