

НОВЫЙ СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ, НЕ СОДЕРЖАЩИЙ ОПЕРАЦИИ КЛАССИЧЕСКОГО УМНОЖЕНИЯ

Гордиенко В.И., Кайденко Н.Н., Непокульчицкий И.В., Роскошный Д.В., Фенев Д.В.

Обосновывается новый подход к организации вычислений, позволяющий резко повысить эффективность по критерию отношения производительность-стоимость и существенно расширить спектр задач, решения которых затруднены в рамках существующих концепций цифровых вычислений.

1. Введение. В основе существующих методов организации вычислений лежат присущие им композиционный и логический базисы. При этом композиционный базис содержит базовые математические действия в виде линейного алгебраического суммирования ($x \pm y$) и умножения (x, y). Здесь x и y - сопоставляемые величины. В качестве логического базиса принят функционально-полный набор базисных операций в рамках бинарной логики – логического суммирования, логического умножения и отрицания. Именно эти базисы определили архитектуру современных цифровых вычислительных систем с их сильными сторонами и недостатками. Уже сейчас стало очевидным, что применение операций классического умножения становится ограничивающим фактором в повышении производительности вычислительных систем в рамках концепции цифровых вычислений, а ориентация лишь на бинарную логику приводит к известным трудностям в решении задач, требующих по природе своей применения непрерывнозначной логики с канторовским логическим базисом алгебры точечных (числовых) множеств в виде объединения, пересечения и дополнения [1, 2]. Примерами таких задач могут быть задачи распознавания зрительных и слуховых образов, задачи с плохо определенными (размытыми) входными данными, задачи обнаружения и разрешения сигналов в условиях неопределенности и др.

Покажем, что модернизация известных композиционного и логического базисов может стать основой новых методов организации вычислений с более высокой эффективностью по критерию отношения производительность-стоимость и более широким спектром задач, решения которых были существенно затруднены в рамках существующей концепции цифровых вычислений.

2. Композиционный базис. В отличие от традиционного композиционного базиса, содержащего математические действия в виде линейного алгебраического суммирования и умножения, предлагаемый базис содержит действие алгебраического суммирования типа $x \pm y$ и нелинейные операции типа $|x \pm y|$, представляющие собой операции выделения абсолютной величины (модуля) результата линейного алгебраического суммирования. Таким образом, переход от традиционного композиционного базиса к новому сопровождается заменой операции классического умножения операцией выделения абсолютной величины (модуля).

Основное достоинство предлагаемого композиционного базиса состоит в том, что он позволяет достаточно просто осуществлять аппаратную реализацию процессора операций канторовского логического базиса в аналоговом дискретно-аналоговом и цифровом вариантах. При этом весьма важно заметить, что аппаратная реализация процессоров базовых операций канторовского логического базиса возможна как на техническом (в рамках технической электроники), так и на биологическом уровнях. В последнем случае такие процессоры могут быть реализованы уже на крупных органических молекулах и на элементах биологических клеток. В самом деле, возможность реализации операции алгебраического суммирования в технике и биологии не вызывает сомнений. Операция выделения абсолютной величины в технической электронике реализуется тривиально, а в биологическом (биоэлектронном) аспекте она реализуется на фазовых переходах вещества органических молекул и на мембранах биологических клеток, обладающих соответствующими электронными свойствами, например, свойствами детектирования. В рамках этого подхода может быть сделан еще один шаг к пониманию общности информационных процессов, протекающих в технических и биологических системах, особенно в области организации вычислений.

3. Канторовский логический базис. Это логическая основа алгебры числовых множеств, элементы которых представляют собой именованные физически представимые числа, в общем случае, локализованные на всей вещественной числовой оси $(-\infty, \infty)$. Как уже упоминалось выше, канторовский логический базис содержит логические операции объединения, пересечения и дополнения. Процессоры, построенные на основе принятого композиционного базиса и осуществляющие эти операции являются базовой функциональной и структурной единицей

однородных по составу вычислительных систем с новой организацией вычислений. В работе [3] приведены алгоритмы и структура базового процессора этих операций, а также дано краткое описание возможностей применения этих процессоров в других предметных областях.

Ниже приводится краткий анализ свойств и особенностей канторовского логического базиса, где особую роль в организации вычислений будет играть операция пересечения.

