ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 681.325.5

О. Д. Азаров[1]
О. І. Черняк[1]

МЕТОД ШВИДКОЇ ОБЕРНЕНОЇ ЛІЧБИ З ЛІНІЙНИМ ЗРОСТАННЯМ АПАРАТНИХ ВИТРАТ ПРИ НАРОЩУВАННІ РОЗРЯДНОСТІ

[1]Вінницький національний технічний університет

Описано метод і структурну організацію оберненої лічби у фібоначчієвій системі числення, що дозволяє будувати лічильники з високою швидкодією та лінійним зростанням апаратних витрат при нарощуванні розрядності.

Ключові слова: швидкодіючий лічильник, код Фібоначчі, EAR-перетворення.

Вступ

Розширення сфер використання обчислювальних засобів привело до збільшення розрядності оброблюваних кодів. Розрядність у 64 і навіть у 128 біт широко використовується у цифровій техніці [1]. Оскільки арифметичні операції над кодами тісно пов'язані з перенесеннями і запозиченнями, що потребують значного часу для свого виконання, то актуальним є питання підвищення швидкодії цифрових пристроїв. Особливо гостро воно постає при виконанні лічби, оскільки ця операція зазвичай має значну кількість ітерацій. Традиційні схемотехнічні методи підвищення швидкодії лічильників базуються на збільшенні апаратних витрат за незмінної цифрової форми представлення інформації [2]. Такий підхід приводить до експоненціального зростання апаратних витрат при нарощуванні розрядності і тому є неприйнятним для організації лічильників з великою розрядністю. Через це розробникам доводиться поступатись швидкодією багаторозрядних лічильників задля можливості їх практичної реалізації, використовуючи різні комбінації методів підвищення швидкодії та зменшення апаратних витрат. Авторами запропоновано метод швидкої лічби у фібоначчієвій системі числення, оснований на інформаційно-структурному підході до побудови лічильників [3]. Суть його полягає у використанні інформаційної надлишковості і схемотехнічних рішень, що у сукупності дозволяє будувати лічильники з високою швидкодією і малими апаратними витратами. Проте, на сьогодні відсутні наукові публікації, що стосуються розробки методів швидкої оберненої лічби з малими апаратними витратами.

Метою статті є розробка методу оберненої лічби у фібоначчієвій системі числення, який дозволяє будувати лічильники з високою незалежною від розрядності швидкодією та лінійним зростанням апаратних витрат при нарощуванні розрядності.

Задачі

— Розробити метод оберненої лічби на основі EAR-перетворення коду.
— Визначити обмеження на форму фібоначчієвого коду для швидкої оберненої лічби.
— Визначити тип тригерів що забезпечують найменші апаратні витрати для побудови лічильника.
— Розробити вирази для логічних функцій комбінаційної частини.
— Побудувати схему структурної організації лічильника на обраних тригерах і логічних елементах.
— Перевірити працездатність, оцінити швидкодію та апаратні витрати розробленої схеми.

Розробка і аналіз методу

Суть запропонованого авторами методу оберненої лічби полягає у EAR-перетворенні коду лічильника, яке відбувається одночасно з відніманням одиниці його молодшого розряду. EAR-

© О. Д. Азаров, О. І. Черняк, 2015

перетворенням деякого розряду коду у фібоначчієвій системі числення називається умовна арифметична операція, що полягає у відніманні одиниці від певного розряду і додаванні одиниць у два сусідніх молодших розряди [4]. Умовою виконання EAR-перетворення розряду є наявність одиниці у цьому розряді і нулів у двох сусідніх молодших розрядах. На рис. 1 показано приклад виконання EAR-перетворення коду 10100110.

