

Ушкаренко О.О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

МЕТОД АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДАНИХ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ВУЗЛАХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

У статті розглядається метод аналізу логіко-динамічних процесів перетворення аргументів в обчислювальних вузлах цифрових систем управління. Визначені обмеження та недоліки формальних методів, які використовуються для опису процесів обробки даних у цифрових системах управління, запропоновано метод опису процесів перетворення аргументів з використанням графоаналітичних моделей. Запропоновано спосіб аналітичного запису процесу перетворення вхідних даних, який більш узгоджений зі структурними схемами, в яких функції представлені у вигляді логічних елементів. Розроблено математичні моделі процесів перетворення аргументів, які являють собою формалізований запис процесів перетворення сигналів. Проведено дослідження логіко-динамічних процесів перетворення цифрових кодів, що відбуваються в суматорах і помножувачах у складі цифрових систем управління. Позиційно-знакова система числення дозволяє істотно підвищити швидкодію суматорів і помножувачів в цифрових системах управління. При цьому з'являється необхідність у формуванні науково обґрунтованих аналітичних правил перетворення логічних аргументів і функціональних структур, за допомогою яких вони реалізуються. Аналітичний опис процесів перетворення інформаційних аргументів у цифрових системах управління дозволяє формувати їх математичні моделі з підвищеними технологічними та інформаційними якостями, а також вирішувати оптимізаційні задачі. Процес додавання в арифметичних пристроях реалізується у відповідності з логікою перетворення аргументів трійкової системи числення. Теоретичною основою процесу додавання аргументів, реалізованих у форматі двійкової системи числення, можуть бути аксіоми трійкової системи числення. Запропонований підхід дозволяє оцінити швидкодію виконуваних арифметичних операцій при використанні різних цифрових кодів, відкриває можливість вдосконалення методів і алгоритмів обробки даних в цифрових системах управління.

Ключові слова: суматор, позиційно-знакова система числення, часткові добутки, функціональна структура, графоаналітична модель.

Постановка проблеми. Одним із завдань сучасної теорії автоматичного управління (ТАУ) є розроблення нових методів формалізованого запису різних логіко-динамічних процесів перетворення цифрових сигналів. Цей формалізований запис процесів перетворення сигналів повинен бути виконаний у вигляді аналітичних символів, які повинні формувати математичну модель. При цьому основною якістю математичної моделі логіко-динамічного процесу перетворення сигналів повинна бути мінімізація словесного опису їх змісту. Також ТАУ може аналізувати системи управління і синтезувати для них закони. Однак цього недостатньо з огляду на різноманіття процесів управління. Тому актуальним є завдання створення математичного апарату, який дозволив би об'єднати процеси управління, що мають різну фізичну, організаційну та цільову природу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Будь-який формалізований процес в своєму запису включає різноманітні процеси перетворення сигналів, наприклад оптичні, електрохімічні, електро-

механічні. Також це можуть бути електронні, представлені у вигляді функціональних блоків системи управління і контролю, наприклад Matlab Simulink [1, с. 12]. Тому для кожного процесу перетворення розроблений свій метод формального опису. Актуальність роботи зумовлена необхідністю формування науково обґрунтованих аналітичних правил перетворення логічних аргументів і функціональних структур, за допомогою яких вони реалізуються. Крім того, розвиток графоаналітичних рішень щодо обробки даних у цифрових системах управління дозволить на якісно новому рівні аналізувати логіко-динамічні процеси перетворення аргументів. Результатом виконання такого аналізу може виступати оцінка швидкодії виконання арифметичних операцій при використанні різних цифрових кодів. У свою чергу це відкриває можливість вдосконалення методів і алгоритмів обробки даних в цифрових системах управління.

У роботі [2, с. 2450] розглянуті методи аналізу систем і відзначені переваги та недоліки кожного з них при вирішенні різних оптимізаційних задач.

Зокрема зазначено, що однією з проблем при оптимізації систем або алгоритмів є обмеження застосовності конкретного методу через особливості процесів, що відбуваються в системах різної фізичної природи. Відсутність єдиного математичного апарату для опису процесів в системах, які мають різну фізичну природу, зумовлюють необхідність проведення досліджень у цьому напрямі. Це також підтверджується дослідженнями [3, с. 35], в якому зазначено, що аналіз системи на різних рівнях декомпозиції вимагає застосування різних методів. Слід зазначити, що кожен із методів формального відображення має свої переваги, а точніше, свої структурні якості, які необхідно зберегти і посилити структурними якостями інших методів формального відображення.

