

# ОБРАБОТКА ЗАПРОСОВ К СВЕРХБОЛЬШИМ БАЗАМ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОЛОНОЧНЫХ ХЕШ-ИНДЕКСОВ<sup>1</sup>

*Е.В. Иванова*

В связи с появлением задач, требующих обработки сверхбольших баз данных, необходимы новые эффективные методы параллельной обработки и анализа таких объемов данных на многопроцессорных вычислительных системах. В работе рассматриваются индексные структуры специального вида, названные распределенными колоночными хеш-индексами. Данные структуры основываются на использовании колоночного представления и предназначены для обработки запросов на основе фрагментного параллелизма. Описывается декомпозиция реляционных операций пересечения и естественного соединения, выполняемая с использованием распределенных колоночных хеш-индексов.

Ключевые слова: сверхбольшие базы данных; параллельная обработка данных; колоночный хеш-индекс; доменно-интервальная фрагментация.

## **Введение**

В настоящее время научная и практическая деятельность человека выдвигает все новые масштабные задачи, требующие обработки сверхбольших баз данных. Согласно прогнозам аналитической компании IDC к 2020 г. количество данных в мире достигнет 40 Зеттабайт [1]. Современные технологии баз данных не могут обеспечить обработку столь крупных объемов данных. По оценке IDC из всего объема потенциально полезных данных в 2012 г. всего лишь 3 % данных были проиндексированы и только 0,5 % были подвергнуты анализу.

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-07-00443 а.

Фактически единственным эффективным решением проблемы хранения и обработки сверхбольших баз данных является использование параллельных систем баз данных, обеспечивающих параллельную обработку запросов на многопроцессорных вычислительных системах [2–5].

Для решения проблемы обработки сверхбольших баз данных в статье предлагаются индексные структуры специального вида, которые называются распределенными колоночными хеш-индексами. Хеш-индексы строятся и применяются на основе подхода, описанного в работе [6].

## 1. Хеш-индекс

Хеш-индекс позволяет использовать один колоночный индекс для индексирования нескольких атрибутов одного отношения.

Пусть задано отношение  $R(A^*, B_1, \dots, B_u, C, \dots)$ . Пусть задана хеш-функция  $h : \mathcal{D}_{B_1} \times \dots \times \mathcal{D}_{B_u} \rightarrow \mathbb{Z}_{\geq 0}$ . Хеш-индексом  $I_h(A^*, H)$  атрибутов  $B_1, \dots, B_u$  отношения  $R$  будем называть упорядоченное отношение, удовлетворяющее тождеству:

$$I_h = \tau_H \left( \pi_{A, h(B_1, \dots, B_u) \rightarrow H} (R) \right).$$

Хеш-индекс обладает следующим основным свойством:

$$\forall r', r'' \in R (r'.B_1 = r''.B_1 \wedge \dots \wedge r'.B_u = r''.B_u \Rightarrow h(r'.B_1, \dots, r'.B_u) = h(r''.B_1, \dots, r''.B_u)). \quad (1)$$

Заметим, что обратная импликация не обязательно имеет место. Из (1) непосредственно вытекает следующее свойство хеш-индекса:

$$\forall r', r'' \in R (h(r'.B_1, \dots, r'.B_u) \neq h(r''.B_1, \dots, r''.B_u) \Rightarrow r'.B_1 \neq r''.B_1 \vee \dots \vee r'.B_u \neq r''.B_u).$$

*Фрагментация хеш-индекса* осуществляется на основе доменно-интервального принципа с помощью функции фрагментации  $\varphi_{I_h} : I_h \rightarrow \{0, \dots, k-1\}$  определенной следующим образом:

$$\forall x \in I_h \left( \varphi_{I_h}(x) = \varphi_{\mathbb{Z}_{\geq 0}}(x.H) \right),$$

где  $\varphi_{\mathbb{Z}_{\geq 0}} : \mathbb{Z}_{\geq 0} \rightarrow \{0, \dots, k-1\}$  – доменная функция фрагментации для домена  $\mathcal{D}_H = \mathbb{Z}_{\geq 0}$ .

## 2. Декомпозиция операции пересечения

Пусть заданы два отношения  $R(A^*, B_1, \dots, B_u)$  и  $S(A^*, B_1, \dots, B_u)$ , имеющие одинаковый набор атрибутов. Пусть имеется два хеш-индекса  $I_{R,h}$  и  $I_{S,h}$  для атрибутов  $B_1, \dots, B_u$  отношений  $R$  и  $S$ , построенные с помощью одной и той же хеш-функции  $h : \mathcal{D}_{B_1} \times \dots \times \mathcal{D}_{B_u} \rightarrow \mathbb{Z}_{\geq 0}$ . Пусть для этих индексов задана доменно-интервальная фрагментация степени  $k$ :

$$I_{R,h} = \bigcup_{i=0}^{k-1} I_{R,h}^i ;$$

$$I_{S,h} = \bigcup_{i=0}^{k-1} I_{S,h}^i .$$

Положим:

$$P^i = \pi_{I_{R,h}^i . A \rightarrow A_R, I_{S,h}^i . A \rightarrow A_S} \left( I_{R,h}^i \bowtie_{(I_{R,h}^i . H = I_{S,h}^i . H)} I_{S,h}^i \right)$$

