

Метод m -паралельного послідовного перегляду записів та його використання для пошуку інформації у послідовних файлах баз даних

Володимир Лісовець¹, Григорій Цегелик²

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська, 1, Львів, 79000, e-mail: kafmmsep@franko.lviv.ua

² д. ф.-м. н., професор, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська, 1, Львів, 79000, e-mail: kafmmsep@franko.lviv.ua

Запропоновано метод m -паралельного послідовного пошуку записів у файлах баз даних, орієнтований на його використання в багатопроцесорних ЕОМ, і досліджено ефективність цього методу для відомих законів розподілу ймовірностей звертання до записів. За критерій ефективності приймається математичне сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису у файлі. Для цих же законів розподілу ймовірностей досліджується також ефективність використання методу m -паралельного послідовного перегляду для пошуку записів у послідовних файлах. За критерій ефективності приймається математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі.

Ключові слова: багатопроцесорні системи, m -паралельний пошук, бази даних.

Вступ. Однією з тенденцій розвитку сучасної інформатики є створення інформаційно-обчислювальних систем, здатних обробляти величезні об'єми інформації в режимі реального або мінімального масштабів часу. Такі системи повинні характеризуватися високою надійністю й ефективністю, адже незначні збої та короточасні простой системи можуть призвести до великих матеріальних втрат. Тому для реалізації таких систем не можна використати сервери зі звичайною архітектурою.

Багатопроцесорні ЕОМ мають архітектуру, яка забезпечує високу надійність інформаційно-обчислювальних систем. Завдяки особливостям архітектури окремі вузли або елементи системи можна непомітно для користувача замінювати, забезпечуючи безперервну та безвідмовну роботу навіть таких складних програм, як системи керування базами даних.

Завдяки високій надійності та продуктивності багатопроцесорні ЕОМ широко використовують для підтримки й організації великих баз даних (БД). При розв'язуванні різноманітних задач із використанням БД основний акцент переноситься з процедур обробки інформації на процедури організації збереження та пошуку інформації в них. Тому продуктивність обчислювальних систем, орієнтованих на роботу з великими БД, значною мірою визначається ефективністю методів пошуку інформації.

У роботі розглядається метод m -паралельного послідовного пошуку записів у файлах БД, орієнтований на його використання в багатопроцесорних ЕОМ,

досліджується ефективність методу для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів (рівномірного, «бінарного», Зіпфа й узагальненого, частковим випадком якого є розподіл, який наближено задовольняє правило «80-20» [1-3]). За критерій ефективності приймається математичне сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису у файлі. Зауважимо, що ефективність звичайного методу послідовного перегляду для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів досліджено в [4]. Крім того, для цих же законів розподілу ймовірностей звертання до записів досліджується ефективність використання методу m -паралельного послідовного перегляду для пошуку записів у послідовних файлах, що містяться в зовнішній пам'яті багатопроекторної ЕОМ. За критерій ефективності в цьому випадку приймається математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі.

Дослідження ефективності методу m -паралельного послідовного перегляду для пошуку записів у послідовних файлах проведемо для рівномірного розподілу ймовірностей звертання до записів і таких законів нерівномірного розподілу ймовірностей:

- «бінарний» розподіл

$$p_i = \frac{1}{2^i}, \quad i = \overline{1, N-1}, \quad p_N = \frac{1}{2^{N-1}},$$

де p_i — ймовірність звертання до i -го запису, N — кількість записів у файлі;

- закон Зіпфа

$$p_i = \frac{1}{iH_N}, \quad i = \overline{1, N}, \quad H_N = \sum_{k=1}^N \frac{1}{k};$$

- узагальнений закон розподілу

$$p_i = \frac{1}{i^{(c)}H_N^{(c)}}, \quad i = \overline{1, N}, \quad H_N^{(c)} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{k^c},$$

де c ($0 < c < 1$) — довільний параметр.

При розгляді методу m -паралельного пошуку приймаємо, що послідовний файл містить N записів, які пронумеровані послідовними натуральними числами у порядку їх розміщення у файлі. При використанні цього методу для пошуку записів вважаємо, що послідовний файл міститься в зовнішній пам'яті багатопроекторної ЕОМ.