Під час проектування цифрових систем керування найбільш широко використовуються структурні і принципові схеми. При цьому для аналізу таких систем використовуються часові діаграми, як це показано в [4, с. 390]. У [5, с. 226; 6, с. 20] наголошується на необхідності підвищення швидкодії обробки даних. Для цього потрібне використання формалізованих методів аналізу процесів перетворення даних, які дозволяли б оцінити швидкодію алгоритмів.

Одним з методів аналізу і синтезу процесів перетворення аргументів у системах управління є метод формування алгоритмів та структурних схем. Але ці методи не дозволяють виконувати ці процедури на формалізованому рівні. У [7, с. 768] розглянуто процес синтезу швидкодіючих елементів, що виконують арифметичні операції. Для опису системи використані структурні схеми. При цьому відсутній формальний опис процесів перетворення даних, що ускладнює розуміння принципів перетворення інформації, яке виконує система. Це пов'язано з тим, що вони не є функціонально закінченими математичними моделями, що мають аналітичну форму запису.

Одним із можливих методів підвищення якості аналізу логіко-динамічних процесів з підвищеним інформаційним змістом є аналітичний і графоаналітичний методи. Такі методи успішно використовуються під час проектування та аналізу ієрархічних програмних систем, як показано в [8, с. 42]. З їх допомогою з'являється можливість аналізу коректності процесів перетворення сигналів у різних системах управління. Однак розглянуті в [8, с. 45] методи незастосовні до аналізу апаратних вузлів обчислювальних пристроїв.

Проблема необхідності об'єднання двох аналітично несумісних логіко-динамічних процесів у вищій математиці називається крайовою зада-

чею [9, с. 64]. Крайова задача може бути вирішена методом, який включає розроблення загальної структурної і функціональної мови опису процесів перетворення. При цьому запис процесів перетворення повинен виконуватися на аналітичному рівні у вигляді єдиної математичної моделі. Оскільки аналітична форма запису необхідна для подальшої формалізованої оптимізації конкретного процесу, необхідно зробити математичну модель легкою для запису і надати їй максимальний інформаційний зміст. У [10, с. 121] пропонується метод синтезу математичних моделей логіко-динамічних процесів контролю і керування в галузі електроенергетики. Результати досліджень, наведені в [11 с. 43; 12, с. 278], підтверджують ефективність використання розроблених формальних методів і моделей під час аналізу та оптимізації систем управління. Однак ці формальні методи потребують розвитку з урахуванням особливостей функціонування та способів подання інформації в обчислювальних пристроях.

Постановка завдання. Аналіз літературних джерел показав, що нині отримали недостатній розвиток методи аналізу процесів перетворення даних, що відбуваються в обчислювальних пристроях цифрових систем управління. Залишається невирішеною проблема аналітичного опису процесів перетворення аргументів, які беруть участь в різних алгоритмах програм із метою їх оптимізації, зокрема збільшення швидкості виконання арифметичних операцій. Це особливо актуально для систем управління, що працюють у режимі реального часу.

З розвитком мікропроцесорної техніки та її широкого застосування в системах управління стає необхідним використовувати аналітичні інформаційні технології для аналізу і синтезу різних систем управління. Для цього необхідно представити процеси перетворення аргументів в системах управління в аналітичній формі записи, і встановити формалізовані методи їх коригування з урахуванням виникаючих проблем.

Метою дослідження є вдосконалення методу для аналізу логіко-динамічних процесів перетворення аргументів з використанням графоаналітичних моделей, визначення їх властивостей і логіки перетворення аргументів для використання при роботі та оптимізації цифрових систем управління.

Виклад основного матеріалу дослідження. В якості узагальненої функціональної структури для математичної моделі процесу логіко-динамічного перетворення сигналу повинен бути обраний символ. Як такий символ для синтезу конкретних функціональних структур необхідно

використовувати фундаментальний вираз математичного аналізу [9, с. 81]:

$$y = f(x). \quad (1)$$

Якщо розглянути вираз (1) як процес перетворення аргументів, то в цьому випадку y є виконання деяких операцій $f(\rightarrow)$ на вхідному аргументі x , тому це кінцевий результат цих операцій. Відповідно, беручи до уваги елементи функціональної структури, які є невід'ємним часовим параметром, можна записати цей вираз у вигляді:

$$f(x) \rightarrow y. \quad (2)$$

Узагальнений опис процесу перетворення аргументів (2) можна проаналізувати, приймаючи до уваги узгодженість запису блок-діаграм обчислювальних засобів і систем управління. Цей вираз може бути представлено в цілому як процес перетворення аргументу x в аргумент y .