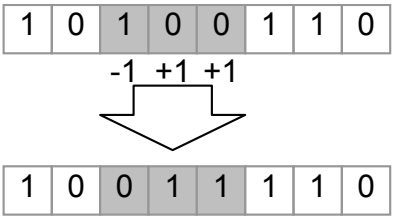

Рис. 1. EAR-перетворення фібоначчієвого коду

EAR-перетворення коду у фібоначчієвій системі числення не змінює його числового значення завдяки наявності адитивного співвідношення виду 100 = 011. Таке перетворення аналогічне відомій операції розгортки у цій системі числення [5]. Проте, на відміну від логічної операції розгортки, EAR-перетворення коду за своєю суттю є арифметичною операцією і тому точніше відповідає перенесенню одиниць у молодші розряди, яке також відоме під назвою запозичення. Загальний вираз для коду $C_0^{n-1}(i)$ лічильника, що віднімає, на *i*-му такті на основі його коду $C_0^{n-1}(i-1)$ на (*i*-1)-му такті матиме такий вигляд:

$$C_0^{n-1}(i) = EAR\left(C_0^1(i-1)\right) + EAR\left(C_0^2(i-1)\right) + EAR\left(C_1^2(i-1)\right) + EAR\left(C_2^2(i-1)\right) + \ldots + EAR\left(C_{n-3}^2(i-1)\right) + 1.$$

Для оберненої лічби за допомогою EAR-перетворення початковий код лічильника повинен мати форму, що має не більше трьох нулів підряд у п'яти молодших розрядах, наприклад, ...10001. У фібоначчієвій системі числення таку форму можна отримати для будь-якого коду шляхом його AR-перетворення. У разі оберненої лічби, починаючи з коду ...10001, на першому такті виконується EAR-перетворення четвертого розряду і віднімається одиниця у молодшому розряді. Тобто, спочатку утворюється код ...01101, який потім перетворюється у код ...01100. На другому такті виконується EAR-перетворення четвертого розряду і віднімається одиниця у молодшому розряді. На цьому такті спочатку утворюється код ...01011, який потім перетворюється у код ...01010 і так далі. Як видно з прикладу, вказана форма початкового коду забезпечує наявність одиниці у нульовому або в першому розрядах протягом дев'яти тактів, оскільки код 10001 має значення 9. Тому для подальшого коректного виконання оберненої лічби потрібно, щоб не пізніше, ніж через 8 тактів знову у лічильнику був код, в якому не більше трьох нулів підряд між двома молодшими одиницями коду. Оскільки кожне EAR-перетворення виконує перенесення у два молодших розряди, то за 8 тактів перенесення розповсюдиться на 16 розрядів. Тому для коректної оберненої лічби між другою і третьою молодшими одиницями повинно бути не більше 15 нулів, як це показано на рис. 2.

	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1					
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
3	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
4	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
6	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
8	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1

Рис. 2. Розповсюдження перенесення у молодші розряди

Вказані обмеження на форму коду стосуються молодших двадцяти розрядів лічильника. У розрядах старших від двадцятого для існуючих розрядностей лічильників обмеження на форму коду не накладаються, оскільки кількість підряд розташованих нулів у цих розрядах має бути не більше ніж 34000, що на практиці завжди виконується.

Структурна організація оберненого лічильника повинна базуватись на використанні тригерів, що дозволяють встановлювати їх у новий стан на основі аналізу свого ж попереднього стану. Це можуть бути, наприклад, синхронні лічильні тригери. Використання тригерів цього типу забезпечує побудову комбінаційної частини лічильника з найменшими апаратними витратами, оскільки EAR-перетворення можна реалізувати як інвертування трьох сусідніх розрядів, якщо у них знаходиться код 100. Комбінаційна частина лічильника повинна у кожному *i*-му розряді містити два логічних елемента: $E1_i$ і $E2_i$. Елемент $E1_i$ призначений для виділення умови *i*-го EAR-пере-

творення, а елемент $E2_i$ призначений для формування сигналу інвертування стану *i*-го тригера за умови EAR-перетворення в одному з трьох сусідніх розрядів. Враховуючи особливості структурної організації крайніх молодших і крайніх старших розрядів, булеві вирази для логічних елементів $E1_i$ і $E2_i$ можна представити у такому вигляді:

$$E1_2: \overline{Q_2 \wedge \overline{\overline{Q_1}}};$$

$$E1_j: \overline{Q_j \wedge \overline{\overline{Q_{j-1}}} \wedge \overline{\overline{Q_{j-2}}}};$$

$$E2_1: \overline{\overline{Q_2} \wedge \overline{\overline{Q_1}}};$$

$$E2_j: \overline{E1_j \wedge E1_{j+1} \wedge E1_{j+2}};$$

$$E2_{N-1}: \overline{E1_N \wedge E1_{N-1}}; \quad E2_N: \overline{E1_N}.$$

На рис. 1 зображено структурну організацію п'ятирозрядного лічильника, що віднімає, у фібоначієвій системі числення.