1. Метод m -паралельного послідовного перегляду та його ефективність для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів

Приймаємо, що до складу багатопроекторної ЕОМ входять m процесорів, які працюють паралельно та мають спільне поле пам'яті. Пронумеруємо процесори ЕОМ натуральними числами від 1 до m . Умовно поділимо усі записи файла

на блоки по m записів у кожному. Нехай $N = n m$ — кількість записів у файлі, де n — кількість блоків. Тоді при використанні m -паралельного послідовного перегляду процес пошуку запису буде складатися з низки кроків. На першому кроці i -ий процесор переглядає значення ключа i -го запису. При цьому процес перегляду може бути успішним або неуспішним. Для визначення «успішності» всі процесори повинні обмінятися інформацією. У разі успішного перегляду процес пошуку завершується. Якщо перегляд неуспішний, то на другому кроці i -ий процесор переглядає значення ключа $(m + i)$ -го запису і т. д. На $(k + 1)$ -му кроці (у випадку неуспішного перегляду на k -му кроці) i -ий процесор переглядає значення ключа $(km + i)$ -го запису. Внаслідок виконання не більше n кроків шуканий запис буде знайдено, якщо він міститься у файлі.

Дослідимо ефективність цього методу для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів.

Нехай p_i — ймовірність звертання до i -го запису файлу. Тоді математичне сподівання E кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису у файлі, обчислюється за формулою

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i p_{(i-1)m+j}.$$

Запишемо явний вираз для E у випадку різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів і дослідимо залежність E від зміни закону розподілу ймовірностей.

1.1. Рівномірний розподіл. Якщо розподіл ймовірностей звертання до записів є рівномірним, то для E одержуємо вираз

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{m} + 1 \right).$$

1.2. «Бінарний» розподіл. Нехай ймовірності звертання до записів задовольняють «бінарний» розподіл. Тоді для E маємо формулу

$$E = \frac{2^m}{2^m - 1} (1 - 2^{-N}).$$

Нехтуючи нескінченно малою величиною 2^{-N} , із достатньо високою точністю можемо прийняти, що

$$E = \frac{2^m}{2^m - 1}.$$

Бачимо, що зі збільшенням кількості процесорів математичне сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису у файлі, зменшується від 2 (при $m = 1$) до 1.

1.3. Закон Зіпфа. Нехай імовірності звертання до записів задовольняють закон Зіпфа. Тоді для E одержуємо вираз

$$E = \frac{1}{H_N} [(n+1)H_N - S_m(n)], \quad S_m(n) = \sum_{i=1}^n H_{im}.$$

Використовуючи апроксимацію суми $S_m(n)$ виразом [3]

$$S_m(n) \approx n(H_N - 1) + \frac{1}{2} \ln n + C_1,$$

де $C_1 = 0,5 \ln 2\pi$, із достатньо високою точністю можемо прийняти, що

$$E = \frac{1}{H_N} \left(H_N + \frac{N}{m} - \frac{1}{2} \ln \frac{N}{m} - C_1 \right).$$

1.4. Узагальнений закон. Нехай імовірності звертання до записів задовольняють узагальненому закону розподілу. Тоді для визначення математичного сподівання E маємо формулу

$$E = \frac{1}{H_N^{(c)}} [(n+1)H_N^{(c)} - S_m^{(c)}(n)],$$

де $S_m^{(c)}(n) = \sum_{i=1}^n H_{im}^{(c)}$. Використовуючи апроксимацію $S_m^{(c)}(n)$ виразом [3]

$$S_m^{(c)}(n) \approx nH_N^{(c)} + \frac{N^{1-c}}{1-c} \left(\frac{c-1}{2-c} n + \frac{\alpha^{(c)}(n)}{n^{1-c}} \right),$$

де $\alpha^{(c)}(n) = H_n^{(c-1)} - n^{2-c}/(2-c)$ — повільно зростаюча функція, із достатньо високою точністю можемо прийняти, що

$$E = \frac{1}{H_N^{(c)}} \left\{ H_N^{(c)} + \frac{N^{1-c}}{1-c} \left[\frac{1-c}{2-c} n - \frac{\alpha^{(c)}(n)}{n^{1-c}} \right] \right\}.$$

1.5. Порівняння результатів. Залежність математичного сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису, при різних законах розподілу ймовірностей звертання до записів, різній кількості процесорів і $N = 10^6$ ілюструють діаграми на рис. 1.