Запропонований спосіб аналітичного запису процесу перетворення аргументів більш узгоджений зі структурними схемами, в яких функції представлені у вигляді логічних елементів, які є електронними системами. Тому, якщо замість геометричного зображення логічного елемента використовувати математичний знак системи ($\&$), то, наприклад, для елемента « $\&$ » аналітичний запис може бути представлений у вигляді, показаному на рис. 1.

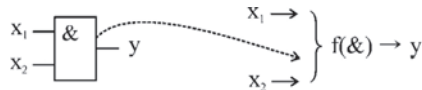


Рис. 1. Аналітичне представлення логічного елемента « $\&$ »: x_1 і x_2 – вхідні аргументи, $f(\&)$ – логічна функція « $\&$ »

Спосіб аналітичного запису (2) процесу перетворення аргументів може бути використаний для аналітичного запису функціональних структур, в яких функціонально закінчені елементи представлені у вигляді функціональних блоків. Наприклад, аналітичний запис функціональних блоків аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворення має вигляд:

$$U_{in} \rightarrow U_{in}, [m_i] \rightarrow [m_i] \\ [m_i] \rightarrow [m_i] U_j \rightarrow U_{out} \quad (3)$$

У сучасних мікропроцесорних системах управління числа, записані в двійковому коді, можуть бути представлені в графоаналітичному вигляді (рис. 2):

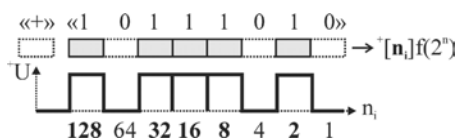


Рис. 2. Представлення чисел в двійковому коді

Якщо записати логіко-динамічний процес перетворення аргументів часткових добутків, наприклад, для додатних аргументів помножувачів

$$\langle -/+ \rangle [m_j] f(+/-) \rightarrow \langle +1 \rangle \langle 1011 \rangle \rightarrow \langle +5 \rangle f(10)$$

і

$$\langle -/+ \rangle [m_j] f(+/-) \rightarrow \langle +1 \rangle \langle 1101 \rangle \rightarrow \langle +3 \rangle f(10)$$

у вигляді, представленому на рис. 3, то логіка формування часткових добутків арифметно коректна.

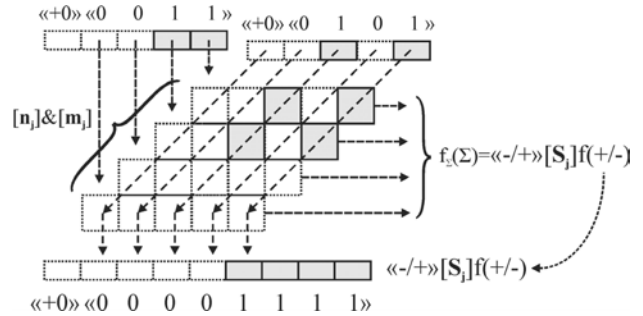


Рис. 3. Перетворення аргументів часткових добутків

Однак, якщо записати логіко-динамічний процес перетворення аргументів часткових добутків, наприклад, для умовно від'ємних аргументів множимого $\langle -/+ \rangle [m_j] f(+/-) \rightarrow \langle -1 \rangle \langle 1011 \rangle \rightarrow \langle -5 \rangle f(10)$ і множника $\langle -/+ \rangle [m_j] f(+/-) \rightarrow \langle -1 \rangle \langle 1101 \rangle \rightarrow \langle -3 \rangle f(10)$ в (3), як показано на рис. 4, то без використання арифметичних аксіом трійкової системи числення $f(+1, 0, -1)$ не зрозуміло, як були сформовані результуючі суми $[S_j]_1, [S_j]_2, [S_j]_3$ і $\langle -/+ \rangle [S_j] f(+/-)$ в функціональних структурах суматорів $f_1(\Sigma) - f_4(\Sigma)$.

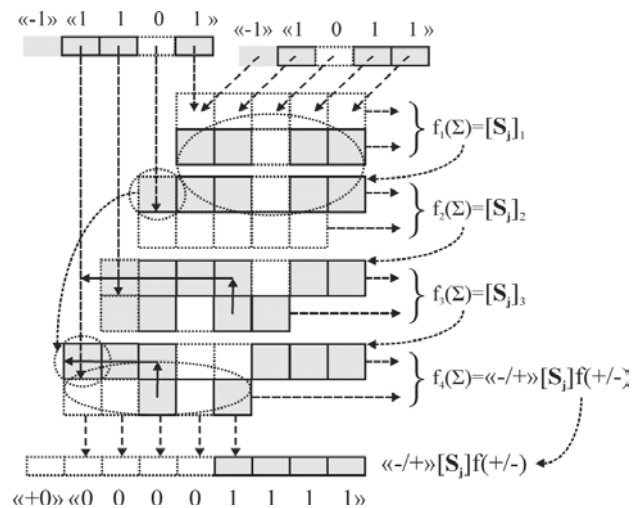


Рис. 4. Логіко-динамічний процес перетворення аргументів часткових добутків для негативних аргументів