В качестве исходных данных используем сведения о точечных (числовых) множествах [1,2]. При этом сопоставляемые величины x и y на интервале $(-\infty, +\infty)$ будут представлены через их знаки и абсолютные величины следующим образом:

$$x = \text{sign } x \cdot |x| ,$$

$$y = \text{sign } y \cdot |y| .$$

Это дает возможность представить базовые операции объединения, пересечения и дополнения в следующем виде:

$$x \cup y = \max \{|x|, |y|\} \tag{1}$$

$$x \cap y = \text{sign } x \cdot \text{sign } y \cdot \min \{|x|, |y|\} \tag{2}$$

$$\Delta = \max \{|x|, |y|\} - \text{sign } x \cdot \text{sign } y \cdot \min \{|x|, |y|\} \tag{3}$$

Как следует из приведенных выражений, операция (1) соответствует выделению большего по абсолютной величине (модулю) без учета знаков; операция (2) соответствует выделению меньшего по абсолютной величине модуля с учетом знаков и, наконец, операция (3) определяет степень различия (сходства) сопоставляемых величин.

На интервале $(0, \infty)$ выражения (1) ... (3) утрачивают зависимость от знаков сопоставляемых величин и приводятся к следующему виду:

$$x \cup y = \max \{x, y\} \tag{4}$$

$$x \cap y = \min \{x, y\} \tag{5}$$

$$\Delta = \max \{x, y\} - \min \{x, y\} \tag{6}$$

Здесь наиболее наглядно проявляются логические отношения включения $x \leq y$. Условия включения формулируются так: если $x \cup y = y$, то $x \cap y = x$.

В связи с тем, что в рамках теории нечетких множеств функции принадлежности значений x к некоторым множествам A и B (соответственно $\mu_A(x)$ и $\mu_B(x)$) принимают значения на континууме $[0,1]$, возникает возможность осуществления базовых операций над значениями этих функций в пределах указанного континуума [4]. Тогда выражения (4)...(6), равно как и исходные выражения (1)...(3), сводятся к классическим выражениям теории нечетких множеств:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) = \max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \tag{7}$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = \min \{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \tag{8}$$

$$\mu^c(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{9}$$

Выражение (9) учитывает тот факт, что максимум функции принадлежности равен единице. Здесь c – знак дополнения.

Переход к двухзначной логике со специальными элементами "0" и "1" может быть осуществлен на основе использования исходных выражений (1)...(3). Эти выражения могут быть приведены к основным базовым операциям булевой алгебры: логического суммирования \oplus , логического умножения $*$ и дополнения - (или отрицания).

Таким образом, базовые операции в рамках всех названных множеств являются частными случаями базовых операций (1)...(3). При этом в качестве сопоставляемых элементов могут использоваться как непрерывнозначные функции, так и их дискретные значения.

Весьма важно заметить, что рассмотренные алгоритмы практически в полном объеме удовлетворяют законам коммутативности, идемпотентности, ассоциативности, абсорбции, дистрибутивности, правилам де Моргана. Это позволяет получать аппаратные структуры для вычисления довольно сложных логических выводов как в рамках непрерывнозначной, так и бинарной логик.

Детальный анализ показывает, что процессор, использующий алгоритмы (1)...(3), обладает свойством универсальности по отношению к условиям функционирования. Он одинаково эффективно осуществляет операции в соответствии с (1)...(3); (4)...(6); (7)...(9), а также операции в рамках булевой алгебры, без перестройки структуры. Такой процессор инвариантен к классу числового множества. Это является основой для применения таких процессоров практически во всех предметных областях, связанных с электроникой, биоэлектроникой, в системах управления электрическими процессами и т.д.

На основании использования операции пересечения (2) введено понятие скалярного пересечения (аналог – скалярное произведение) [5], применение которого позволяет существенно улучшить качественные характеристики устройств корреляционного и фильтрового обнаружения и разрешения сложных сигналов, особенно в условиях мощных импульсных помех.

В качестве подтверждающих примеров приводятся результаты обработки сигнала в виде отрезка шума в условиях мощных импульсных помех при низком уровне флюктуационной помехи (рис.1) и случай разрешения двух перекрывающихся во времени сигналов с линейной частотной модуляцией в тех же условиях (рис.2). Здесь отчетливо видно, что обнаружители, использующие процедуру скалярного пересечения, оказываются существенно более устойчивыми по сравнению с обнаружителями с операцией скалярного произведения.