У табл. 1 наведені значення математичного сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису у файлі, який містить $N = 10^6$ записів, для розглянутих законів розподілу ймовірностей звертання до записів і різної кількості процесорів. Бачимо, що залежність математичного сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису у файлі, від зміни закону розподілу ймовірностей звертання до записів є дуже суттєвою. Для кожного

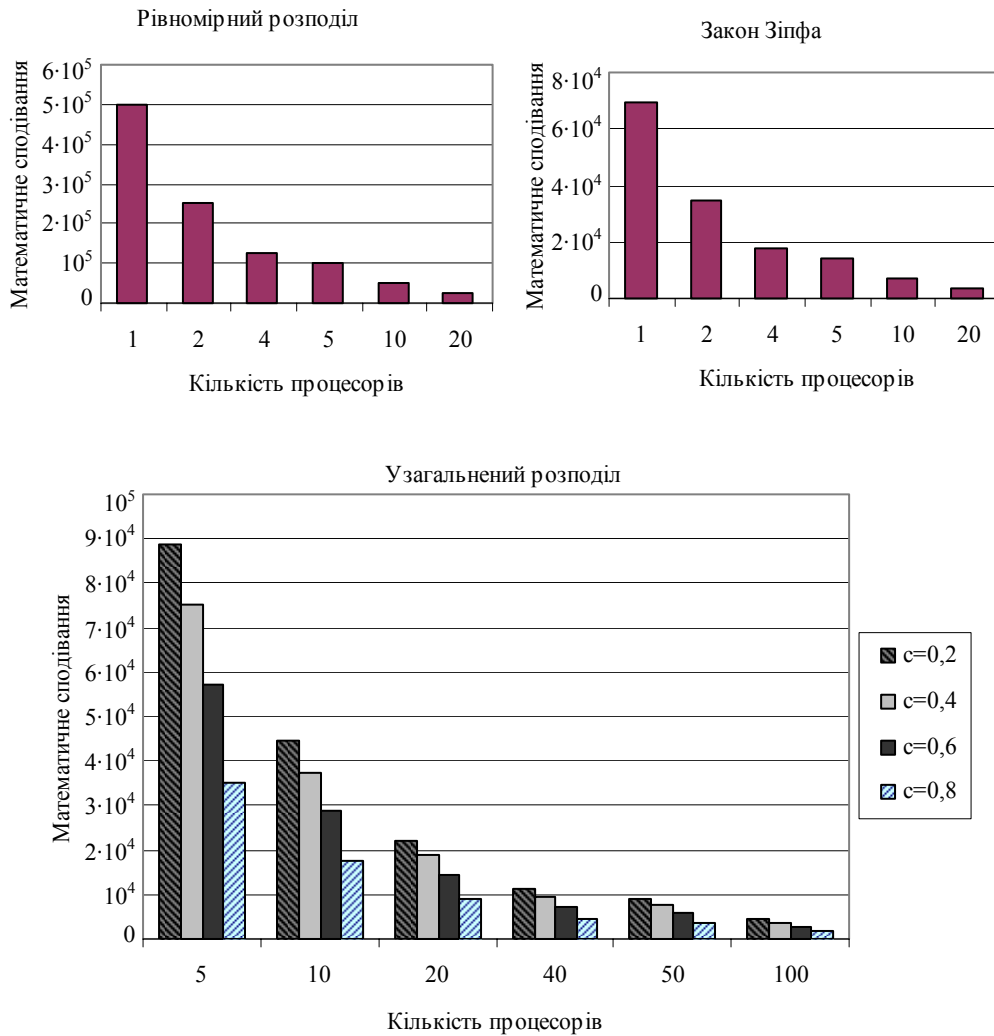


Рис. 1. Математичне сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису, за різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів і різної кількості процесорів у випадку $N = 10^6$

конкретного закону розподілу ймовірностей звертання до записів, окрім «бінарного», збільшення кількості процесорів у k разів приводить до зменшення математичного сподівання кількості паралельних порівнянь приблизно в k разів. Для «бінарного» розподілу ймовірностей збільшення кількості процесорів майже не впливає на математичне сподівання.

2. Використання методу m -паралельного послідовного перегляду для пошуку записів у послідовних файлах

Нехай $a_0 = b_0 + d_0 m$ — час зчитування блоку записів в основну пам'ять; b_0, d_0 — деякі сталі; t_0 — час виконання операції m -паралельного послідовного перегляду