Процедура перетворення структури аргументів множимого $\langle -/+ \rangle [m_j] f(+/-) \rightarrow \langle -1 \rangle \langle 1011 \rangle \rightarrow \langle -5 \rangle f(10)$ в функціональній структурі суматора $f_1(\Sigma)$ можна записати у вигляді графоаналітичних виразів, пред-

ставлених на рис. 4 і рис. 5. З їх аналізу витікає, що результуюча сума $^{\pm}[S_j]$ сформована в результаті використання або арифметичної аксиоми « ± 0 » \rightarrow « $\pm 1/-1$ », або за допомогою арифметичної аксиоми « -1 » \rightarrow « -2 » \leftarrow « $+1$ ». Ця аксиома є не тільки арифметичною основою формування структури аргументів « $-/+$ » $[m_j]$ $f(+/-)$ – «Додатковий код», але і процедурою додавання умовно від’ємних аргументів.

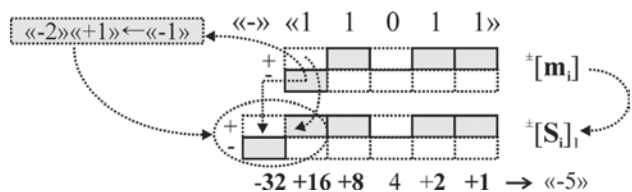


Рис. 5. Процедура перетворення структури аргументів

Необхідно виконати логіко-динамічний процес додавання умовно від’ємного аргументу доданку « $-/+$ » $[m_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -1 » \leftarrow «10001101» \rightarrow « -69 » $f(10)$ виразу (рис. 6, а), і умовно від’ємного аргументу доданку « $-/+$ » $[m_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -1 » \leftarrow «1011» \rightarrow « -5 » $f(10)$ виразу (рис. 6, б). На попередньому етапі виконується функціональний позиційний зсув знакових розрядів доданків виразу (рис. 6, а) і виразу (рис. 6, б). Це виконується з використанням арифметичної аксиоми « -1 » \rightarrow « -2 » \leftarrow « $+1$ ».

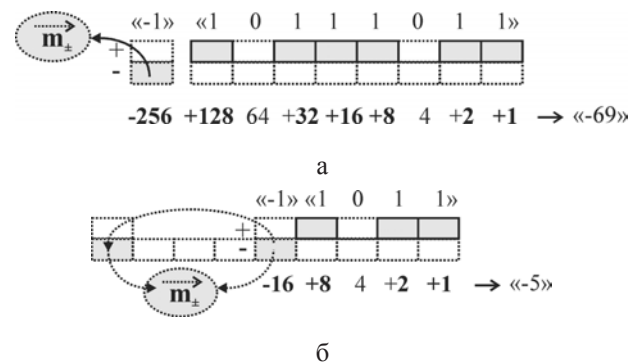


Рис. 6. Від’ємні аргументи доданків « -69 » та « -5 »

І тільки після виконання процедури функціонального зсуву знакового розряду m_{\pm} може бути виконаний в «Додатковому коді» процес додавання аргументів доданків « $-/+$ » $[m_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -1 » \leftarrow «10001101» \rightarrow « -69 » $f(10)$ і « $-/+$ » $[n_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -1 » \leftarrow «1011» \rightarrow « -5 » $f(10)$. При цьому слід відмітити, що така дія призводить тільки до збільшення технологічного циклу Δt_2 перетворення аргументів доданків. Якщо сформувати процедуру перетворення аргумента доданку « $-/+$ » $[m_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -69 » і аргументу доданку « $-/+$ » $[n_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -5 », то процес їх додавання може бути записаний у вигляді графоаналітичного виразу (рис. 7). Після формування першої і другої проміжної суми $^{\pm}[S_j^1]$

$f()$ –OR і $^{\pm}[S_j^2]$ $f(\&)$ –AND, необхідно виконати процедуру логічного диференціювання структури аргументів першої проміжної суми $^{\pm}[S_j^1]$ $f()$ –OR. Після цього може бути сформована скоригована структура похідних аргументів $^{\pm}[S_j^1]$ d/dn^+ .