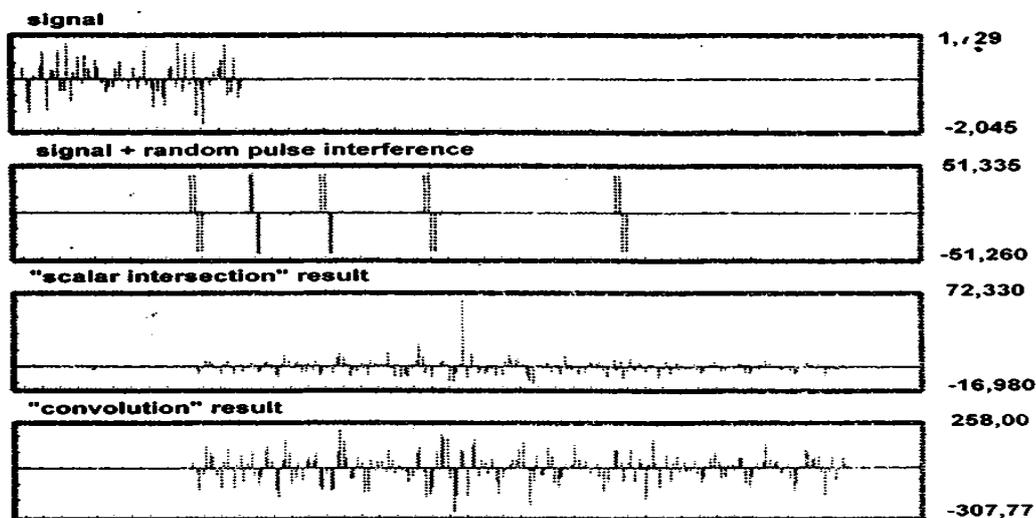


Рис. 1. Результаты обработки сигнала в виде отрезка шума на фоне смеси флюктуационных и мощных импульсных помех на основе операций скалярного пересечения и скалярного произведения.

В настоящее время фирмой развернуты работы по исследованию результатов замены операции классического умножения операцией пересечения в процедурах корреляционного, спектрального и wavelet-анализа, а также в других предметных областях, связанных с управлением различными процессами, где ранее использовалась операция классического умножения. В рамках этих исследований рассмотрены возможности реализации корреляторов на базе сигнальных процессоров и на базе технологии PLD.

В первом случае архитектура сигнальных процессоров ориентирована на максимальное быстродействие при вычислении операции свертки. При использовании в вычислительном ядре сигнального процессора предлагаемого алгоритма затраты снижаются примерно на порядок. Это связано с тем, что в реализуемом алгоритме обработки сигналов не используется операция умножения, а применяются лишь простые вычислительные операции: сложение, вычитание и учет знака сигнала.

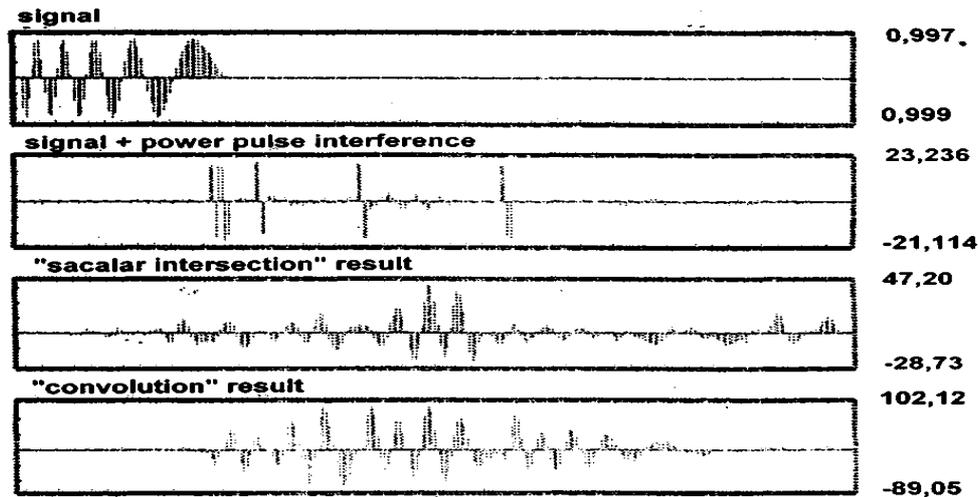


Рис.2. Результаты разрешения двух непрерывающихся во времени сигналов с линейной частотной модуляцией на фоне смеси флюктуационных и мощных импульсных помех на основе операций скалярного пересечения и скалярного произведения.

При использовании в качестве вычислителя ПЛИС (PLD) фирмы ALTERA (семейство АРЕХ) производительность вычислителя свертки увеличивается в 14-16 раз. Сравнение аппаратных затрат приведено в таблице 1.

Табл.1

Аппаратные затраты на выполнение базовой операции свертки (два 8-битных числа с учетом знака)	
с использованием операции скалярного произведения (классическая свертка)	с использованием операции скалярного пересечения
293 логических ячейки	18 логических ячеек

В условиях воздействия на канал приема стационарного шума результат работы коррелятора подобен классическому коррелятору. В условиях мощных импульсных помех коррелятор обладает чрезвычайно высокой степенью устойчивости, по отношению к классическому.