Таблиця 1

Математичне сподівання кількості паралельних порівнянь, необхідних для пошуку запису у файлі, для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів і різної кількості процесорів

m	Рівномірний	Узагальнений				Зіпфа	«Бінарний»
		$c=0,2$	$c=0,4$	$c=0,6$	$c=0,8$		
1	500000,5	444448,9	375064,50	286605,9	176553,8	69480,0	2,000
2	250000,5	222224,7	187532,50	143303,2	88277,1	34740,3	1,334
4	125000,5	111112,6	93766,50	71651,9	44138,8	17370,4	1,067
5	100000,5	88890,2	75013,31	57321,6	35311,2	13896,4	1,032
10	50000,5	44445,3	37506,90	28661,0	17655,8	6948,5	1,001
20	25000,5	22222,9	18753,70	14330,8	8828,2	3474,5	1,000
40	12500,5	11111,7	9377,10	7165,6	4414,3	1737,6	1,000
50	10000,5	8889,5	7501,80	5732,6	3531,6	1390,2	1,000
100	5000,5	4445,0	3751,10	2866,6	1766,1	695,4	1,000

записів в основній пам'яті; E_t — математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі. Приймаємо, що для пошуку запису відбувається послідовне зчитування блоків записів в основну пам'ять та їх m -паралельний послідовний перегляд.

Тоді математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі, визначається за формулою

$$E_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (a_0 + t_0) i p_{(i-1)m+j}.$$

Запишемо явний вираз E_t для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів і дослідимо залежність E_t від зміни закону розподілу ймовірностей.

2.1. Рівномірний розподіл. Якщо розподіл ймовірностей звертання до записів є рівномірним, то для E_t одержуємо вираз

$$E_t = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{m} + 1 \right) (a_0 + t_0).$$

Звідси
$$\frac{E_t}{d_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{m} + 1 \right) \left(m + \frac{b_0 + t_0}{d_0} \right).$$

2.2. «Бінарний» розподіл. Нехай ймовірності звертання до записів задовольняють «бінарний» розподіл. Тоді для E_t маємо формулу

$$E_t = \frac{2^m (a_0 + t_0)}{2^m - 1} (1 - 2^{-N}).$$

Нехтуючи нескінченно малою величиною 2^{-N} , із достатньо високою точністю можемо прийняти, що $E_t = 2^m(a_0 + t_0)/(2^m - 1)$. Звідси

$$\frac{E_t}{d_0} = \frac{2^m}{2^m - 1} \left(m + \frac{b_0 + t_0}{d_0} \right).$$

2.3. Закон Зіпфа. Нехай імовірності звертання до записів задовольняють закон Зіпфа. Тоді для E_t одержуємо вираз

$$E_t = \frac{1}{H_N} [(n+1)H_N - S_m(n)](a_0 + t_0),$$

де $S_m(n) = \sum_{i=1}^n H_{im}$. Використовуючи апроксимацію суми $S_m(n)$ виразом

$$S_m(n) \approx n(H_N - 1) + \frac{1}{2} \ln n + C_1,$$

де $C_1 = 0,5 \ln 2\pi$, із достатньо високою точністю можемо прийняти, що

$$E_t = \frac{1}{H_N} \left(H_N + \frac{N}{m} - \frac{1}{2} \ln \frac{N}{m} - C_1 \right) (a_0 + t_0).$$

Звідси

$$\frac{E_t}{d_0} = \frac{1}{H_N} \left(H_N + \frac{N}{m} - \frac{1}{2} \ln \frac{N}{m} - C_1 \right) \left(m + \frac{b_0 + t_0}{d_0} \right).$$

2.4. Узагальнений закон. Нехай імовірності звертання до записів задовольняють узагальнений закон розподілу. Тоді для E_t маємо

$$E_t = \frac{1}{H_N^{(c)}} [(n+1)H_N^{(c)} - S_m^{(c)}(n)] (a_0 + t_0),$$

де $S_m^{(c)}(n) = \sum_{i=1}^n H_{im}^{(c)}$. Використовуючи апроксимацію $S_m^{(c)}(n)$ виразом

$$S_m^{(c)}(n) \approx nH_N^{(c)} + \frac{N^{1-c}}{1-c} \left[\frac{c-1}{2-c} n + \frac{\alpha^{(c)}(n)}{n^{1-c}} \right],$$

де $\alpha^{(c)}(n) = H_n^{(c-1)} - n^{2-c}/(2-c)$ — повільно зростаюча функція, із достатньо високою точністю можемо прийняти

$$E_t = \frac{1}{H_N^{(c)}} \left\{ H_N^{(c)} + \frac{N^{1-c}}{1-c} \left[\frac{1-c}{2-c} n - \frac{\alpha^{(c)}(n)}{n^{1-c}} \right] \right\} (a_0 + t_0).$$

Звідси

$$\frac{E_t}{d_0} = \frac{1}{H_N^{(c)}} \left\{ H_N^{(c)} + \frac{N^{1-c}}{1-c} \left[\frac{1-c}{2-c} n - \frac{\alpha^{(c)}(n)}{n^{1-c}} \right] \right\} \left(m + \frac{b_0 + t_0}{d_0} \right).$$

2.5. Порівняння результатів. Діаграми на рис. 2 ілюструють залежність функції E_t/d_0 , яка характеризує математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі, від зміни кількості процесорів для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів і $N = 10^5$.