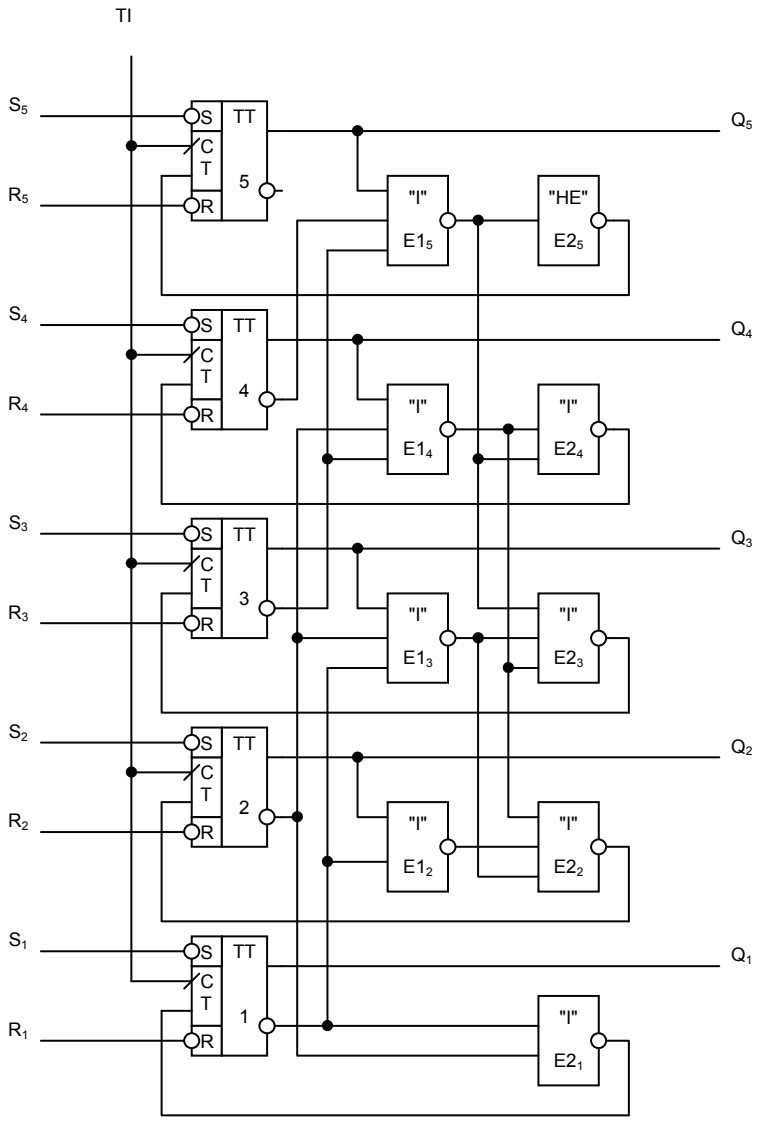

Рис. 3. Структурна організація лічильника, що віднімає, у фібоначієвій системі числення

Як видно з рисунка, запропонований лічильник має регулярну структуру зв'язків, а його комбінаційна частина може бути виконана на однотипних логічних елементах «І-НЕ». Це надає можливість ефективної реалізації таких лічильників в інтегральному виконанні. Час переходу лічильника у новий стан визначається затримкою найдовшого шляху розповсюдження перехідного процесу та

дорівнює сумі затримок перемикання тригера і двох логічних схем «І-НЕ». Це забезпечує незалежну від розрядності високу швидкодію цього лічильника майже таку саму, як у відомого лічильника з паралельним перенесенням. Проте, на відміну від лічильника з паралельним перенесенням, у запропонованому лічильнику при нарощуванні розрядності апаратні витрати збільшуються лінійно, а не експоненціально. Це дозволяє організувати високоефективну обернену лічбу для будь-якої розрядності. Робота цього лічильника перевірена на моделі у середовищі ActiveHDL. Результати моделювання підтвердили його працездатність.

