

2. Псевдо SH-модель є моделлю комп'ютерної програми. Вона дозволяє розширити існуючий перелік характеристик складності для оцінки програмного продукту за рахунок структурної складності – інформаційного вмісту блок-схеми програми.

3. Псевдо SH-модель програми має властивість ієрархічності, що дозволяє використовувати її для аналізу структурної складності програмного продукту на різних рівнях детальності.

1. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. *Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с англ. – М.: МЦНМО, 2000* 2. Черкаський М.В. *SH-модель алгоритму // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2001. – № 433. – С. 127–134. 3. Касперски К. *Техника оптимизации программ. Эффективное использование памяти. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.*

УДК 621.3

**М.В. Черкаський, Хусейн Халіл Мурад**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних обчислювальних машин

## УНІВЕРСАЛЬНА SH-МОДЕЛЬ

© Черкаський М.В., Мурад Хусейн Халіл, 2004

**Показано, що універсальна SH-модель відрізняється від універсальних математичних моделей алгоритмів за призначенням і способом синтезу. Розглянуті принципи побудови універсальної SH-моделі з погляду теорії складності апаратно-програмних алгоритмів. Сформульовані вимоги оптимізації до універсальної SH-моделі, що складається з двох SH-моделей – функціональної та керуючої.**

**Shown, that the universal SH-model differs from universal mathematical models of algorithms by the destination and the way of synthesis. The considered principles of construction the universal SH-model from the point of view of the theory of complexity of hardware-software algorithms. The formulated requirements of optimization to universal SH-model which will consist of two SH-models – functional and controlling.**

**Вступ.** Поняття “універсальність” алгоритмічних систем використовується у математичній теорії абстрактних алгоритмів. Першою в історичному плані універсальною алгоритмічною системою був апарат рекурсивних функцій [1]. Універсальність допомагає довести наявність вирішення будь-яких математичних проблем за допомогою обмеженого набору спеціальних функцій. Досі рекурсивні функції залишаються основним інструментом дослідження проблем розв’язувальності.

Наступним кроком розвитку теорії алгоритмів стали дослідження машиноорієнтованих абстрактних моделей алгоритмів. Першою з них була машина Тюрінга [2]. Вона використовує одну і ту саму структуру (нескінченну стрічку, головку, програму) для реалізації будь-якого алгоритму, але для кожного алгоритму має власну програму і для кожної задачі має власну конфігурацію початкових даних, розташованих в комірках стрічки. Машина Тюрінга дозволила уточнити поняття алгоритму, описати перелік параметрів і характеристик, започаткувати теорію складності алгоритмів. Ця абстрактна модель дає майже повне уявлення про всі властивості алгоритму, в тому числі про властивість масовості, яка означає, що один і той самий алгоритм може розв’язувати множини задач деякого класу. Інакше кажучи, машина Тюрінга з однією і тією самою програмою може розв’язувати задачі з різними конфігураціями початкових даних, якщо зовнішні алфавіти програми і даних збігаються. Одна програма – один клас обчислювальних задач.

Універсальна машина Тюрінга повинна мати одну розширену програму, яка б дозволяла розв’язувати будь-які обчислювальні задачі. Під час побудови цієї машини виникають дві проблеми. По-перше, вибір способу кодування конфігурацій даних і програм; по-друге, вибір способу розміщення

універсальної програми. Обидві проблеми принципово вирішують використанням мінімізованої за потужністю множини символів кодування зовнішнього та внутрішнього алфавітів і розміщення кодів програм на тій самій стрічці, на якій розташовані коди конфігурацій даних, наприклад, на її лівій половині [3]. Основне призначення універсальної машини Тюрінга – дослідження таких суто теоретичних проблем математики як проблеми розпізнавання застосовності, самозастосовності та інші. З погляду аналізу характеристик складності універсальна машина Тюрінга суттєво поступається не універсальній машині Тюрінга. Дистанція розходження принципів функціонування універсальної машини Тюрінга і реальним комп'ютером зростає.

Подібна ситуація спостерігається під час побудови універсальної алгоритмічної системи на основі нормальних алгоритмів Маркова. Принципово доведена можливість побудови такої алгоритмічної системи, яка може реалізувати всі відомі нормальні алгоритми, але розв'язання навіть найпростіших задач за її допомогою є дуже складним, потребує збільшення перш за все інтелектуальних зусиль.

Для прикладних досліджень універсальних алгоритмічних систем обчислень потрібні інші моделі, які б об'єднали здобутки теорії абстрактних алгоритмів з практикою проектування і розв'язання задач на реальних комп'ютерах. Такою моделлю може бути SH-модель алгоритму.