У табл. 2 наведені значення функції E_t/d_0 , для згаданих вище законів розподілу ймовірностей звертання до записів, різної кількості процесорів, $N = 10^5$ і $(b_0 + t_0)/d_0 = 100$.

Бачимо, що на відміну від математичного сподівання кількості паралельних порівнянь, функція E_t/d_0 спадає дещо повільніше зі збільшенням кількості процесорів. Наприклад, для всіх розглянутих законів розподілу ймовірностей звертання до записів, окрім «бінарного», зі збільшенням кількості процесорів від 1 до 2 значення функції зменшується приблизно на 98 %, а вже зі збільшенням кількості процесорів від 50 до 100 (тобто теж у 2 рази) значення функції зменшується лише на 50 %. За «бінарного» закону розподілу ймовірностей, функція E_t/d_0 починає зростати при $m > 5$.

Таблиця 2

Значення функції E_t/d_0 для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів і різної кількості процесорів

m	Рівномірний	Узагальнений				Зіпфа	«Бінарний»
		$c=0,2$	$c=0,4$	$c=0,6$	$c=0,8$		
1	5050051	4489185	3790120	2908476	1847328	835436	202
2	2550051	2266842	1913848	1468662	932835	421880	136
4	1300052	1155671	975713	748756	475589	215104	111
5	1050053	933437	788087	604775	384141	173749	108
10	550055	488971	412835	316814	201245	91043	110
20	300060	266741	225213	172838	109802	49696	120
40	175070	155634	131409	100858	64089	29033	140
50	150075	133416	112652	86465	54950	24905	150
100	100100	88994	75151	57695	36689	16670	200

Висновки. У роботі запропоновано метод m -паралельного послідовного пошуку записів у послідовних файлах баз даних, який орієнтований на його використання в багатопроцесорних ЕОМ. Досліджено ефективність цього методу для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів, а саме: рівномірного, «бінарного», Зіпфа й узагальненого. Досліджено також ефективність використання методу m -паралельного послідовного перегляду для пошуку записів у послідовних файлах, що містяться в зовнішній пам'яті багатопроцесорних ЕОМ.

Порівнюючи ефективність методів послідовного перегляду та m -паралельного послідовного перегляду, приходимо до висновку, що розпаралелювання