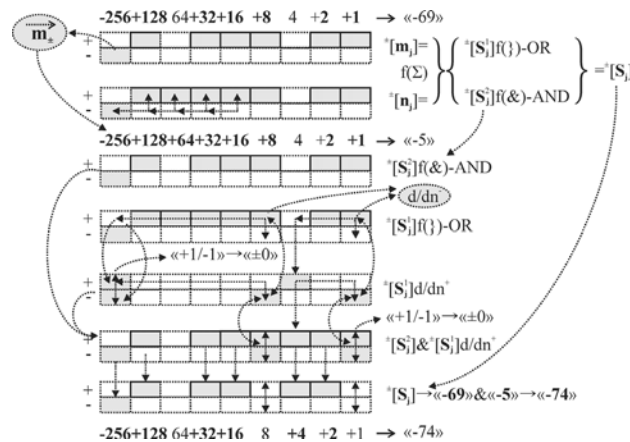


Рис. 7. Процес додавання аргументів

Затем, після функціонального об’єднання $^{\pm}[S_j^1]$ $\&$ $^{\pm}[S_j^1]$ d/dn^+ структури аргументів другої проміжної суми $^{\pm}[S_j^2]$ $f(\&)$ –I і скоригованої структури аргументів першої проміжної суми $^{\pm}[S_j^1]$ d/dn^+ формується результуюча структура аргументів суми $^{\pm}[S_j]$ \rightarrow « $-/+$ » $[S_j]$ $f(+/-)$ – «Додатковий код» за допомогою зміни активності логічних нулів « $+1/-1$ » \rightarrow « ± 0 ». Але коректна кінцева результуюча структура аргументів суми $^{\pm}[S_j]$ \rightarrow « -74 » може бути сформована і без позиційного суміщення активного знакового аргументу m_{\pm} двох структур аргументів доданків « $-/+$ » $[m_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -69 » і « $-/+$ » $[n_j]$ $f(+/-)$ \rightarrow « -5 ». Для цього слід записати логіко-динамічний процес перетворення аргументів у вигляді графоаналітичного виразу (рис. 8). Перша проміжна сума $^{\pm}[S_j^1]$ $f()$ –АБО включає два умовно від’ємних аргументи знакового розряду двох доданків з інформаційним змістом m_{\pm} \rightarrow « -256 » і m_{\pm} \rightarrow « -16 ».

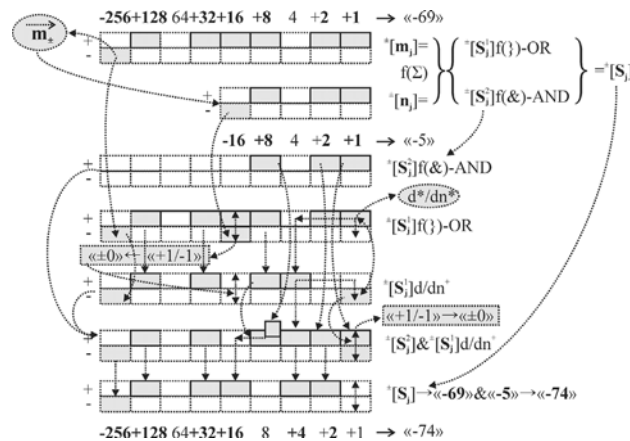


Рис. 8. Логіко-динамічний процес перетворення аргументів

При цьому аргумент знакового розряду $m_{\pm} \rightarrow \langle -16 \rangle$ в структурі першої проміжної суми ${}^{\pm}[S_j^1]/f(\cdot)$ – АБО формує активний логічний ноль $\langle +1/-1 \rangle \rightarrow \langle \pm 0 \rangle$, який перетворюється в неактивний аргумент $\langle \pm 0 \rangle$. Формування результируючої суми ${}^{\pm}[S_j] \rightarrow \langle -74 \rangle$ може бути реалізовано за допомогою вибіркового логічного диференціювання d^*/dn^+ структури додатних аргументів першої проміжної суми ${}^{\pm}[S_j^1]/f(\cdot)$ – АБО. Слід відмітити, що число можливих варіантів перетворення аргументів доданків не обмежується графоаналітичним виразом (рис. 8). Якщо врахувати можливі структури позиційно-знакових структур аргументів першого варіанту $\langle -/+ \rangle [m_j]/f(+/-)$ – «Додатковий код» і другого його варіанту, то можна стверджувати, що система числення «Додатковий код» не досконала і потребує додаткового аналізу і подальшого коригування. Якщо повернутися до графоаналітичного виразу процедури формування часткових добуток в помножувачі $f_{\Sigma}(\Sigma)$, то його можна записати у вигляді скоригованого графоаналітичного виразу (рис. 9). Перший частковий добуток $[S_j]_1$ формується з прямим попереднім позиційним зсувом знакового аргументу m_{\pm} структури множимого ${}^{\pm}[m_j]$ у відповідності з прямою арифметичною аксіомою $\langle -1 \rangle \rightarrow \langle -2 \rangle \langle +1 \rangle$.