На рис. 4 показано послідовності сигналів, які у кожному такті роботи запропонованого лічильника формуються на виходах тригерів (сигнали Q1—Q5), на виходах схем «І-НЕ» першого рівня (сигнали $E1_2$—$E1_5$) і на виходах схем «І-НЕ» другого рівня (сигнали $E2_1$—$E2_5$), а також коди станів лічильника та значення цих кодів.

Виходи тригерів

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q4	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Q3	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Q2	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
Q1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1

Схеми «І-НЕ» першого рівня

$E1_5$	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$E1_4$	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
$E1_3$	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
$E1_2$	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1

Схеми «І-НЕ» другого рівня

$E2_5$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$E2_4$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$E2_3$	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
$E2_2$	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
$E2_1$	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1

Стани лічильника

№	Код					Зн.
0	1	0	0	1	1	11
1	0	1	1	1	0	10
2	0	1	1	0	1	9
3	0	1	1	0	0	8
4	0	1	0	1	0	7
5	0	1	0	0	1	6
6	0	0	1	1	0	5
7	0	0	1	0	1	4
8	0	0	1	0	0	3
9	0	0	0	1	0	2
10	0	0	0	0	1	1

Рис. 4. Послідовності сигналів під час роботи лічильника

Висновки

— Розроблено метод швидкої оберненої лічби на основі EAR-перетворення коду у фібоначчієвій системі числення.

— Визначено обмеження на форму початкового фібоначчієвого коду лічильника.

— Побудована схема структурної організації лічильника, що має однорідну структуру зв'язків і однотипні логічні елементи.

— Перевірена працездатність лічильника у середовищі ActiveHDL.

— Розроблений метод оберненої лічби дозволяє будувати лічильники з високою незалежною від розрядності швидкодією та лінійним зростанням апаратних витрат при нарощуванні розрядності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лопатин С. Ю. Методы умножения чисел большой разрядности / С. Ю. Лопатин // Искусственный интеллект. — 2014. — № 4. — С. 776—784.

2. Комп'ютерна електроніка. Елементи цифрових схем : навч. посіб. / О. Д. Азаров, В. В. Байко, М. Р. Обертюх / За заг. ред. О. Д. Азарова. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 170 с. / МОНУ (Лист №14/18 — 2 — 1696 від 22.10 2003 р.). — 170 с.

3. Азаров О. Д. Метод побудови швидкодіючих фібоначчієвих лічильників / О. Д. Азаров, О. І. Черняк // Проблеми інформатизації та управління — 2014. — № 2(46). — С. 5—8.

4. Азаров О. Д. Повнофункціональна побітова потокова арифметика зі зменшеними витратами обладнання : моногр. / О. Д. Азаров, О. І. Черняк. — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 200 с.

5. Стахов А. П. Коды золотой пропорции / А. П. Стахов. — М. : Радио и связь, 1983. — 152с., ил. — (Кибернетика).

Рекомендована кафедрою обчислювальної техніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 6.11.2014

Азаров Олексій Дмитрович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки;
Черняк Олександр Іванович — канд. техн. наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, e-mail: alexandr.chernyak@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. D. Azarov[1]
O. I. Cherniak[1]

Method of quick decrement count with linear hardware increasing when orders are adding

[1]Vinnytsia National Technical University

The method and structural organization of quick decrement count in Fibonacci numerical system are described, which allow creating of counters with high speed and linear hardware increasing when orders are adding.

Keywords: speed counter, Fibonaccy code, EAR-transform.

Azarov Oleksii D. **—** Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Computer Technique;
Cherniak Oleksandr I. **—** Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Computer Technique, e-mail: alexandr.chernyak@gmail.com

А. Д. Азаров[1]
А. И. Черняк[1]

Метод быстрого обратного счета с линейным ростом аппаратных затрат при наращивании разрядности

[1]Винницкий национальный технический университет

Описаны метод и структурная организация обратного счета в фибоначчиевой системе счисления, что позволяет создавать счетчики с высоким быстродействием и линейным ростом аппаратных затрат при наращивании разрядности.

Ключевые слова: быстродействующий счетчик, код Фибоначчи, EAR-преобразование.

Азаров Алексей Дмитриевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники;
Черняк Александр Иванович — канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники, e-mail: alexandr.chernyak@gmail.com