**Особливості SH-моделі.** SH-модель алгоритму (Software/Hardware – апаратно/програмна модель) відповідає інтуїтивному тлумаченню поняття “алгоритм”, наприклад, такому, що наведене в математичній енциклопедії: “Алгоритм – точний припис, який задає обчислювальний процес (що називається в цьому випадку алгоритмічним), що починається з довільного початкового даного (з деякої сукупності можливих для даного алгоритму початкових даних) і спрямований на отримання результату, який повністю визначається цим початковим даним” [4]. Точний припис в SH-моделі задається апаратними і програмними засобами. Принциповою відмінністю SH-моделі від математичних моделей абстрактних алгоритмів є наявність у її визначенні деякої конфігурації апаратних засобів  $G=(XU)$ , що складається з двох множин: множини елементарних перетворювачів  $X$  і множини міжз'єднань  $U$  [5]. Математичні моделі абстрактних алгоритмів таких засобів не мають (хоча апаратні засоби використовуються ними для пояснення принципу дії моделі, наприклад головка в машині Тюрінга; розпізнавачі і перетворювачі в нормальних алгоритмах Маркова). Отже, наявність апаратних засобів у складі SH-моделі алгоритму за змістом наближає її до комп'ютерної системи, що дає нам право називати SH-модель *комп'ютерною моделлю алгоритму*. Описана принципова особливість SH-моделі є основою для її побудови, для опису її властивостей, характеристик. Центральним моментом структури SH-моделі є елементарний перетворювач.

**Елементарні перетворювачі.** SH-модель не має раз і назавжди встановленої структури апаратних засобів. Однак кожна конкретна модель алгоритму стосовно апаратної побудови має точно окреслену структуру, яка складається з двох множин: множини елементарних перетворювачів і множини міжз'єднань:

$$\begin{aligned} E &= \{e_1, e_2 \dots e_n\}; \\ U &= \{u_1, u_2 \dots u_m\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Апаратні засоби містять один або декілька елементарних перетворень. Елементарний перетворювач  $x_i$  перетворює деяку сукупність початкових даних  $d_i$  у сукупність вихідних даних  $d'_i$ :

$$x_i : \{d_i\} \rightarrow \{d'_i\}. \quad (2)$$

Елементарний перетворювач – уявний образ неподільного елемента схеми апаратних засобів SH-моделі, який задається чорною скринькою, що має входи, на які подаються вхідні дані, та виходи, з яких знімається результат виконання заданої наперед функції. Будемо розрізняти два види чорних скриньок: а) з входом і виходом даних, б) з входом і виходом даних, а також з входом управління. Перша моделює елементарний перетворювач лише з апаратним перетворенням даних (апаратною реалізацією алгоритму), друга – елементарний перетворювач з апаратним перетворенням даних під зовнішнім керуванням (апаратно-програмною реалізацією алгоритму).

**Визначення:** а) елементарний перетворювач без зовнішнього керування – це трійка:

$$(I, \Phi, O),$$

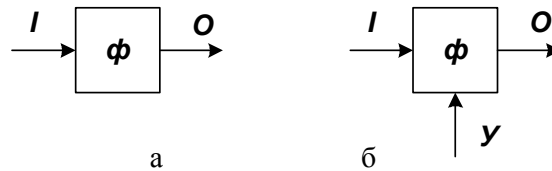
де  $I$  – вхід,  $\Phi$  – функція перетворення,  $O$  – вихід.

б) елементарний перетворювач із зовнішнім керуванням – це четвірка:

$$(I, \Phi, Y, O),$$

де  $I$  – вхід,  $\Phi$  – функція перетворення,  $Y$  – вхід керуючого сигналу,  $O$  – вихід.

На рисунку схематично показано два види елементарних перетворювачів.



Елементарні перетворювачі

Підведемо підсумок щодо особливостей кроку SH-моделі алгоритму.