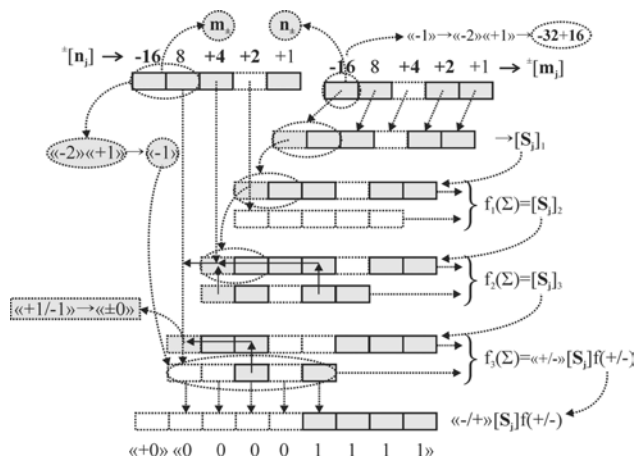


Рис. 9. Скоригований графоаналітичний вираз

Останній частковий добуток в системі функціональної структури суматора $f_3(\Sigma)$ формується з попереднім позиційним зворотнім зсувом знакового аргументу n_{\pm} структури множника ${}^{\pm}[n_j]$. Вказана процедура виконується у відповідності зі зворотною арифметичною аксіомою $\langle -1 \rangle \langle +1 \rangle \rightarrow \langle -2 \rangle$. Це призводить до мінімізації структури множника у відповідності з графоаналітичним виразом (рис. 10).

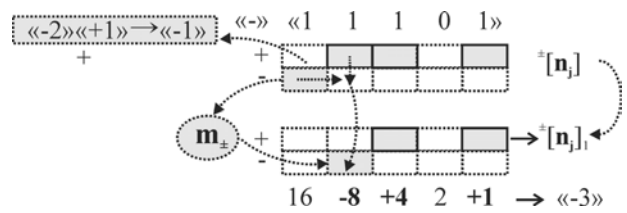


Рис. 10. Мінімізації структури множника

В структурі множника ${}^{\pm}[n_j]$ аргумент знаку m_{\pm} сформований з умовно від’ємним змістом. В цій ситуації множимо ${}^{\pm}[m_j]$, як структура часткового добутку ${}^{\pm}[m_j]$, повинна бути записана у вигляді структури зі зміненими рівнями аналогових сигналів. Це виконується у відповідності з процедурою (рис. 11), в якій сформована структура аргументів ${}^{\pm}[m_j]$ – «Додатковий код» з додатним інформаційним змістом.

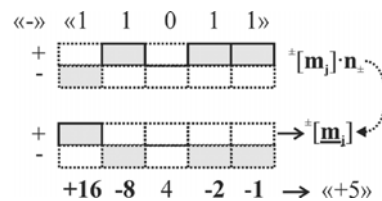


Рис. 11. Запис структури зі зміненими рівнями аналогових сигналів

Але оскільки суматор $f_3(\Sigma)$ реалізує перетворення тільки додатних аргументів, тому структуру аргументів ${}^{\pm}[m_j]$ виразу (рис. 11) необхідно скоригувати у відповідності з процедурою зворотнього перетворення (рис. 12).

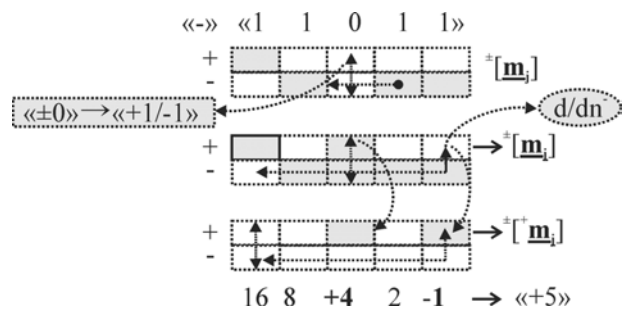


Рис. 12. Процедура зворотнього перетворення

Процедура зворотнього перетворення (рис. 12) виконується шляхом активізації аргументів логічного нуля $\langle \pm 0 \rangle \rightarrow \langle +1/-1 \rangle$. Потім виконується процедура логічного диференціювання d/dn^- структури умовно від’ємних аргументів з видаленням активного логічного нуля в старшому розряді. Множення включає процедуру збільшення числа активних аргументів в старших розрядах перших часткових добуток. На завершальному етапі фор-