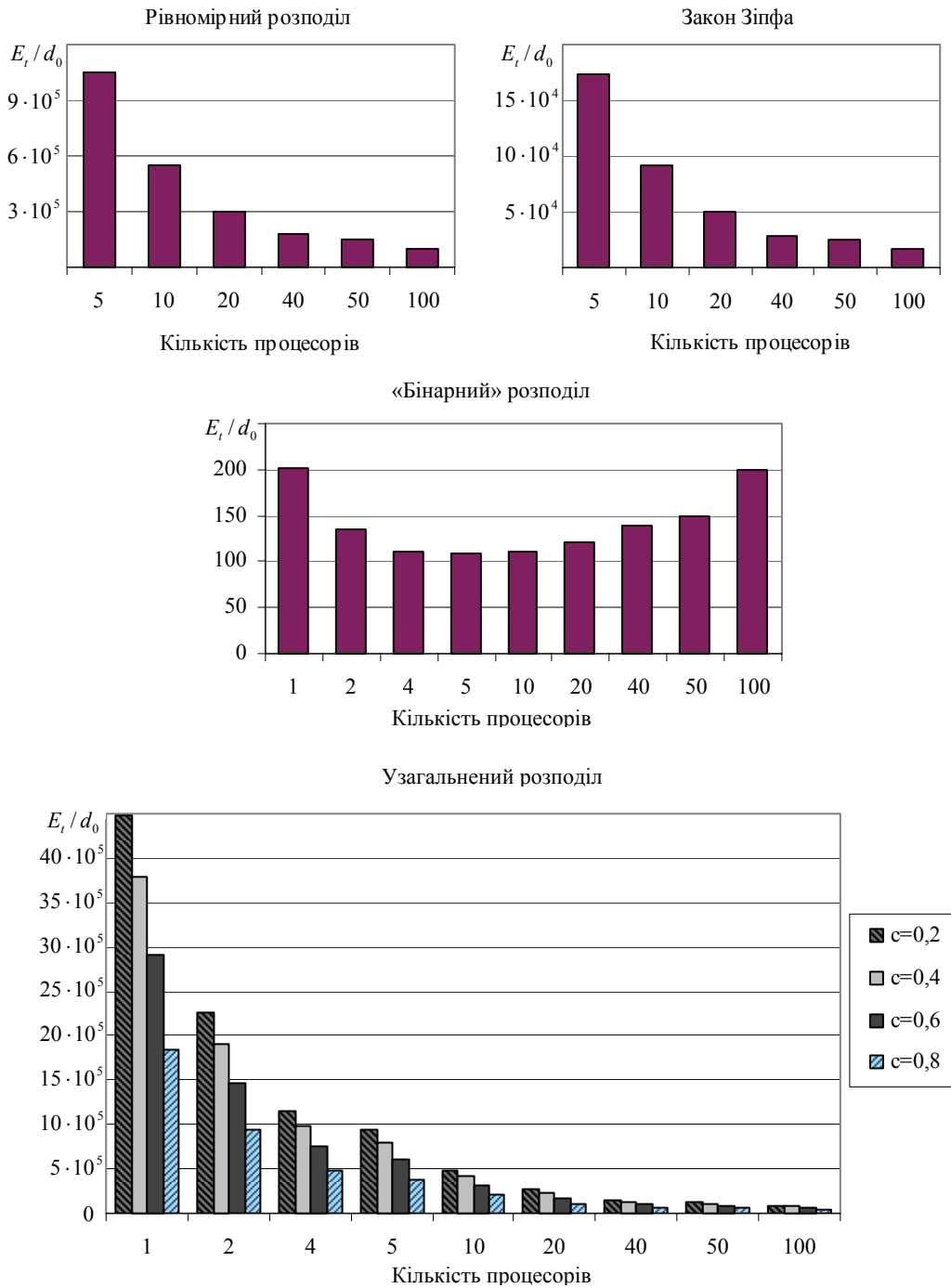


Рис. 2. Залежність функції E_t/d_0 від зміни кількості процесорів для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів у випадку $N = 10^5$ і $(b_0 + t_0)/d_0 = 100$

методу послідовного перегляду для усіх розглянутих законів розподілу ймовірностей звертання до записів, окрім «бінарного», підвищує ефективність лише до певних значень $m = \bar{m}$. Для значень, які перевищують \bar{m} , спостерігається незначне збільшення ефективності зі збільшення кількості процесорів. А у випадку «бінарного» закону розподілу ймовірностей — збільшення кількості процесорів понад 5 погіршує ефективність роботи.

Література

- [1] Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т. 3: Сортировка и поиск. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2000. — 832 с.
- [2] Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. — М: Мир, 1980. — 644 с.
- [3] Цегелик Г. Г. Организация и поиск информации в базах данных. — Львов: Вища школа, 1987. — 176 с.
- [4] Філяк М. І., Цегелик Г. Г., Дороцька Х. С. Порівняльний аналіз ефективності методу послідовного перегляду для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів // Вісник НУ «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. — 2000. — № 406. — С. 226-231.

The m -Parallel Sequential Record Browsing Method and its Application for Information Search in Sequential Files of Databases

Volodymyr Lisovets, Hryhoriy Tsehelyk

The m -parallel method of sequential search of records in a database file is proposed. The method is designed for use in multiprocessors computers. We research the effectiveness of the method for different probability distribution of record request frequency. The mathematical expectation of parallel comparisons number needed for search of a record in file is taken as a criterion of effectiveness. The method effectiveness for record searching in sequential files stored on external memory of multiprocessors computers is investigated as well.

Метод m -параллельного последовательного пересмотра записей и его использование для поиска информации в последовательных файлах баз данных

Владимир Лисовец, Григорий Цегелик

Предлагается метод m -параллельного последовательного поиска записей в файлах баз данных, ориентированный на его использование в многопроцессорных ЭВМ. Исследуется эффективность этого метода для известных законов распределения вероятностей обращения к записям. В качестве критерия эффективности принимается математическое ожидание количества параллельных сравнений, необходимых для поиска записи в файле. Также исследуется эффективность использования метода m -параллельного последовательного пересмотра для поиска записей в последовательных файлах, содержащихся во внешней памяти многопроцессорных ЭВМ.

Отримано 25.02.07