**Перший висновок.** Елементарні перетворювачі без зовнішнього керування і з ним можуть виконувати операції будь-яких ієрархічних рівнів, починаючи від простіших булевих перетворень, обчислювальних операцій (підсумування, віднімання, множення, ділення) до елементарних і спеціальних функцій. Отже: *SH-модель алгоритму має властивість ієрархічності.*

**Другий висновок** торкається властивості “масовість”. Масовість SH-моделі алгоритму має подвійний характер. Для елементарного перетворювача і системи перетворювачів без керування властивість “масовість” зберігає свій звичайний зміст. Для елементарного перетворювача і системи перетворювачів із зовнішнім керуванням зміст цієї властивості суттєво розширений. За сигналами керування функція елементарного перетворювача змінюється. Він набуває можливості реалізувати деяку множину функцій. Потужність множини визначається внутрішньою структурою перетворювача і кількістю кодів керування. Отже: *елементарний перетворювач і система перетворювачів із зовнішнім керуванням мають розширене тлумачення масовості*

**Третій висновок** торкається параметра алгоритму – правила безпосереднього перероблення. На відміну від абстрактних моделей алгоритму *правило безпосереднього перероблення SH-моделі реалізується елементарним перетворювачем, системою перетворювачів або елементарним перетворювачем, системою перетворювачів спільно з програмним керуванням.*

**Універсальність моделі алгоритму.** Досі ми обговорювали моделі, які дають змогу реалізувати лише один алгоритм обробки даних. При цьому необхідно подати на вхід елементарного перетворювача або системи елементарних перетворювачів вхідні дані, вивести їх з виходу, забезпечити обмін з пам’яттю, задати правила початку і закінчення.

При переході на реалізацію іншого алгоритму змінюється правило безпосереднього перероблення: змінюється внутрішня структура елементарних перетворювачів, переналаштовується конфігурація зв’язків між ними, забезпечується вивід-ввід проміжних результатів. Всі ці операції проводяться за допомогою пристрою керування, який є невід’ємною частиною універсальної SH-моделі.

Отже, універсальна SH-модель складається з двох частин: функціональної і пристрою керування. Функціональна частина призначена для реалізації обчислювального процесу перетворення, передавання і зберігання даних та адрес. Вона власними апаратними засобами за допомогою сигналів керування реалізує обчислювальний процес. Пристрій керування організовує цей процес: генерує мікропрограми для виконання операцій, що перераховані у попередніх двох абзацах. Обидві частини об’єднуються двома потоками сигналів: від пристрою керування – потік мікрокоманд, а від функціональної частини – потік сигналів про особливі ситуації, що виникають при виконанні обчислювального процесу. На вхід функціональної частини подаються вхідні дані, на

вхід пристрою керування подаються команди на виконання обчислювальних операцій. Пристрій керування, як і функціональну частину, доцільно представити SH-моделями алгоритму.

Отже, універсальна SH-модель складається з двох SH-моделей. Кожна модель має свої характеристики складності [5]. *Виникає задача оптимізації цих характеристик складності за критерієм збільшеної продуктивності при фіксованій вартості відносно існуючих зразків.* Основне призначення універсальної SH-моделі полягає у розв'язанні цієї задачі.

**Принципи оптимізації SH-моделі.** Для реальних обчислень найважливішою характеристикою SH-моделі є часова складність. Вона однозначно зв'язана з продуктивністю комп'ютерних засобів, побудованих на основі SH-моделі. У зв'язку з дуалізмом тлумачення поняття елементарного перетворювача існує два визначення:

1) часова складність SH-моделі визначається кількістю елементів схеми, що належать максимальному критичному шляху розповсюдження сигналу

$$L = |\max X_i|, \quad (3)$$

де  $\max X_i$  – кортеж елементів SH-моделі, що належать до максимального критичного шляху розповсюдження сигналу, включаючи повторні проходження елементів в циклі;

2) часова складність SH-моделі визначається кількістю дискретів часу часової діаграми реалізації алгоритму

$$L = nl, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість дискретів часу;  $l$  – часова складність одного елементарного перетворювача.

Перехід від часової складності до визначення часу спрацювання схеми наведений у такій формулі:

$$T = L\tau(x), \quad (5)$$

де  $\tau(x)$  – усереднена реальна затримка сигналу даних на елементі  $x$  комп'ютерної схеми.

Складові універсальної SH-моделі на кожному кроці працюють послідовно з часовою складністю:

$$\Delta L = \Delta l_1 + \Delta l_2. \quad (6)$$

Спочатку генерується сигнал керування з часовою складністю  $\Delta l_2$ , потім спрацьовує функціональна частина з затримкою  $\Delta l_1$ . В середньому  $\Delta l_1 \gg \Delta l_2$ , тому мінімізація часової складності універсальної SH-моделі зводиться до мінімізації часової складності функціональної частини. Перетворення SH-моделі пристрою керування в процесі цієї мінімізації відіграє допоміжну роль.