мування структури аргументів останніх часткових добутків виконується процедура їх мінімізації. І якщо в першій ситуації технологічний цикл Δt_{Σ} перетворення часткових добутків збільшується, то в другій ситуації він, навпаки, зменшується. Основним параметром функціональної структури множника $f_{\Sigma}(\Sigma)$ є мінімізований технологічний цикл Δt_{Σ} перетворення часткових добутків. Тому збільшення розрядності часткових добутків на перших етапах їх формування недоцільне. Можна скоригувати процедуру формування аргументів часткових добутків і записати її без збільшення розрядності. Для цього при їх додаванні необхідно ввести в функціональну структуру помножувача $f_{\Sigma}(\Sigma)$ процедуру видалення активних логічних нулів «+1/-1» → «±0». Активні логічні нулі сформовані в результаті локальних переносів $f_{1,2}(\leftarrow)$ додатнього аргумента з попереднього розряду. Аналогічна мінімізація структури аргументів множимого $^{\#}[m_j]$ і процедура формування часткових добутків у вигляді графоаналітичного виразу представлена на рис. 13.

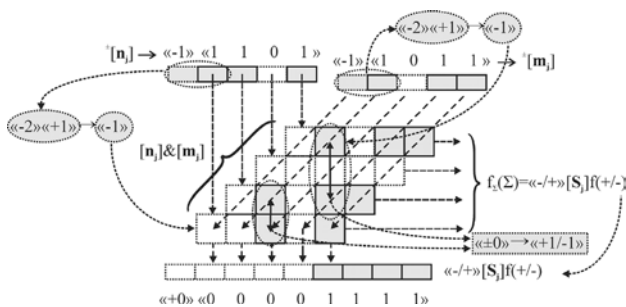


Рис. 13. Формування часткових добутків у вигляді графоаналітичного виразу

У цьому разі необхідно виконати тільки процедуру видалення активних логічних нулів в структурі часткових добутків помножувача $f_{\Sigma}(\Sigma)$.

Розглянутий спосіб графоаналітичної форми запису інформаційних аргументів напруги і процесів перетворення аргументів було також використано для побудови математичних моделей

підсистем аналогової обробки сигналів у складі систем керування та опубліковано в [13, с. 43]. Отримані результати було використано при розробці програмного забезпечення для мікропроцесорних систем керування, збору, обробки та відображення інформації, та опубліковано в [14, с. 8].

Висновки. Введення аналітичної форми запису логічних функцій з вхідними і перетвореними аргументами істотно спрощує аналіз і синтез будь-яких логіко-динамічних процесів перетворення аргументів. Перевага запропонованого в роботі методу полягає в тому, що з введенням аналітичної форми запису функціональної структури суматора $f(\Sigma)$ з'являється можливість записати логіко-динамічний процес перетворення аргументів у вигляді узагальненого виразу. Графоаналітична форма запису дозволяє доповнити її логічним змістом за допомогою спрямованих векторів. З одного боку, це дає можливість відобразити логіко-динамічний процес перетворення аргументів на гранично мінімізованому рівні формалізації. З іншого боку, така форма запису дозволяє проводити порівняльний аналіз різних варіантів логічних процедур для подальшого вибору найбільш оптимального з них і формування математичних моделей на аналітичному рівні.

З використанням розроблених математичних моделей виконано аналіз логіко-динамічних процесів перетворення аргументів, які відбуваються в суматорах і помножувачах цифрових систем управління. Встановлено, що процес додавання логічних аргументів в арифметичних пристроях, незалежно від системи числення, реалізується у відповідності з логікою перетворення аргументів трійкової системи числення. Запропонований підхід дозволяє оцінити швидкодію виконуваних арифметичних операцій при використанні різних цифрових кодів і вибрати найбільш оптимальний. Це також відкриває можливість вдосконалення методів і алгоритмів обробки даних у цифрових системах управління.