Благодаря уменьшению аппаратных затрат и увеличению производительности вычисления свертки, применение нового метода обработки сигналов позволяет в 3-4 раза в сравнении с аналогами уменьшить стоимость корреляторов.

Благодаря способности коррелятора эффективно работать в сложной помеховой обстановке, уменьшается нагрузка на программно-аппаратные средства поддержания помехозащищенности приемно-передающих устройств. Тем самым уменьшается стоимость радиотехнических систем в целом при одновременном расширении их функциональных возможностей.

Стадия разработки. Разработаны и аппаратно реализованы процессоры базисных операций в цифровом и аналоговом вариантах, являющихся основными элементами корреляторов.

Аналоговый вариант базового процессорного элемента имеет полосу пропускания: до 25 МГц и 100 МГц – на пассивных полосковых элементах [6].

Разработан математический аппарат цифрового коррелятора для вычисления свертки на PLD фирмы ALTERA с полосой пропускания 100 МГц.

Результаты исследований процедур спектрального анализа, в том числе и аналогов БПФ (быстрого преобразования Фурье), свидетельствуют о том, что замена операции умножения операцией пересечения в вычислительных процедурах приводит к тому же порядку выигрыша в производительности, аппаратных затратах и помехоустойчивости, что и в корреляторах. При этом суммарная погрешность при переходе от одной операции к другой не превышает допустимых пределов.

Заключение. Новый способ вычисления и обработки сигналов может быть использован в широком диапазоне прикладных областей: в радио- и гидролокации (селекция движущихся целей, обнаружение и выделение сигналов в помехах), в моноимпульсных пеленгаторах, в системах распознавания зрительных и слуховых образов, в нейро- и биокомпьютинге, наноэлектронике, и т.д.

В результате проведенных исследований получены конкретные вычислительные алгоритмы и соответствующие алгоритмические структуры; доказано их соответствие принципам и законам алгебры числовых множеств; разработаны и аппаратно реализованы процессоры базисных операций в цифровом и аналоговом вариантах.

Алгоритмы обработки аппаратно реализованы и проходят проверку в процессорах обработки сигналов: помехоустойчивый коррелятор, аналог фурье-процессора для спектрального анализа сигналов (быстродействующий аналог БГФ), процессорное устройство точного вычисления угловых координат цели, многофункциональный логический элемент для управления колебаниями в радиотехническом тракте и др.

Литература

1. Корн и Т. Корн Справочник по математике. Под общ. Ред. И.А. Аромановича.- М. Наука 1973.-С. 832
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов.- М.: Наука, 1981. – С. 720
3. Гордиенко В.И., Дубровский С.Е., Рюшин Р.И., Фенев Д.В. Универсальный многофункциональный элемент систем обработки информации // Радиоэлектроника. – 1998. - №3 – С. 12-20
4. Zadeh L.A., Fu K.S., Tanaka K., Shimura M. (1975) Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision process, Academic Press (Proceedings of US – Japan Seminar).
5. Гордиенко В.И. Алгоритм обнаружения сигналов на основе понятия «скалярное пересечение» // радиоэлектроника – 1992 - №7 – с. 8-18. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Гордиенко В.И., Дубровский С.Е., Фенев Д.В. Многофункциональный логический элемент. Заявка на выдачу патента №2001106839 от 08.10.2001 г. Укрпатент.



THE NEW METHOD OF THE ORGANIZATION OF SIGNAL COMPUTING AND PROCESSING NOT INCLUDING THE OPERATION OF CLASSICAL MULTIPLICATION

Gordiyenko V., Dubrovskiy S., Kaydenko M., Nepokulchitskiy I., Roskoshnyi D., Fenyov D.

There is being proved the new approach to the organization of computing. This approach allows us to raise effectiveness on criterion of the ration productivity-cost and substantially enlarge the spectrum of projects, solving of which make difficulties in the frames of the existing concepts of digital computation.

1. Introduction In the basis of the existing methods of computing organization underlie inherent to them composition and logical basis. At the same time composition basis includes the basic mathematical operations such as linear algebraic summation ($x \pm y$) and multiplication (x, y). Here x and y are comparable values. As logical basis we take the full-function set of the basis operations in the frame of the binary logic – logical summation, logical multiplication and negation. These very bases determined the architecture of the modern digital computing systems with their strong and weak points. It is already evident now that using of the classical multiplication operations becomes the limiting factor in the increase of the productivity of the computing systems in the frame of the digital computing concept. Orientation only toward the binary logic causes some difficulties in solving problems which by their nature require the use of fuzzy logic with Cantor logical basis of the point (number) set algebra as union, intersection and complement. [1,2]. Sa examples of such problems can be the problems of visual and auditory image recognition, problems with not-well determined (fuzzy) input data, the problems of signal determination and resolution in the conditions of uncertainty, etc.