При мінімізації часової складності SH-моделі використовуються такі основні способи:

- 1) конвексія;
- 2) паралелізм;
- 3) апаратне виконання операцій.

Перші два способи практично не впливають на вимоги до значень характеристик складності пристрою керування. Третій значним ступенем визначає вимогу до апаратної складності пристрою керування. Використання апаратного виконання операцій потребує за всіх інших рівних умов суттєвого збільшення площі кристала під функціональну частину. Звідси виникає вимога зменшення площі під пристрій керування і, як наслідок, вимога мінімізації його апаратної складності.

Суттєве зменшення часової складності функціональної частини дає використання “коротких” команд, обмежених кількістю простіших операцій. Ця задача розв'язується двома способами. По-перше, скороченням загальної кількості команд (виключення з набору “довгих” команд – RISC-архітектура), що подаються на вхід системи. Цей спосіб дозволяє суттєво зменшити апаратну складність пристрою керування. Другий спосіб дозволяє розв'язати задачу трансляцією довгих команд у короткі в межах пристрою керування. Зменшення часової складності досягається тут суттєвим збільшенням апаратної складності пристрою керування. Ще одним недоліком способу є помітне збільшення часової складності генерації команд. Цей спосіб доцільно використовувати лише у розробках, що успадковують попередні моделі з розширеним набором команд.

**Висновки.** 1. Універсальні моделі абстрактних алгоритмів дають змогу вирішити теоретичні проблеми; універсальна SH-модель призначена для розв'язання задач оптимізації характеристик складності апаратно-програмних комп'ютерних засобів.

2. Ключову роль у дослідженні SH-моделей відіграє поняття елементарного перетворювача.

3. Універсальна SH-модель алгоритму складається з двох SH-моделей – функціональної частини і пристрою керування.

4. Вимоги до SH-моделі функціональної частини не збігаються з вимогами до SH-моделі пристрою керування. Якщо для першої – головним є мінімізація часової складності, то для другої – мінімізація апаратної складності.

1. Мальцев А.И. *Алгоритмы и рекурсивные функции.* – М.: Наука, 1986. 2. Трахтенброт Б.А. *Алгоритмы и вычислительные автоматы.* – М.: Сов. радио, 1974. 3. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. *Дискретная математика для инженера.* – М.: Энергия, 1980. 4. *Математическая Энциклопедия / Гл. ред. И.М. Виноградов.* – М.: Советская Энциклопедия, 1977. 5. 4. Черкаський М.В. *SH-модель алгоритму // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2001. – № 433. – С. 127–134.

УДК 621

**Зб. Щесьяк<sup>2</sup>, М.М. Дорожовець<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,

<sup>2</sup> Політехніка Сьв'єнтокшиска,  
факультет Електротехніки, Автоматики і Інформатики, Кельце, Польща,

<sup>3</sup> Жешувська політехніка,  
кафедра метрології та вимірювальних систем, Жешув, Польща

## **МЕТОД ПОМНОЖЕННЯ ЧАСТОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО СИГНАЛУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОЛОЖЕННЯ**

© Щесьяк Зб., Дорожовець М.М., 2004

**Описано метод покращання точності інкрементальних перетворювачів. Метод полягає на формуванні фазових напруг із заданим зсувом щодо базових сигналів, які виникають на виході вимірювального перетворювача з лінійчастою шкалою. Після їх перетворення у цифрову форму забезпечується п'ятикратне збільшення точності оптоелектронного перетворювача.**

**A method of increasing the accuracy of incremental transducers has been presented in the paper. The method is based on producing the phase voltages, with assumed phase shift, with respect to the basic signals resulting from the transducer measurement rule. After analog-to-digital conversion, five-time multiplication factor of the photoelectric transducer accuracy is obtained.**

**Вступ.** Для вимірювання лінійних та кутових переміщень щораз ширше застосовуються фотоелектричні інкрементальні перетворювачі. Зменшення кроку квантування переміщення приводу, що співпрацює з цим перетворювачем, можна здійснити точнішою будовою перетворювача. Однак такий шлях супроводжується технологічними проблемами, зокрема пов'язаних з пресійною механікою, а також забезпечення часової та температурної стабільності параметрів механічних елементів під час експлуатації. Інший шлях полягає у використанні відповідного опрацювання вихідних сигналів такого перетворювача [1, 2], що очевидно технологічно простіше.

**Метою роботи** є підвищення точності фотоелектричних інкрементальних перетворювачів застосуванням електронної інтерполяції (помноження частоти сигналів) та перетворенням їх у цифрову форму.