Список літератури:

1. Asadi Farzin. State-Space Control Systems: The MATLAB®/Simulink Approach / Farzin Asadi // Synthesis Lectures on Control and Mechatronics. – 2020. Vol. 5. – P. 1–169.
2. Yu L. A Survey on Particle Swarm Optimization Algorithms for Multimodal Function Optimization / L. Yu, L. Xiaoxi, S. Zhewen, L. Mingwei, F. Jing, Z. Liang // Journal of software. – 2011. – Vol. 6, Issue 12. – P. 2449–2455.
3. Yudong Z. A Comprehensive Survey on Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications / Z. Yudong, W. Shuihua, J. Genlin // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – P. 1–38.
4. Rajasekhar K. Design and Analysis of Comparator Using Different Logic Style of Full Adder / K. Rajasekhar, P. Sowjanya, V. Umikiranmai, R. Harish, M. Krishna // Int. Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Vol. 4, Issue 4. – P. 389–393.

5. Asaduzzaman A. GPU Computing to Improve Game Engine Performance / A. Asaduzzaman, Y. Lee Hin // J. Eng. Technol. Sci. – 2014. – Vol. 46, Issue 2. – P. 226–243.
6. Tomislav S.I. Design of a System for Monitoring Reliability of Structures and Constructions in Civil Engineering / S.I. Tomislav, Ž.N. Veljkovi // International Journal of Engineering Pedagogy. – 2011. – Vol. 1, Issue 2. – P. 19–23.
7. Ramana, G.M. A Novel Design of Multiplexer Based Full-Adder Cell for Power and Propagation Delay Optimizations / M.G. Ramana, C. Senthilpari, P. Velraj Kumar, T.S. Lim // Journal of Engineering Science and Technology. – 2013. – Vol. 8, Issue 6. – P. 764–777.
8. Aminof B. Synthesis of hierarchical systems / B. Aminof, F. Mogavero, A. Murano // Formal Aspects of Component Software. – 2011. – P. 42–60.
9. Yingxu W. Concept Algebra: A Denotational Mathematics for Formal Knowledge Representation and Cognitive Robot Learning / W. Yingxu // Journal of Advanced Mathematics and Applications. – 2015. – Vol. 4, Issue 1. – P. 61–86.
10. Рябенський В.М. Метод синтеза математических моделей логико-динамических процессов контроля и управления / В.М. Рябенський, А.О. Ушкаренко // Техническая электродинамика. – 2011. – № 2(1), – С. 121–125.
11. Рябенський В.М. Формальное описание элементов автоматизированного рабочего места оператора электроэнергетической системы / В.М. Рябенський, А.О. Ушкаренко // Научный вестник Херсонской государственной морской академии. – 2014. – №1(1). – С. 43–50.
12. Mahmoud M.S. Al-suod. Analytical Representation of Control Processes of Induction Motor and Synchronous Generator in Power Plants / Al-suod Mahmoud M.S., O.O. Ushkarenko // Jordan Journal of Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 2, Issue 4. – P. 278–288.
13. Ушкаренко О.О. Вдосконалення методу побудови графоаналітичних моделей компонентів електронних кіл / О.О. Ушкаренко, Н.Г. Малахова // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології і автоматизація – 2020», Одеська нац. акад. харч. технологій. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – С. 43–45.
14. Рябенський В.М. Програмовані електронні системи керування, збору та обробки інформації : підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. – Миколаїв : Іліон, 2021. – 490 с.

Ushkarenko O.O. THE TECHNIQUE OF ANALYSIS OF DATA TRANSFORMATION PROCESSES IN COMPUTING UNITS OF DIGITAL CONTROL SYSTEMS

In the paper the method of analysis of logical-dynamic processes of argument transformation in computing units of digital control systems has been considered. The limitations and shortcomings of the formal methods that are used to describe of the data processing in digital control systems are identified. The method of describing the processes of argument transformation using graphoanalytical models is proposed. A method for analytical representation of the input data conversion process is proposed, which is more consistent with block diagrams in which functions are represented as logical elements. Mathematical models of argument conversion processes, which are a formalized representation of signal conversion processes, have been developed. The logical and dynamic processes of digital code conversion that occur in adders and multipliers as part of digital control systems have been researched. The position-sign number system can significantly increase the speed of adders and multipliers in digital control systems. At the same time, there is a need to form scientifically approved analytical rules for the transformation of logical arguments and functional structures by which they are implemented. Analytical description of the processes of transformation of information arguments in digital control systems allows to form their mathematical models with improved technological and informational qualities, as well as to solve optimization problems. The process of addition in arithmetic devices is implemented in accordance with the logic of conversion of arguments of the ternary number system. Axioms of the ternary number system can be the theoretical basis of the process of adding arguments implemented in the format of a binary number system. The proposed approach allows to evaluate the speed of arithmetic operations using different digital codes and opens the possibility of improving methods and algorithms for data processing in digital control systems.

Key words: *adder, positional-sign number system, partial products, functional structure, graphoanalytical model.*