We are going to demonstrate that modernization of the well-known compositional and logical bases can become the basis of the new methods of computing organization with higher performance according to the criterion of productivity-cost and wider spectrum of problems, solving of which caused essential difficulties in the frame of existing digital computation concept.

2. Compositional basis

In contrast to the traditional compositional basis, containing mathematical operations such as linear algebraic summation and multiplication, the proposed basis contains the operation of algebraic summation of the $x \pm y$ type and nonlinear operation of $|x \pm y|$ type representing the operations of distinguishing the absolute value (module) of the linear algebraic summation result. So, the transition from traditional compositional basis to the new one entails the substitution of classical multiplication operation by the operation of absolute value (module) distinguishing.

The main advantage of the proposed compositional basis is that it allows to fulfil rather simply the hardware implementation of the Cantor logical basis operations processor in the analog, discrete-analog and digital versions. It is very important to point out that the hardware implementation of the processors of the Cantor logical basis basic operations is possible both on engineering performance standard (technical electronics) and on biological level. In the last case such processors can be implemented already on the large organic molecules and on the elements of the biological cell. Really, the possibility of implementation of algebraic summation operation in engineering and biology do not give raise to doubts. The operation of absolute value distinguishing in technical electronics is realized trivially. In biological (bionic) aspect it is realized on the phase transition of the organic molecule material and on the membranes of biological cells, possessing the appropriate electronic properties, for example, the detection property. In the frame of this approach, can be taken one more step to understanding of the community of the informational process, occurring in engineering and biological systems, especially in the sphere of computing organization.

3. Cantor logical basis

This is the logical basis of the number set algebra, the elements of which are the dominate physically representable numbers, in general case, localized on the whole real number axis $(-\infty, \infty)$. As it was already mentioned before, Cantor logical basis contains the logical operations of union, intersection and complement. The processors built on the basis of the accepted composite basis and realizing these operations are the basic functional and the base unit of the homogeneous computing systems with the new computing organization. In the proceedings [3] are give the algorithms and structure of the base processor of these operations and given the short description of the usability of these processors in other data domains.

At present time the company conducts the work on investigation of the results of the classical multiplication operation substitution for intersection operation in the procedures of correlative, spectral and wavelet analysis, as well as in the other data domains, concerned with the different processes control where earlier were used the classical multiplication operations. In the frame of these investigations were

concerned the abilities of realization of the correlators on the basis of the signal processors and on the basis of the PLD technologies. In the first case the architecture of the signal processors is directed on the maximal operating speed on convolution operation computation. On using in the computing core the signal processor of the proposed algorithm the costs are cut significantly. It is connected with the fact that in the realizable signal processing algorithm the multiplication operation is omitted and only simple computing operations are used: addition, subtraction, and accounting the signal sign.

On using PLD of the ALTERA company (APEX genus) as calculator, the productivity of the convolution computer will increase 14-16 times.

Comparison of hardware costs is given in table 1

Table 1

Hardware costs for realization of primitive convolution operation (two 8-bit numbers with sign accounting)	
with the use of scalar product operation (classical convolution)	With the use of scalar intersection operation
293 logic cells	18 logic cells

In the conditions of the stationary noise influence on the receive chain the result of the operation of correlator is similar to the classical correlator. In the conditions of powerful impulse noise, the correlator is characterized by fine stability in comparison with classical.

Due to the decrease of the hardware costs and increase of the productivity of the convolution computation, the use of the new method of the signal processing allows to decrease 3-4 times the cost of the correlator in comparison with analogs.

The processing algorithm is realized in hardware and is being tested in the signal processing processors: noise immune correlator, analog of Fourier transform processor for signal spectrum analysis (fast-acting analog), processing device for object angular data exact computation, multifunctional logical element for radio section oscillation management, etc.

Literature

1. Corn and T. Corn "Mathematics reference book" under the general editorship of I. A. Aromanovich – M. Nauka 1973. p.832
2. I.N. Bronshtein, K.A. Semendyayev "Mathematics reference book for engineers and students "- M. Nauka, 1981. – p.720
3. V.I. Gordiyenko, S.Ye. Dubrovskiy., R.I. Pyumshin., D.V. Fenyev "Universal multifunctional element of the information processing system"// Radio electronics.- 1998. – #3 – p. 12-20