для всех  $i = 0, \dots, k-1$ . Определим:

$$P = \bigcup_{i=0}^{k-1} P^i .$$

Положим:

$$Q = \left\{ \&_R (p.A_R) \mid p \in P, (\&_R (p.A_R).B_1, \dots, \&_R (p.A_R).B_u) = (\&_S (p.A_S).B_1, \dots, \&_S (p.A_S).B_u) \right\} .$$

Тогда:

$$\delta(\pi_{B_1, \dots, B_u}(Q)) = \delta(\pi_{B_1, \dots, B_u}(R)) \cap \delta(\pi_{B_1, \dots, B_u}(S)) .$$

### 3. Декомпозиция операции естественного соединения

Пусть заданы два отношения:

$$R(A^*, B_1, \dots, B_u, C_1, \dots, C_v)$$

и

$$S(A^*, B_1, \dots, B_u, D_1, \dots, D_w) .$$

Пусть имеется два хеш-индекса  $I_{R,h}$  и  $I_{S,h}$  для атрибутов  $B_1, \dots, B_u$  отношений  $R$  и  $S$ , построенные с помощью одной и той же хеш-функции  $h : \mathfrak{D}_{B_1} \times \dots \times \mathfrak{D}_{B_u} \rightarrow \mathbb{Z}_{\geq 0}$ . Пусть для этих индексов задана доменно-интервальная фрагментация степени  $k$ :

$$I_{R,h} = \bigcup_{i=0}^{k-1} I_{R,h}^i ;$$

$$I_{S,h} = \bigcup_{i=0}^{k-1} I_{S,h}^i .$$

Положим:

$$P^i = \pi_{I_{R,h}^i . A \rightarrow A_R, I_{S,h}^i . A \rightarrow A_S} \left( I_{R,h}^i \bowtie_{(I_{R,h}^i . H = I_{S,h}^i . H)} I_{S,h}^i \right)$$

для всех  $i = 0, \dots, k-1$ . Определим:

$$P = \bigcup_{i=0}^{k-1} P^i.$$

Положим:

$$Q = \{(\&_R(p.A_R).B_1, \dots, \&_R(p.A_R).B_u, \&_S(p.A_S).D_1, \dots, \&_S(p.A_S).D_w) | \\ p \in P, (\&_R(p.A_R).B_1, \dots, \&_R(p.A_R).B_u) = (\&_S(p.A_S).B_1, \dots, \&_S(p.A_S).B_u)\}$$

Тогда:

$$Q = \pi_{*\mathcal{A}}(R) \bowtie \pi_{*\mathcal{A}}(S).$$

### Заключение

В статье приведено формальное описание распределенных колоночных хеш-индексов, предназначенных для параллельной обработки запросов к сверхбольшим базам данных на основе фрагментного параллелизма. Работа содержит описание определения и свойств колоночного хеш-индекса, и его доменно-интервальной фрагментации. Рассмотрены декомпозиции реляционных операций, выполняемые с использованием распределенных колоночных хеш-индексов: пересечение и естественное соединение.

### Библиографический список

1. Gantz J., Reinsel D. IDC. The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East. Report, 2012. – URL: <http://www.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-the-digital-universe-in-2020.pdf>.
2. Соколинский, Л.Б. Параллельные системы баз данных / Л.Б. Соколинский. – М.: Издательство Московского университета, 2013. – 179 с.
3. Костенецкий, П.С. Моделирование иерархических многопроцессорных систем баз данных / П.С. Костенецкий, Л.Б. Соколинский // Программирование. – 2013. – Т. 39, № 1. – С. 2–33.
4. Костенецкий, П.С. Обработка запросов на кластерных вычислительных системах с многоядерными ускорителями / П.С. Костенецкий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Вычислительная математика и информатика». – 2012. – № 47 (306). – Вып. 2. – С. 59–67.
5. Пан, К.С. Разработка параллельной СУБД на основе последовательной СУБД PostgreSQL с открытым исходным кодом / К.С. Пан, М.Л. Цымблер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2012. – № 18(277). – Вып. 12. – С. 112–120.
6. Иванова, Е.В. Использование распределенных колоночных индексов для выполнения запросов к сверхбольшим базам данных / Е.В. Иванова, Л.Б. Соколинский // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2014): труды международной научной конференции (1–3 апреля 2014 г., г. Ростов-на-Дону). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 270–275.

[К содержанию](#)